

# ZBORNIK RADOVA

## PROCEEDINGS

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

**11. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI**  
**11<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 S. Miletića 12

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, 23.- 26.09.2020.

## PLIN 2020

### ZBORNIK RADOVA 11. MEĐUNARODNOG SKUPA O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI

### PROCEEDINGS OF 11<sup>th</sup> INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

Izdavač / Publisher: Sveučilište u Slavonskom Brodu

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

URL: <http://konferencija-plin.sfsb.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 2020 Organizacijski odbor / PLIN 2020 Organization committee:

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

Sponzori / Sponsors



Pokrovitelj/Patron



Izlagači / Exhibitors



**PLIN 2020 Počasni odbor / PLIN 2020 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 2020 Znanstveni odbor / PLIN 2020 Scientific 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  
Mladimir 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

### **PLENARNO POZVANO PREDAVANJE / KEYNOTE INVITED LECTURE**

EKONOMSKE POSLJEDICE SMANJENJA EMISIJA U ENERGETSKOJ TRANZICIJI EUROPE .. 1  
D. Pudić

### **POZVANA PREDAVANJA / INVITED LECTURES**

TEXTILE DYE-HOUSE WASTEWATER..... 9  
A. Sutlović, B. Vojnović, I. Sutlović

MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE CONSUMPTION OF TEMPERATURE  
DEPENDENT NATURAL GAS CONSUMERS ..... 16  
I. Sutlović, T. Pendić, P. Raos

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

TRANSPORTNI SUSTAV I PRAĆENJE KVALITETE PRIRODNOG PLINA U RH I ZEMLJAMA U  
SUSJEDSTVU ..... 26  
B. Miličević, I. Smajla, L. Jukić, D. Karasalihović Sedlar

THE POSSIBILITY OF INCREASING THE NATURAL GAS QUALITY BY ELIMINATION OF  
MOISTURE ..... 39  
J. Pekez, I. Palinkaš, E. Desnica, Lj. Radovanović, L. Đorđević

PRIMJENA JUST IN TIME STRATEGIJE U PROIZVODNJI OPREME ZA EKSTRAKCIJU  
PLINA ..... 47  
M. Živković, G. Zeba, M. Čičak

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

UTJECAJ PUMPI S FREKVENCIJSKOM REGULACIJOM NA ENERGETSKU UČINKOVITOST 54  
D. Pudić, M. Stojkov, S. M. Babić

ELEKTRANE NA BIOMASU U HRVATSKOJ..... 62  
M. Ivanović

KORIŠTENJE NEURONSKIH MREŽA ZA ANALIZU ENERGETSKE UČINKOVITOSTI ZGRADA75  
T. Šarić, G. Šimunović, M. Stojkov, D. Šarić, S. Havrišan

ESTIMATION OF CO<sub>2</sub> EMISSION FROM BACK UP FACILITIES FOR COVERING WIND POWER  
PLANT PRODUCTION VARIABILITY ..... 85  
I. Sutlović, M. Benić, P. Raos, N. Vištica

ANALIZA UTJECAJA SUSTAVA FOTONAPONSKE PRETVORBE I TIPA DIZALICE TOPLINE NA  
ENERGETSKU UČINKOVITOST ZGRADE SFSB-A U SVJETLU NZEB-A ..... 90  
Ž. Zmaić, A. Barac, M. Holik, M. Stojkov, M. Živić, D. Šljivac, A. Čikić

PROCJENA UŠTEDE U POTROŠNJI PLINA I ELEKTRIČNE ENERGIJE U ZGRADI SFSB-A  
ZBOG DOPRINOSA OBNOVLJIVE ENERGIJE IZ DIZALICE TOPLINE I FOTONAPONSKE  
ELEKTRANE ..... 106  
Ž. Zmaić, A. Barac, M. Holik, M. Stojkov, M. Živić, D. Šljivac, A. Čikić

UTJECAJ FN ELEKTRANA INSTALIRANIH NA KROVOVIMA KUĆA NA POTROŠNJU ENERGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ.....	125
K. Hornung, M. Stojkov, I. Ratkovčić	
ENERGIJSKI SUSTAVI I ZNAČAJKE ZGRADA .....	135
A. Srdoč, V. Filipan, I. Rendulić, I. Sutlović	
<b><u>VODA / WATER</u></b>	
VODOOPSKRBA RURALNIH PODRUČJA.....	145
M. Šperac, Ž. Šreng, L. Ćosić	
PROVOĐENJE MJERA I ANALIZA VODNIH GUBITAKA PRIVREMENE DMA ZONE .....	153
F. Dako, A. Kristić, T. Zsebe, G. Vasvari, J. Zima, I. Samardžić	
DRINKING WATER CONSUMPTION IN THE SISAK MOSLAVINA COUNTY.....	162
M. Ivanović	
<b><u>REGULATIVA / REGULATIONS</u></b>	
ZAKONSKE PRETPOSTAVKE O OSTVARIVANJU PRAVA NA INTELEKTUALNO VLASNIŠTVO U PODRUČJU TEHNIKE U REPUBLICI HRVATSKOJ.....	173
S. Franjić	
OPASNOSTI I ZAŠTITA NA RADU U SKUČENIM I OGRANIČENIM PROSTORIMA .....	184
D. Vidaković, A. Jurić, J. Pešić	
GRAĐEVINSKE DOZVOLE – ANALIZA IZDAVANJA NA PODRUČJU DRŽAVE, ŽUPANIJE I GRADA.....	196
D. Obradović, L. Međurečan	
<b><u>KONSTRUIRANJE I PROIZVODNE TEHNOLOGIJE / DESIGN AND PRODUCTION TECHNOLOGIES</u></b>	
SEISMIC ANALYSIS OF THE SUPPORT OF STEEL HOPPER BOTTOM SILOS .....	207
F. Orbán, Gy. Vasvári, T. Zsebe	
CASTING MOULD CREATION USING ADDITIVE MANUFACTURED BASE PATTERN.....	217
Gy. Vasvári, T. Zsebe, D. Novoselović, F. Dako, D. Csonka	
SOME INFLUENCES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL.....	224
B. Grizelj, S. Resković, D. Marić, M. Duspara, T. Brlić, K. Vuletić, I. Putnik	
PRIMJENA TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA AUSTENITNOG CR-NI NEHRĐAJUĆEG ČELIKA S UGLJIČNIM ČELIKOM PRI IZRADI KOMPENZATORA.....	236
A. Tunuković D. Marić, T. Šolić, M. Duspara, J. Pavić, I. Samardžić, A. Stoić	
ISPITIVANJE PREGRIJAČA KOMORE METODOM METALOGRAFSKIH REPLIKA .....	248
N. Berić, I. Opačak, I. Kladarić, A. Milinović	



# **Ekonomске posljedice smanjenja emisija u energetskej tranziciji Europe**

## ***The economic consequences of reducing emissions in the energy transition of Europe***

**D. Pudić<sup>1,\*</sup>**

<sup>1</sup>Hrvatska energetska regulatorna agencija, Zagreb, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: dpudic@hera.hr

### **Sažetak**

Europski zeleni plan predstavlja težnju Europske unije da Europa postane prvi klimatski neutralni kontinent, kao i strateški koncept za postizanje održivosti europskog gospodarstva kao modernog, konkurentnog i resursno učinkovitog. Prema tom planu u Europi 2050. godine neće biti neto emisija stakleničkih plinova. EU je predvidjela financijsku i tehničku pomoć za tranziciju u iznosu do 100 milijardi eura za regije koje će biti najviše pogođene prelaskom na zeleno gospodarstvo. U radu se razmatra u kakvoj će poziciji biti Republika Hrvatska u pogledu mogućnosti povlačenja tih sredstava budući da je u smislu emisija u dobroj poziciji u odnosu na druge države članice EU. Postavlja se i sljedeće pitanje: koje su koristi ostvarene za hrvatsko gospodarstvo od značajnih ulaganja u obnovljive izvore energije? Nadalje, u radu je dan naglasak na ekonomske posljedice predstojeće energetske tranzicije.

Cilj ovoga rada je utvrditi realnost ostvarenja zelenog plana, akcije koje bi trebale poduzimati vlade država članica EU te ekonomske posljedice na konkurentnost gospodarstva. U veljači 2020. godine usvojena je Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030 godine s pogledom na 2050. godinu, u kojoj se prema scenariju umjerene energetske tranzicije (S2) očekuje smanjenje emisija stakleničkih plinova do 64%.

**Ključne riječi:** zeleni plan, prirodni plin, energetska učinkovitost, ekonomske posljedice

### **Abstract**

The European Green Deal represents the EU's aspiration that Europe becomes the first climate-neutral continent as well as a strategic concept for achieving the sustainability of the European economy as a modern, competitive and resource efficient. According to such a plan, there will be no net greenhouse gas emissions in Europe in 2050. The EU has provided financial and technical assistance for transition up to 100 billion euros for the regions that will be the most affected by the transition to a green economy. The paper discusses the position of the Republic of Croatia concerning the possibility of withdrawing these funds because it is in a good position regarding emissions in relation to other EU Member States.



The following question also arises: what are the benefits realized in the Croatian economy from significant investments in renewable energy sources? Furthermore, the paper emphasizes the economic consequences of the upcoming energy transition.

The aim of this paper is to determine the reality of the realization of the green plan, the actions that should be taken by the governments of the EU member states and the economic consequences on the competitiveness of the economy. In February 2020, the Energy Development Strategy of the Republic of Croatia until 2030 was adopted with a view to 2050, in which, according to the scenario of moderate energy transition (S2), greenhouse gas emissions are expected to be decreased up to 64%.

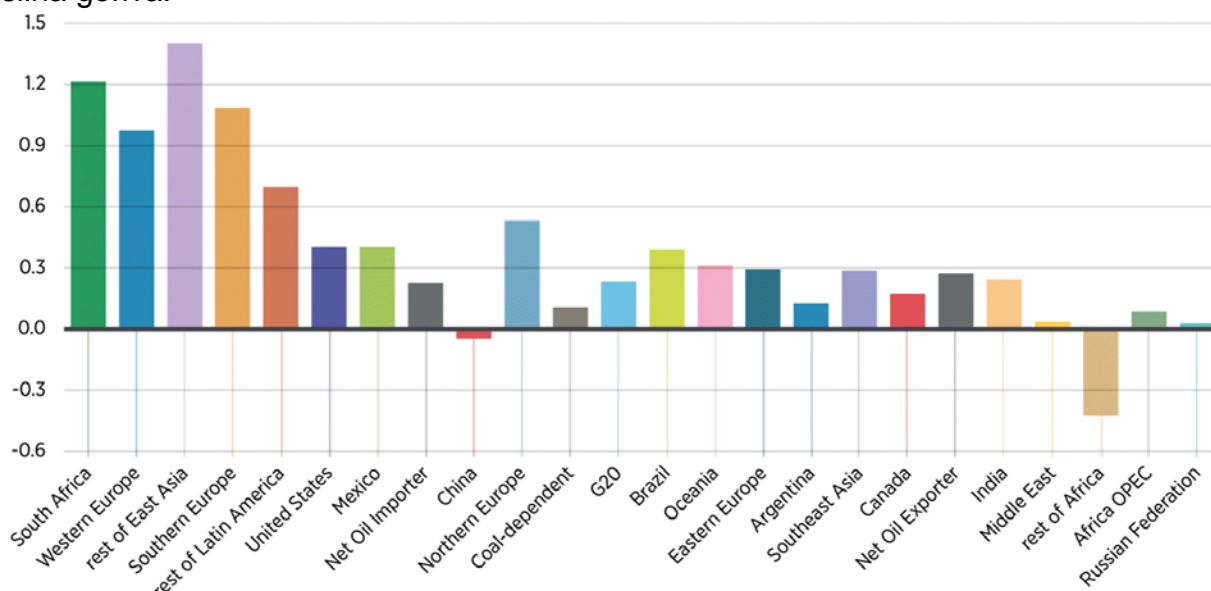
**Key words:** European green deal, natural gas, energy efficiency, economic consequences

## 1. Uvod

Europski zeleni plan (engl. European Green Deal) kao odgovor Europske unije na klimatske promjene obuhvaća niz mjera za smanjenje onečišćenja, obnovu biološke raznolikosti i učinkovito iskorištavanje resursa s prelaskom na kružno gospodarstvo. Stoga će biti potrebno ulagati u tehnologije prihvatljive za okoliš, dekarbonizaciju energetske sektora, povećanje energetske učinkovitosti zgrada, uvesti čišći javni prijevoz i poticati industriju na inovacije. Ovo bi imalo snažne učinke na čišći okoliš, što bi se posljedično odrazilo na smanjenje broja preuranjenih smrti zbog zagađenosti kao i drugih bolesti usko vezanih uz onečišćenje (kao što su to kronični bronhitis – gdje je preko 11.000 novooboljelih, ili astma s preko 530.000 novooboljelih) te na smanjenu ovisnost Europske unije o uvozu fosilnih goriva, što doprinosi neovisnosti, sigurnosti i stabilnosti. Republika Hrvatska „uvozi“ čak oko 70 posto onečišćenja iz drugih zemalja, dok 60 posto onečišćenja proizvedenog na teritoriju Republike Hrvatske ode u druge države. Stoga je interes svih Europljana da se sve elektrane koje su veliki onečišćivači zatvore što je prije moguće [1].

Procjenjuje se da su troškovi javnog zdravstva u Europskoj uniji zbog bolesti usko vezanih uz onečišćenje veći za 62,3 milijarde eura na godišnjoj razini. Nadalje, stopa ovisnosti Europske unije o uvozu energenata iznosi visokih 58%, što predstavlja prijetnju europskom gospodarstvu i sigurnosti. Zato ne čudi okretanje Europe obnovljivim izvorima energije. Prema istraživanju Enel Foundation o socio-ekonomskom utjecaju energetske tranzicije u Europskoj uniji [2] sedam je socio-ekonomskih trendova koji potiču energetske tranzicije: novi stil života, zelena generacija, digitalizacija, smanjenje tehnoloških troškova, povećana pažnja na korporativnu društvenu odgovornost, zelene investicije i kružna ekonomija. Prema istraživanju Conolly-a i drugih [3], scenarij s potpuno obnovljivim izvorima energije koštat će 10-15% više od uobičajenog scenarija poslovanja, ali bi se trebalo stvoriti 10 milijuna novih radnih mjesta. Prema istraživanju Garcia-Casals-a i drugih [4], provedba energetske tranzicije na globalnoj razini dovodi do relativnog povećanja zaposlenosti od 0,14% (u odnosu na referentni slučaj tijekom analiziranog razdoblja od 2018. do 2050. godine). Nadalje, to je istraživanje pokazalo da su globalni rezultati zaposlenosti pozitivni, ali s jasnim razlikama po regijama (Slika 1).

Nabiyeva je u studiji [5] pokazala da postoje brojne prepreke u jugoistočnoj i istočnoj Europi koje odgađaju energetska tranziciju, a prvenstveno se odnose na velike investicijske rizike, visoku cijenu kapitala i ograničen pristup financiranju. Budući da je najveći doprinos moguć kroz povećanje broja radnih mjesta, države bi trebale voditi računa o ulaganju u poticaje i povećanje broja zaposlenih, kao i o investicijama u energetska infrastrukturu vezanih uz fosilna goriva.



**Slika 1.** Razlika u regionalnom zapošljavanju u 2050. u odnosu na referentni slučaj (u milijunima)

## 2. Industrija ugljena

Da bi ispunila zeleni plan Europska unija će se morati riješiti termoelektrana na ugljen koje predstavljaju izuzetno štetan izvor energije za ljudsko zdravlje i koštaju više od alternativnih izvora energije kada im se alociraju pripadni troškovi javno-zdravstvenog sustava. Nadalje, gašenjem termoelektrana na ugljen najbrže se postiže smanjenje emisija stakleničkih plinova. U Europskoj uniji je preko 280 termoelektrana na ugljen ukupne snage preko 143 GW, što je manje od 7% ukupno instalirane snage svih termoelektrana na ugljen u svijetu. Termoelektrane na ugljen nisu ravnomjerno raspoređene po državama članicama, a proizvode oko 24% električne energije u Europi. Njemačka i Poljska sumarno imaju više od 50% instaliranog kapaciteta svih europskih termoelektrana na ugljen. Iako bi neke od njih trebale raditi i do sredine 70-ih godina ovog stoljeća, Njemačka planira ugasiti termoelektrane na ugljen do 2038. godine. Njemačka vlada izdvojila je milijardu eura za zatvaranje 5 GW snage termoelektrana na ugljen do 2023., a što predstavlja financijsku kompenzaciju kompanijama za prijevremeno napuštanje tih postrojenja. U 2014. godini 280 elektrana je emitiralo više od 755 milijuna tona CO<sub>2</sub>, odnosno oko 18% europskih emisija stakleničkih plinova. U slučaju da dođe do postepenog zatvaranja termoelektrana tijekom slijedećih 20 godina, to znači da bi te elektrane u tom razdoblju proizvele više od 7,5 milijardi tona CO<sub>2</sub>, da bi uzrokovale trošak javnog zdravstva od preko 620 milijardi eura te izazvale preko 260.000 preuranjenih smrtnih slučajeva. Ako se uzrokovani trošak raspodijeli na





instaliranu snagu od 143 GW, to bi značilo da jedan MW instalirane snage košta više od 4.000 eura. Iz računice se može izvesti zaključak da bi bilo isplativije zaustaviti termoelektrane na ugljen i izgraditi zamjenske na plin (koje bi ujedno rezultirale s dvostruko manjom emisijom stakleničkih plinova). Iako je u Europi zabilježen pad proizvedene električne energije iz termoelektrana na ugljen za oko 3%, na svjetskoj razini je došlo do porasta od 3% u ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji u 2018. godini u odnosu na 2017. godinu. U istom razdoblju došlo je do porasta potrošnje električne energije u svijetu za 1000 TWh. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora porasla je za 300 TWh, kao i proizvodnja iz termoelektrana na ugljen, dok je kod plinskih termoelektrana evidentiran porast proizvodnje električne energije u iznosu od 230 TWh. U Europi je situacija ipak malo bolja kada se promatra odnos obnovljivih izvora energije i ugljena, jer je u 2018. godini došlo do pada proizvodnje električne energije iz ugljena za 26 TWh u odnosu na 2017. godinu, te do porasta iz obnovljivih izvora energije u iznosu od 45 TWh. U Europi se proizvede ugljena više od 170 milijuna tona ekvivalenta nafte, što je neznatno više od 4% svjetske proizvodnje ugljena. U Europi, više od polovice ugljena proizvedu Poljska i Njemačka. Rezerve ugljena u Europi se procjenjuju na oko 135 milijardi tona. S obzirom na godišnju potrošnju od skoro 600 milijuna tona ugljena proizlazi da Europa neće iskoristiti niti 5% svojih rezervi ugljena. S obzirom na cijenu ugljena, koja se u ovom stoljeću kretala u granicama 50-150 \$/toni, proizlazi da će Europska unija ostaviti neiskorišteno na tisuće milijardi eura. Nagli prelazak na plin izazvao bi snažniju potražnju za plinom, što bi uzrokovalo više cijene plina, pa bi to moglo biti riskantno bez obzira na značajno manje emisije stakleničkih plinova.

### 3. Industrija plina

Protoklo desetljeće obilježilo je pad profitabilnosti termoelektrana na plin. To je posebno bilo izraženo u razdoblju između 2012. i 2014. godine, kada je više kompanija odlučilo privremeno ili trajno zatvoriti svoje termoelektrane na plin. Zatvoreno je 50-tak postrojenja ukupne snage 9 GW, neovisno o činjenici da je u razdoblju od 2000. do 2010. godine izgrađeno 175 GW snage termoelektrana na plin u Europi. Zatvaranje termoelektrana na plin rezultiralo je značajnim financijskim troškovima koji su procijenjeni na više od 6 milijardi eura samo u 2013. godini [6]. Iako je šteta neosporna, povećana cijena ugljena, kao i rast cijene emisija te globalno tržište plina utječu na vraćanje konkurentnosti plina u odnosu na ugljen. Dokaz za to je povećana proizvodnja električne energije iz plina za 30% u razdoblju između 2015. i 2017. godine. Termoelektrane na prirodni plin jeftine su, brze za izgradnju, fleksibilne u pogonu i stoga pogodne za balansiranje u elektroenergetskom sustavu. Nadalje, prilikom izgaranja goriva emisije stakleničkih plinova su dvostruko manje nego kod termoelektrana na ugljen, a druge nečistoće poput NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> i krutih čestica također su manje u usporedbi s drugim elektranama na fosilna goriva. Zamjena termoelektrana na ugljen u Europskoj uniji s termoelektranama na plin rezultirala bi smanjenom emisijom stakleničkih plinova za 810 milijuna tona u odnosu na 1990. godinu [7].

Upotreba plina u cestovnom prometu ima značajne ekološke prednosti u odnosu na konvencionalna goriva (25% manje CO<sub>2</sub> i 60% manje NO<sub>x</sub>). Elektromobilnost je aktualna alternativa u velikom zamahu, ali za to je potrebna električna energija koja se proizvodi iz



ugljena i sve dok se ne ugasi posljednja termoelektrana na ugljen može se reći da i električni automobili emitiraju veliku emisiju CO<sub>2</sub>. Trenutno se u Europskoj uniji proda više vozila na prirodni plin nego električnih vozila.

Kod Power to Gas tehnologije omogućeno je skladištenje i jeftiniji prijenos velikih količina energije na udaljena područja na ekonomičniji i ekološki prihvatljiviji način nego što je to slučaj kod elektroenergetskog prijenosnog sustava, a energija može biti raspoloživa za decentraliziranu proizvodnju. Osim što je prijenos jeftiniji, prijenos plinskim cijevima je i urbanistički prihvatljiviji jer nema nadzemnu infrastrukturu.

Potrošnja prirodnog plina u Europskoj uniji je u zadnjih deset godina varirala između 516 i 401 milijardi m<sup>3</sup> i nije pokazivala određeni trend. 2018. godine ona je iznosila 458 milijardi m<sup>3</sup> i bila je 1,6 % niža nego godinu prije. Uspoređujući to s proizvodnjom prirodnog plina vidljivo je da je ukupna proizvodnja u Europskoj uniji padala s 200 milijardi m<sup>3</sup> u 2008. godini na 109 milijardi m<sup>3</sup> u 2018. godini. I dok je 2008. godine ukupna proizvodnja pokrivala 39% vlastite potrošnje u 2018. godini ona je iznosila 23%.

Veleprodajna cijena prirodnog plina u petogodišnjem razdoblju 2014.-2018. kretala se između 12 i 25 Eura/MWh, a u petogodišnjem razdoblju prije toga (2009.-2013.) između 20 i 40 Eura/MWh.

Načelno, ulaganja u plinsku infrastrukturu predstavljaju dugoročne i kapitalno intenzivne projekte, čiji su povrati na uloženu investiciju mali jer im i vijek trajanja prelazi 40 i više godina. Na ovom mjestu treba naglasiti da je veliki projekt izgradnje transportnog plinovoda Nord Strem 2 (kojim Njemačka namjerava preuzimati plin iz ruskih plinskih polja) pri završetku i da će se koristiti desetljećima. U suprotnom taj se plinovod ogromne vrijednosti ne bi ni gradio. Stoga bi plin trebao imati značajnu ulogu u bržoj tranziciji Europske unije prema zelenom gospodarstvu. Bržim prijelazom na plin dalo bi se vremena novijim tehnologijama da postanu konkurentne.

Iz usporedbe emisija ugljičnog dioksida za države članice Europske unije (Tablica 1) proizlazi da se Republika Hrvatska nalazi na samom začelju, tj. da ima značajno manje emisije nego druge članice Europske unije, a to bi možda moglo značiti da ne bi mogla ishoditi neki značajniji iznos od planiranih 100 milijardi eura iz europskog fonda pomoći za prelazak na zeleno gospodarstvo.

Tablica 1. prikazuje emisiju ugljičnog dioksida po glavi stanovnika u 2018. godini za devet država članica Europske unije. Iz tablice je vidljivo da od prikazanih zemalja Republika Hrvatska ima najnižu emisiju CO<sub>2</sub> po glavi stanovnika. Od svih država članica Europske unije, čiji je prosjek emisija CO<sub>2</sub> po glavi stanovnika 2018. godine bio 8,7 t/stanovniku, jedino su Švedska (5,4) i Malta (5,5) imale nižu emisiju od Republike Hrvatske prema Eurostatu [8].

**Tablica 1.** Emisije CO<sub>2</sub> (t/stanovniku)

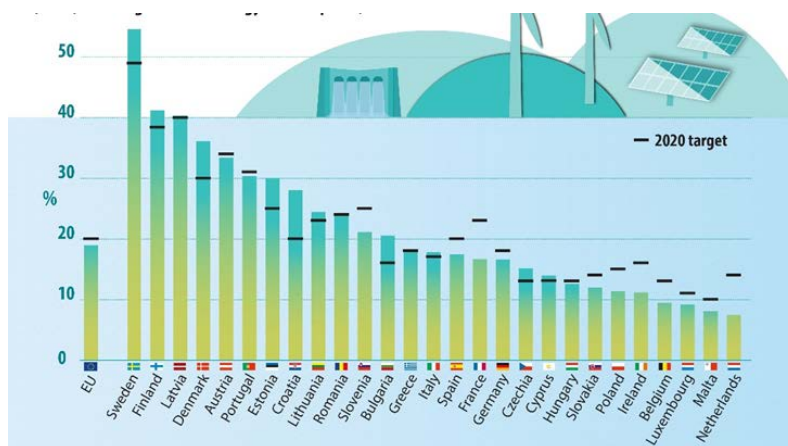
Država članica EU	Emisije CO <sub>2</sub>
Luksemburg	20,3
Nizozemska	11,6
Poljska	11
Belgija	10,8
Njemačka	10,7
Danska	8,9
Španjolska	7,5
Italija	7,3
Republika Hrvatska	6

#### 4. Obnovljivi izvori energije

Proizvodnja obnovljive energije u Europskoj uniji u 2018. godini iznosila je 705 TWh, od čega 54% iz vjetra, 18% iz sunca, a ostatak iz drugih izvora, ne računajući energiju hidroelektrana. Ta energija je tri puta veća nego je bila 2008. godine. S obzirom da ukupna potrošnja električne energije u Europskoj uniji iznosi 3.282 TWh, to bi značilo da obnovljivi izvori (ne računajući električnu energiju iz hidroelektrana) imaju udio od 21%. Kako u zadnjih 10 godina nije došlo do porasta potrošnje električne energije (a razlog bi se mogao nalaziti i u primjeni mjera energetske učinkovitosti) to je udio obnovljivih izvora energije (bez hidroelektrana) u ukupnoj potrošnji električne energije u deset godina porastao sa 6% na 21%. S obzirom na trendove i činjenicu da je u desetogodišnjem razdoblju porast proizvodnje bio manji od 500 TWh električne energije nije realno očekivati da bi u slijedećih 30 godina moglo doći do potpune zamjene fosilnih goriva zelenom energijom, tim više ako bi došlo do značajnijeg porasta potrošnje električne energije zbog masovne uporabe električnih vozila u cestovnom prometu.

Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije u Europskoj uniji u 2018. godini iznosio je 18%, dok je 2004. godine taj udio iznosio nešto više od 8%, što bi značilo da se u 15 godina povećao za 10%. Zaista bi trebalo napraviti ogroman iskorak u korištenju obnovljivih izvora energije, kako bi se postigao konačni cilj – klimatski neutralna Europska unija. Ipak, klimatski neutralna Europska unija ne predstavlja nedostižan cilj. Tom cilju može značajno doprinijeti primjena vodika koji bi dekarbonizirao plinsku mrežu. Slika 2. prikazuje udio obnovljivih izvora energije u državama članicama Europske unije.





**Slika 2.** Udio obnovljivih izvora energije u državama članicama EU [8]

Tipično kućanstvo troši višestruko više toplinske energije (za grijanje) nego električne energije, pa bi se elektroenergetska mreža morala prilagoditi snagom koja bi se koristila samo u zimskim mjesecima, ali i skladištenju velikih količina energije. Nadalje, 90% svih emisija zgrada odnosi se na zgrade starije od 25 godina, dok 40% svih kućanstava Europske unije koristi plinsku mrežu.

Punjenje spremnika vozila vodikom obavlja se oko 15 puta brže od punjenja vozila električnom energijom na najbržim punionicama. Razvojem ekonomije dijeljenja dugo čekanje na punjenje električnih automobila bit će ogromna prepreka za elektromobilnost. Vodik je trenutno opcija za dekarbonizaciju teške industrije koja zahtijeva visoku temperaturu toplinske energije, za kemijsku industriju i za transport teškim vozilima, avionima i brodovima. Prema Fuel Cells And Hydrogen Joint Undertaking vodik je važan element energetske tranzicije i može predstavljati 24% finalne potrošnje energije, uz stvaranje 5,4 milijuna radnih mjesta do 2050. godine. Od strane European Wind Energy Association i Global Wind Energy Council procijenjeno je da će do 2050. u Europi biti potrebno izgraditi 2.000 GW vjetroelektrana i 3.000 GW solarnih elektrana za dekarbonizaciju elektroenergetskog sektora. Te elektrane bi proizvele 5.000 TWh energije, što bi pokrilo 50% ukupnih energetskih potreba Europske unije. Međutim, u takvom će scenariju postojati problem s elektroenergetskom prijenosnom mrežom zbog koje u Europskoj uniji nisu realizirani mnogi projekti vjetroelektrana. Na žalost, investicije u prijenosnu mrežu su skupe i potrebne su godine za realizaciju istih. S druge strane, s istom infrastrukturuom, u transportnoj se plinskoj mreži može transportirati i do 20 puta više energije, pa ta mreža ima potencijal za prijenos i transport vodika koji bi se dobivao iz električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije. Vrontisi i drugi u svom radu [10] navode važnu ulogu vodika, poglavito u sektoru prometa.

## 5. Zaključak

Europska unija je zacrtala vrlo ambiciozni cilj slijedom kojeg bi Europa postala prvi klimatsko neutralni kontinent. Za ostvarivanje tog cilja potrebna su znatna sredstva. Stoga je Europska unija pripremila fond za pomoć za tranziciju u iznosu do 100 milijardi eura za regije koje su



najviše pogođene prelaskom na zeleno gospodarstvo. Ta sredstva sigurno nisu dovoljna, pa su potrebne i određene subvencije za poticanje na prelazak na zeleno gospodarstvo. Prirodni plin ima značajne prednosti za tranzicijsko razdoblje: zamjena termoelektrana na ugljen termoelektranama na plin, stlačeni i ukapljeni prirodni plin za smanjenje emisija u prometu, visokoučinkovite mikrokogeneracije za distribuiranu proizvodnju energije kao i „Power to gas“ tehnologija za pohranu velikih količina obnovljive energije. Svakako, investicije u plinsku infrastrukturu moraju se svesti na nužno potrebite, kako ne bi opteretile krajnju cijenu plina. S druge strane, treba ukinuti subvencije u slučaju „zrelih“ tehnologija obnovljivih izvora energije kako bi se mogle preusmjeriti u istraživanja i razvoj novih tehnologija kao što su to „Power to gas“, hvatanje i skladištenje ugljika te razvoj zelenog vodika.

## 6. Literatura

- [1] <https://www.dw.com/hr/industrija-propala-ali-zaga%C4%91iva%C4%8Da-zraka-nemanjka/a-51633862>
- [2] Enel Foundation, The socio-economic impacts of energy transition in Europe, 2019.
- [3] Connolly, David.; Lund, Henrik; Vad Mathiesen, Brian. Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union, Renewable and Sustainable Energy Reviews 60:1634-1653, 2016.
- [4] Garcia-Casals, Xavier; Ferroukhi, Rabia; Parajuli, Bishal. Measuring the socio-economic footprint of the energy transition, Energy Transitions, volume 3, pages 105–118, 2019.
- [5] Nabyeva, Komila. Energy Transition in South East and Eastern Europe, South Caucasus and Central Asia, 2018.
- [6] Ahmed Ousman Abani: Profitability of gas-fired power plants in Europe: is the storm behind us?
- [7] Gas Infrastructure Europe, Investments in Infrastructure in Europe
- [8] [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020\\_rd300/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd300/default/table?lang=en)
- [9] [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics/explained/index.php?title=File:Share\\_of\\_energy\\_from\\_renewable\\_sources\\_2018\\_infograph.jpg](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics/explained/index.php?title=File:Share_of_energy_from_renewable_sources_2018_infograph.jpg)
- [10] Vrontisi, Zoi; Fragkiadakis, Kostas; Kannavou, Maria; Capros, Pantelis. Energy system transition and macroeconomic impacts of a European decarbonization action towards a below 2 °C climate stabilization, Climatic Change, 2019.



## **Textile dye-house wastewater**

**A. Sutlović<sup>1,\*</sup>, B. Vojnović<sup>2</sup>, I. Sutlović<sup>3</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 Textile Technology, Department for applied chemistry, Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>University of Zagreb Faculty of Chemical Engineering and Technology, Department of Thermodynamics, Mechanical Engineering and Energy, Zagreb, Croatia

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

### **Abstract**

Fresh water is an increasingly scarce resource as the demands of an ever-growing world population and the agricultural activity needed to support it consume a steadily rising proportion of global fresh water resources. Consequently, industry generally needs to find ways to reduce its water consumption. As a major user and potential polluter of water, the textile wet processing industry is under particular pressure to reduce water consumption on both environmental and economic grounds. Main coloured compound in dye-house waste waters are azo dyestuffs. Azo dyestuffs are the most important dyestuffs applied today. Azo dyes are used for dyeing natural and synthetic fibres. Azo dye molecules include one or more azo groups and may be acid, direct, disperse, basic or reactive dyes. Since an only 85–90% of the value of the dye is fixed on the fabric in dyeing, the waste streams represent the largest point source discharges from the textile industry. Dyes containing an azo bond (-N=N-) during wastewater purifying undergo rapid reductive cleavage under anaerobic conditions. Some azo dyes can be carcinogenic even without being cleaved into aromatic amines. Many azo dyes and their reductively cleaved products as well as chemically related aromatic amines are reported to affect human health, causing allergies and other human maladies. Due to the above, it is important to take into account the choice of method of wastewater treatment of the dye-house, which will not affect the chemical structure of the dye. In addition, law prohibits dyes that can adversely affect human health and the environment.

**Keywords:** textile, dye-house, azo dyes, wastewater

### **1. Introduction**

Water pollution is a major environmental threat throughout the world. Water is an important source for all living beings in the ecosystem. Effluent from the textile industry is the foremost contribution to water pollution. Textile effluents are rich in chemical essences and a variety



of dyes. In this context, dye is considered to be one of the most troublesome components in textile wastewater treatment because of its complex chemical structure. Chemical additives in textile effluent consist of a high concentration of organic and inorganic compounds. To minimize water scarcity and water contamination, different conventional methods have been employed in wastewater (domestic and industrial) treatment. Textiles are one of the main traditional worldwide industries that use various commercially available dyes, producing  $7 \cdot 10^5$  tons of dyestuffs per year worldwide. Textile wastewaters contain dye, inert auxiliaries, and chemicals such as acids, waxes, fats, salts, binders, thickeners, urea, surfactants, and reducing agents. These dye effluents are highly variable in their composition, with relatively strong colour, high chemical oxygen demand (COD), high salinity, high temperature, variable pH, and low biochemical oxygen demand (BOD). Such effluents can affect both water quality and gas solubility, which adds toxicity to aquatic plants and animals, leading to severe global environmental problems [1-4].

## 2. Textile dyestuff

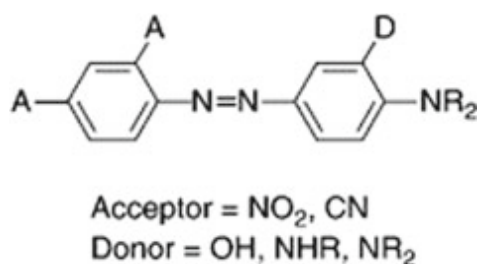
Dye is the major constituent in textile colouring effluent. Different types of dyes are used in the textile industry, based on the characteristics of the fibre. Generally, textile dyes are classified into three categories: (1) anionic, (2) cationic and (3) non-ionic. Major anionic dyes are direct, acid and reactive. Cationic dyes are azo basic, anthraquinone and reactive dyes, and major non-ionic dyes are dispersing. Among these, cationic dyes can be carcinogenic; they are made from benzidine and other aromatic compounds. The most problematic dyes are the reactive and acid ones that are brightly coloured and water soluble; they cannot be removed using conventional treatment methods. Similarly, organic dyes in effluents have high photolytic stability and higher chemical compounds. Discharge of dyes in the water streams consists of a low concentration of dyes, but it is highly visible because of the staining properties. Removal of colour from the effluent is an important environmental problem for the following reasons:

1. The effluent can be toxic, carcinogenic and mutagenic, which leads to several health effects.
2. Generally, dyes have a complex aromatic structure.
3. They have low biodegradability, which affects sunlight penetration and photosynthesis.
4. They are recalcitrant in nature [1-8].

## 3. Azo dyes

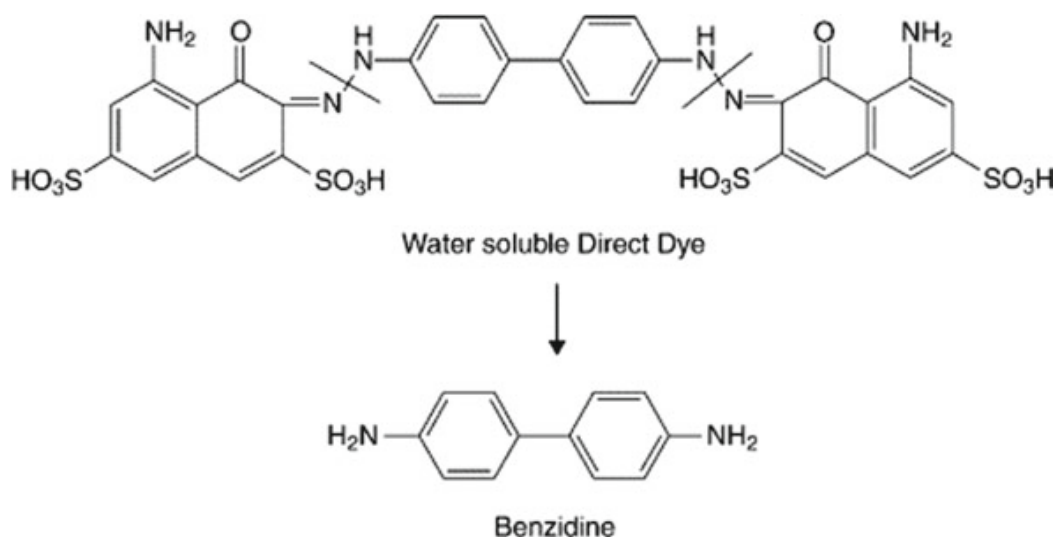
Azo compounds have vivid colours and comprise about two-thirds of all synthetic dyes and are by far the most widely used and structurally diverse class of organic dyes in commerce. At least 3.000 azo dyes available in the past and were used in pharmaceutical and paper industries as well as printing inks, paints, varnish, lacquer, and wood stains. The colorants of synthetic and natural textile fibers, plastics, leather, hair dyes, waxes, and petroleum are also azo dyes. Azo dyes are the largest and most versatile class of dyes and account for more than 50% of the dyes produced worldwide. In the textile industry up to 80%. Their

chemical formula is  $R-N=N-R'$ , where  $-N=N-$  represents the azo group and the R or R' is either aryl or alkyl compound (figure 1) [4-6].



**Figure 1.** Structural formula of azo dyes [5]

Azo dyes are stable in light and resistant to microbial degradation or fading away due to washing. Therefore, azo dyes are not readily removed from waste water by conventional waste water treatment methods. It has been estimated that about 10% of the dyestuff in the dyeing process of textiles do not bind to fibers and are, therefore, released to the environment. The carcinogenicity of many azo dyes is due to their cleaved product benzidine. Benzidine induces various human and animal tumours. Another azo dye component, p-phenylenediamine, is a contact allergen (figure 2). Therefore, azo dyes pose lethal effects, genotoxicity, mutagenicity, and carcinogenicity to humans as well as animals. Indiscriminate disposal of azo dyes into the environment especially from the textile industry is a major threat to human health and environment. Human exposure to azo dyes may occur through ingestion, inhalation, or skin contact [4-6].



**Figure 2.** Reduction decomposition of azo dyes [5]

#### 4. Coloured wastewater purifying





Each year, the textile industry produces about 80 billion garments, leaving a rather large water footprint behind. Dye-house can use up to 200 tons of water per ton of dyed fabric, which in turn only produces about 1400 pieces of clothing. Add everything together and roughly 17 to 20% of industrial water pollution is owed to fabric dyes and treatments. In China, estimates say 90 percent of the local groundwater is polluted, Indonesia's landscape looks similar – hundreds of textile factories dumping waste and chemicals into the once freshwater source daily. Due to, the development of textile dyeing machines is focused on the development of waterless dyeing, however, the necessity of combining appropriate methods of dyeing wastewater treatment remains [1-4, 7, 8].

There are different methods to achieve effective colour removal, according to the dye removal mechanisms: physical, chemical, electrochemical and biological treatments. They are briefly discussed in the figure 3. Adsorption is one of the most frequently used methods in textile industry as tertiary treatment. Activated carbon is an effective adsorbent for a wide range of dyes, but its high price and regeneration complexity limits its application in decolourization. The coagulation-flocculation technique is a frequently used treatment method in textile wastewater treatment plants to discolour textile effluents and reduce the total load of suspended solids and organic pollutants. However, the additional chemical load on the effluent increases the sludge production and leads to the uncompleted dye removal. Membrane filtration has the ability to clarify, concentrate and separate dyes from the effluent. In textile industry, membranes represent an exciting potential for the recycling of hydrolyzed reactive dyes. Chemical methods were found to be effective in decolorizing a wide range of dye. Ozonation is one of the most effective means of decolourization of dye-house wastewater and has demonstrated to be able to achieve high colour and residual COD removal. Advanced Oxidation Processes comprise a series of methods including ozonation, photo-catalysis, electrochemical oxidation, Fenton and Fenton-like processes. Generation of OH is commonly accelerated by combining O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, UV radiation, electron-beam irradiation and ultrasound. Of these, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/UV and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV hold the greatest potential to oxidize textile wastewater. Electrocoagulation technique was developed in the mid 1990's. It has some significant advantages as an effective method for dye removal. It uses a direct current source between metal electrodes such as aluminium and iron immersed in the effluent in order to cause the dissolution of the metal plates into wastewater. Biological removal of the dyes from textile and dyestuff manufacturing industry can be broadly classified into three categories: aerobic treatment, anaerobic treatment, and combined anaerobic–aerobic treatment. Depending on the local regulations, the biological process alone may or may not be sufficient. The process could require the involvement of other physical, chemical, or physicochemical operations. The general perception that has emerged over the years is that most dyes are generally recalcitrant to aerobic degradation but can be at least partially decolourized under anaerobic conditions [1-4, 8].

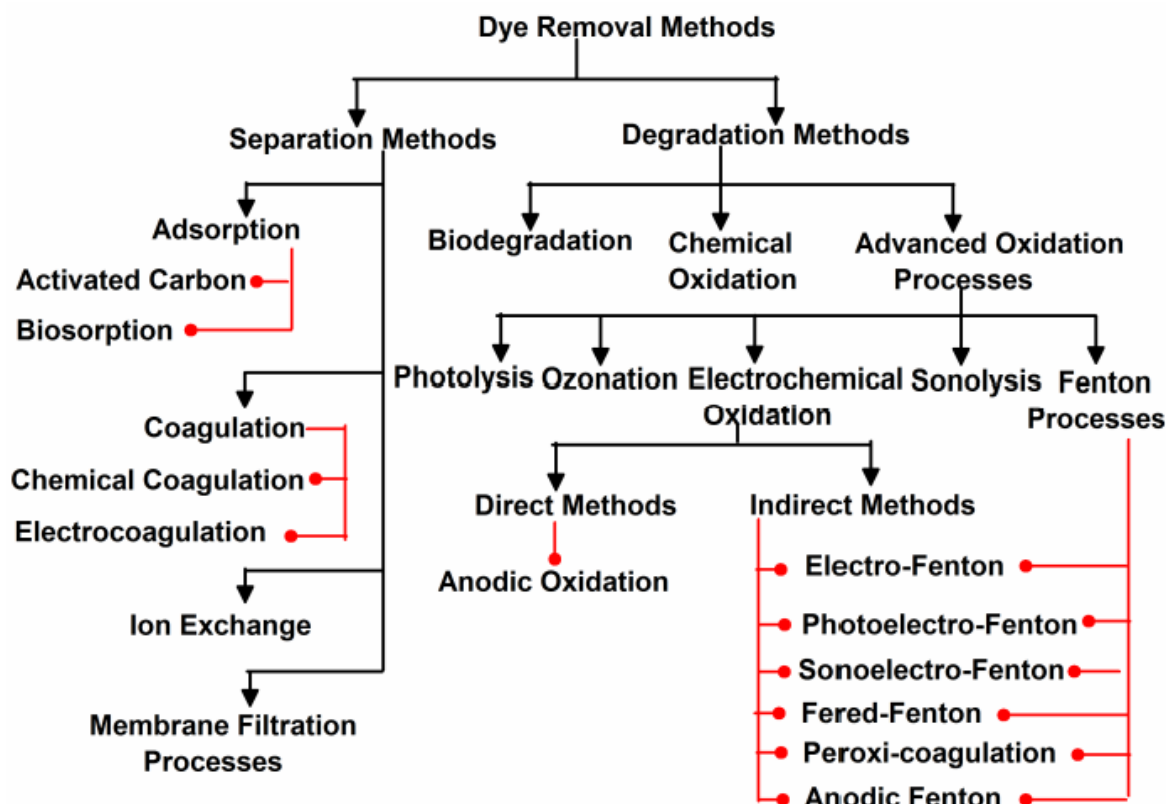


Figure 3. Methods for textile wastewater colour removal [8]

Taking into account the above and fact that carcinogenicity of azo dyes directly depends on the structure of molecule and on mechanism of degradation, choosing a method of wastewater treatment containing dyes, it is important to take into account the principle mechanism behind the removal of dyes. These processes can be divided into two broad classes: separative (physical and physicochemical) methods, and degradative chemical and biological) methods (figure 3). The choice of degradative methods can lead to the degradation of azo dyes to amines, which can be carcinogenic, i.e. the degradation products of dyes in purified uncoloured water can be more harmful than dyes. This is especially true in the Far East, where legislation is low and azo dyes are still used, the reduction of which produces carcinogenic compounds [5-7]. This refers to azo dyes, which, by cleavage of their azo groups, produce one or more of the known carcinogenic aromatic amines in detectable concentrations, defined as 30 ppm. The European Commission has laid out its stance on azo dyes in the so called REACH legislation (Section 43 of Annex XVII of REACH, Azo dyes and Azo colourants), table 1 [6]. This Directive lays down compounds which are prohibited for use and which may be part of textile dyes and may not be contained in waste water.

Table 1. EU Directive 2002/61/EC and 2003/3/EC accessories lists 24 harmful and banned aromatic amines [6]

No.	CAS Number	Name
1	92-67-1	4-Aninobiphenyl

2	92-87-5	Benzidine
3	95-69-2	4-Chloro-o-toluidine
4	91-59-8	2-Naphthylamine
5	97-56-3	o-Aminoazotoluene
6	99-55-8	2-Amino-4-nitrotoluene
7	106-47-8	p-Chloroaniline
8	615-05-4	2,4-Diaminoanisole
9	101-77-9	4,4'-Diaminobiphenylmethane
10	91-94-1	3,3'-Dichlorobenzidine
11	119-90-4	3,3'-Dimethoxybenzidine
12	119-93-7	3,3'-Dimethylbenzidine
13	838-88-0	3,3'-Dimethyl-4, 4- diaminobiphenylmethane
14	120-71-8	p-Cresidine
15	101-214-4	4,4'-Methylene-bis-(2-chloroaniline)
16	101-80-4	4,4'-Oxydianiline
17	139-65-1	4,4'-Thiodianiline
18	95-53-4	o-Toluidine
19	95-80-7	2, 4-Toluenediamine
20	137-17-7	2,4,5-Trimethylaniline
21	90-04-0	o-Anisidine
22	95-68-1	2,4-Xylidine
23	87-62-7	2,6-Xylidine
24	60-09-3	4-Aminoazobenzene

## 5. Conclusions

The textile industry is one of the oldest and largest industrial segments worldwide. It is responsible for environmental water pollution unless the water is properly treated before its disposal.

The most frequently used additives in the dyeing and finishing process are dangerous to human health, marine life, and the environment. Azo dyes, which account for 60 to 70 percent of all dyes in the industry, are responsible for setting high intensity hues. But when broken down and metabolized, they can be carcinogenic.

Therefore, when treating wastewater, care should be taken that the methods are combined and that it is imperative to choose methods that are separate. Degradation purification methods may be responsible for the formation of colourless but hazardous waters because the destruction of azo dyes can lead to hazardous decomposition products. In Europe, the state of wastewater treatment has been brought to a satisfactory level, but for the Far East the situation is catastrophic. In order to preserve the environment and the health of the planet, the global picture must be taken into account, legislation and its application in the most endangered areas must be controlled.





## 6. References

- [1] Parac-Osterman, Đurđica; Sutlović, Ana; Soljačić, Ivo. Water in textile finishing - raw materials and waste // *Tekstil*, 52(2003), 2, 55-62. (ISSN: 0492-5882)
- [2] Parac-Osterman, Đurđica; Đurašević, Vedran; Sutlović, Ana. Comparison of Chemical and Physical-chemical Discolouring Methods // *Kemija u industriji*, 56(2007), 11, 543-549. (ISSN: 0022-9830)
- [3] Bonić, Ivana; Palac, Andrea; Sutlović, Ana; Vojnović, Branka; Cetina, Mario. Removal of Reactive Black 5 dye from Aqueous Media using Powdered Activated Carbon – Kinetics and Mechanisms // *Tekstilec*, 63(2020), 2; 151-161 (ISSN (0351-3386)
- [4] Sutlović, Ana; Vojnović, Branka; Čurić, Iva; Ludaš, Anja: Guidelines for Water Management at the Global and Local Level // *Book of Proceedings of the 10th International Natural Gas, Heat and Water Conference, Osijek, 2019*, 161-168 (ISBN 978-953-6048-58-8)
- [5] Racane, Livio; Sutlović, Ana; Parac-Osterman, Đurđica; Tralić-Kulenović, Vesna. Toxicity of azo dyes // *4. International scientific-professional conference Textile Science and Economy, 2011*, 145-148. (ISBN: 978-953-7105-39-6)
- [6] Grgić, Katia, Sutlović, A., Brkić, B.: Labeling of chemicals - dyes according to the Regulation REACH // *Tekstil*, 66 (2017), 11-12, 279-338 (ISSN: 0492-5882)
- [7] <https://www.sustainyourstyle.org/old-environmental-impacts>, accessed 6. 7. 2020.
- [8] Nidheesh, P., Minghua Zhou, M.; Oturan, A.: An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemosphere*, Elsevier, 197(2018), 210-227. (ISSN: 0045-6535)

## ***Mathematical model for predicting the consumption of temperature dependent natural gas consumers***

**I. Sutlović<sup>1</sup>, T. Pendić<sup>1\*</sup>, P. Raos<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Slavonski Brod, Croatia

\*Corresponding author. E-mail: [tpendic@fkit.hr](mailto:tpendic@fkit.hr)

### **Abstract**

Natural gas is one of the most important energy sources of today and its consumption includes various aspects of human life, especially in households where it is used mainly for room and water heating and in gas stoves. In addition to household consumption, natural gas has found its application in industry as a raw material or energy source and in agriculture, cogeneration and heating plants. Temperature dependent gas consumers are considered to be those whose consumed quantities depend on external conditions, mostly outdoor temperature. and it is necessary to find a mathematical model that would describe that consumption. The model would make it possible to predict the quantities of natural gas that the transmission system operator would have to provide in order to meet the daily needs of natural gas consumption. This paper presents a mathematical model that describes gas consumption in the heating season, from October to April. There is a linear dependence of consumption on temperature and the model describes the hourly and total daily consumption.

**Key words:** temperature dependent gas consumers, natural gas consumption, mathematical model, estimation of gas consumption

### **1. Introduction**

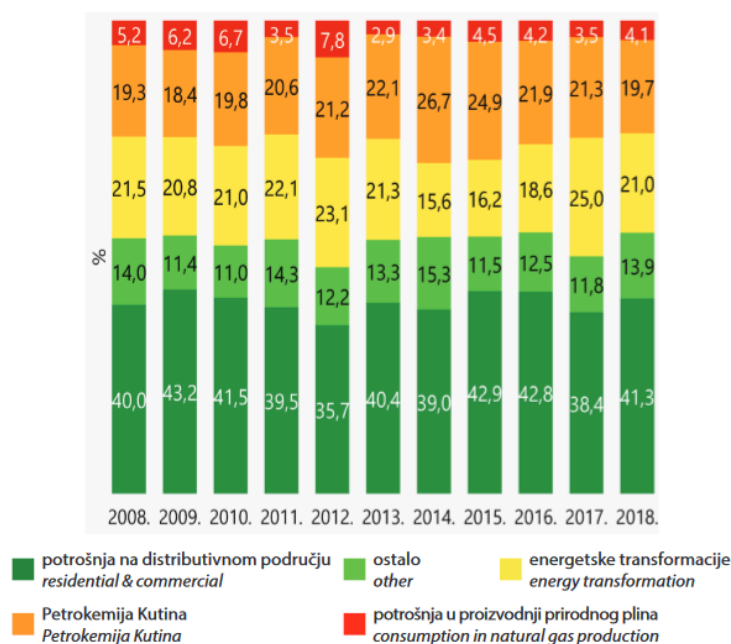
Annual gas consumption varies and that depends on the season and outdoor temperature. Throughout the year, there is a certain consumption of natural gas that is temperature independent because it is used in activities that do not depend on outdoor temperature such as industrial production or in households for processes that do not involve space heating. On the other hand, there is temperature dependent consumption that depends on the outdoor temperature, so consumer groups can be divided into temperature dependent and independent. The natural gas supply business is a complex matter because of the impossibility of accurately estimating consumption, and it is necessary to obtain a rough estimate in order for the supplier to provide sufficient quantities of gas for all users and thus enable a secure gas supply. For this purpose, an analysis of consumption in previous years

is performed in order to obtain a model that connects the quantities of natural gas consumed and the outdoor temperature. The model makes it possible to estimate consumption in the current year based on known data with certain deviations.

## 2. Temperature dependent consumers

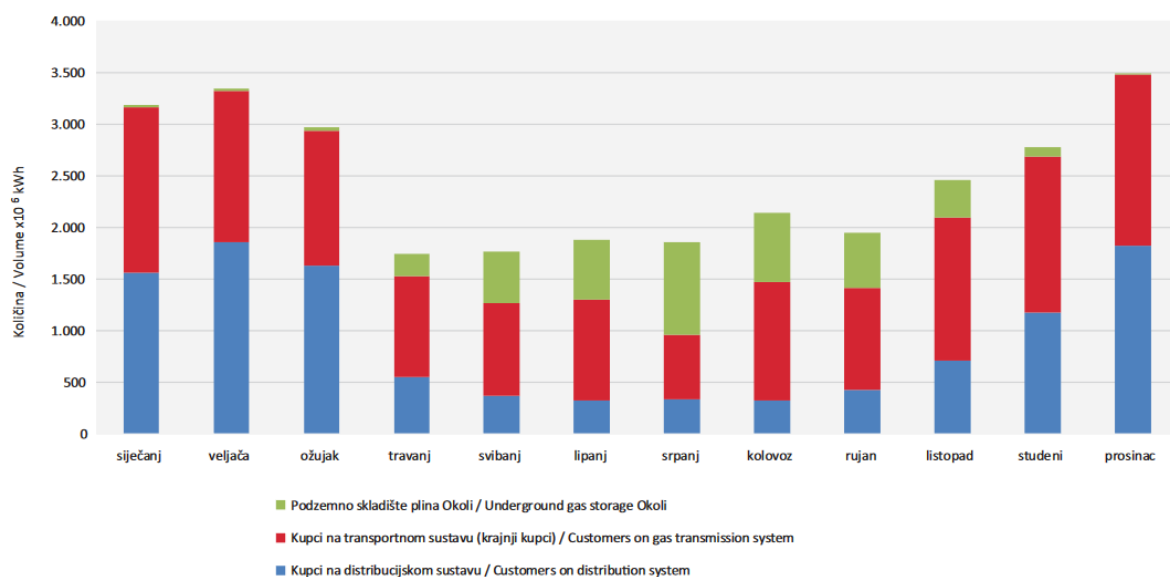
Temperature dependent consumers are those whose consumption of natural gas depends on the outdoor temperature. The amount of gas needed for use is directly related to temperature and the dependence is inversely proportional and linear. In Croatia, their share is approximately 40% of total annual consumption which is shown in Figure 1. Consumption in the petrochemical industry and on energy transformations occupies a share of up to about 20%, the category remaining about 15% and the gas consumption in its production about 5%. In addition to space heating, gas is also used in households in gas stoves and water heaters. The total gas consumption includes users connected directly to the transmission system, the industry that uses it as an energy source, in agriculture, in transport, in the oil and gas production plant and in refineries.

Struktura potrošnje prirodnog plina  
*Structure of Natural Gas Consumption*



**Figure 1.** Structure of natural gas consumption in the period from 2008. to 2018. [1]

Figure 2 shows the transported quantities of natural gas in 2018. The largest quantities of delivered gas in the distribution area are in the winter months, in the heating season, which is logical because they are temperature dependent consumers. Consumption of customers on the transport system is almost the same throughout the year because it is temperature independent consumption.



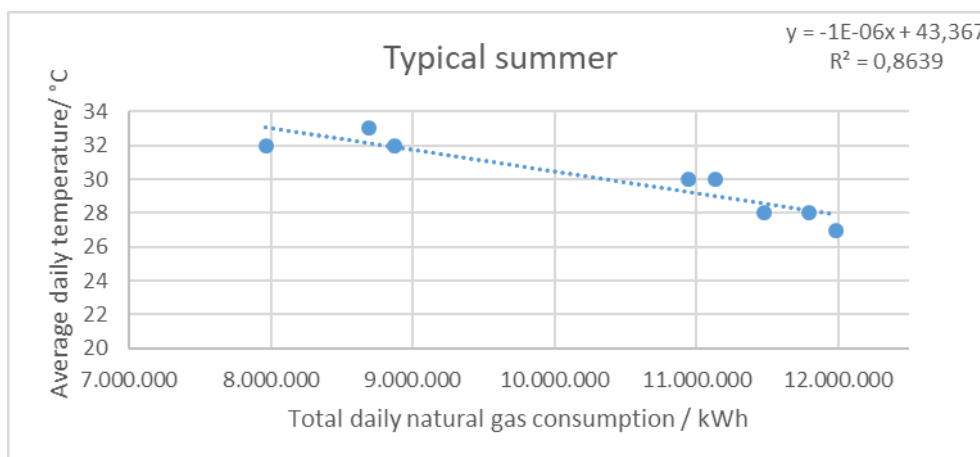
**Figure 2.** Structure of transported quantities of natural gas according to output measuring and reduction stations (IMRS) during 2018 [2]

Given that gas distributors supply end users in the distribution network with natural gas, it is necessary to find a model that would estimate gas consumption depending on the outdoor temperature in order to ensure gas supply and provide sufficient quantities for all users. The model and calculation data were obtained from the average daily temperatures in Zagreb in the period from 20.05.2019. to 19.05.2020. and total daily and average hourly gas consumption from data obtained on Plinacro's website. Temperatures are given for Zagreb because it is the largest Croatian city with the largest number of temperature dependent gas consumers in the country.

### 3. Natural gas consumption in summer

#### 3.1. Summer with typical temperatures

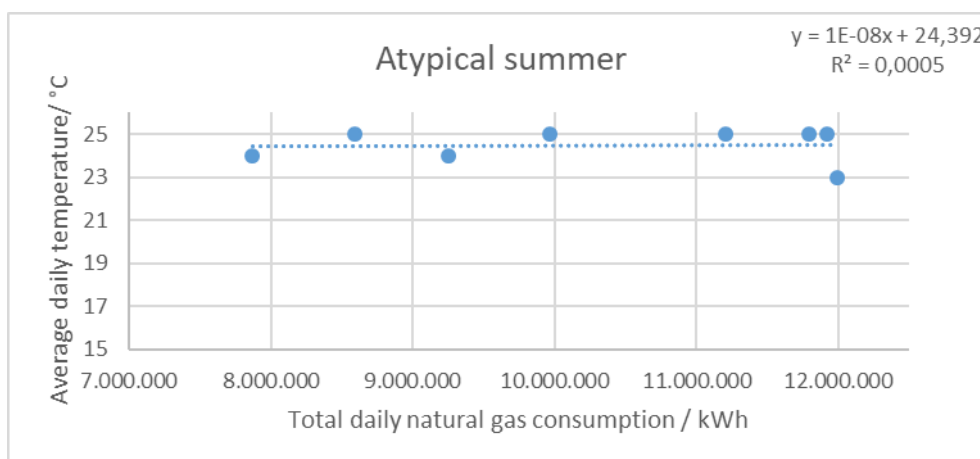
Figure 3 was obtained from data for the period from 16.07.2019. to 23.07.2019. In the summer months when the temperature is above 25 ° C, constant consumption of natural gas is expected because then it is temperature independent, but from the obtained data it is evident that this consumption varies between 8,000,000 kWh to 12,000,000 kWh in the temperature range from 25 to 33 ° C. Assumptions as to why consumption is increasing are the living habits of Croatian citizens who in the summer months go from large cities such as Zagreb and Osijek, also the largest gas consumers, to coastal areas where electricity is used as an energy source in households. There is a possibility that there is an increase due to increased consumption in industry or if gas is used in refrigeration appliances, but it is impossible to define exactly why consumption is not constant.



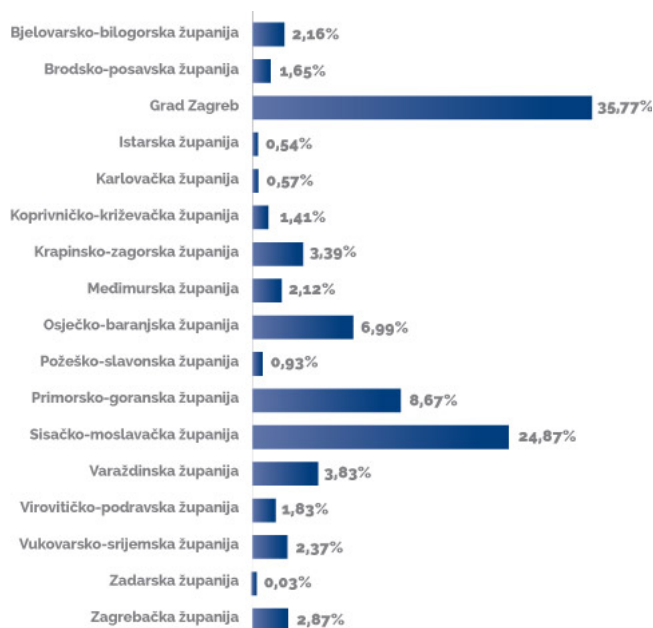
**Figure 3.** Dependence of total daily natural gas consumption on the average daily temperature in summer with typical temperatures (above 25 °C) [3], [4]

### 3.2. Summer with atypical temperatures

Figure 4 was obtained from data for the period from 08.07.2019. to 15.07.2019 and from 13.08.2019. to 16.08.2019. In atypical summer months, when temperatures are below 25 °C, consumption is considered to be temperature independent as well as when outdoor temperatures are higher. The obtained data show that there is an increase in consumption, as in typical summer days, which contradicts the assumption that consumption is constant when the temperature is independent. As in the previous case, the reasons cannot be determined with certainty.



**Figure 4.** Dependence of total daily natural gas consumption on the average daily temperature in summer with atypical temperatures (below 25 °C) [3], [4]



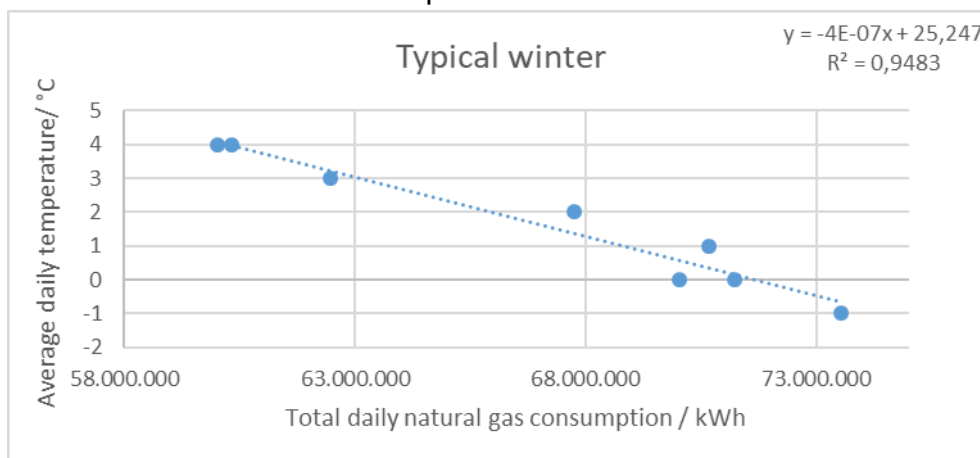
**Figure 5.** Distribution of quantities of natural gas delivered to customers by counties [5]

Figure 5 shows the consumption of natural gas by Croatian counties. Consumption in coastal counties is much lower and thus supports the claim that the decline in consumption in the summer months is due to the holiday season when a large part of the population moves from continental to coastal Croatia where electricity is used instead of natural gas as energy source.

#### 4. Natural gas consumption in the winter months

##### 4.1. Winter with typical temperatures

Figure 6 was obtained from data for the period 11.01.2020. to 20.01.2020.



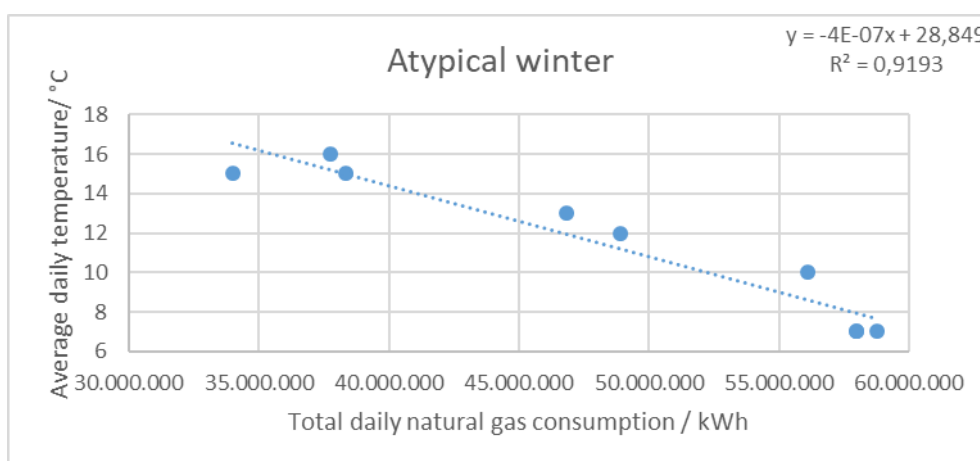
**Figure 6.** Dependence of total daily natural gas consumption on the average daily temperature in winter with typical temperatures (below 5 °C) [3], [4]

In winter, when temperatures are below 5 °C, natural gas consumption increases linearly with decreasing temperature, and the dependence itself is inversely proportional. The

average value of total daily gas consumption in that period was 67.000.000 kWh, and the average value of hourly consumption was about 2.800.000 kWh, which is almost 7 times higher than in the summer months. Such consumption can be attributed to temperature dependent consumers who, due to their living habits, use gas as an energy source to heat the rooms in which people live in order to achieve a certain level of comfort.

#### 4.2. Winter with atypical temperatures

Figure 7 was obtained from the period from 30.01.2020. to 09.02.2020. when temperatures were significantly higher than average winter temperatures, and reached up to 16 °C.



**Figure 7.** Dependence of total daily natural gas consumption on the average daily temperature in winter with atypical temperatures (above 5 °C) [3], [4]

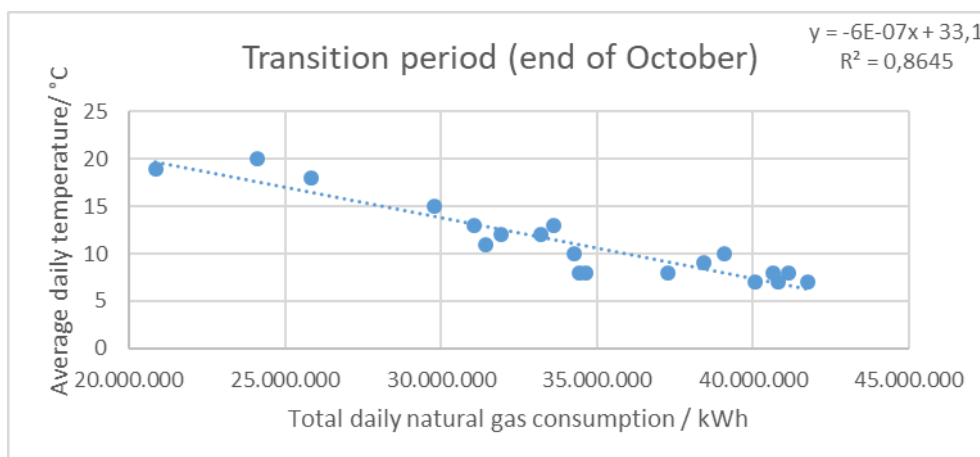
The average total daily consumption was about 48.500.000 kWh, and the average hourly consumption was about 2.000.000, which is 30% less than when the temperature in the winter months was below 5 °C. In the summer months, there is also an increase in consumption with a drop in temperature, but compared to the winter months, it is almost negligible, and the reason for this is temperature dependent consumers who account for a significant share of total consumption.

## 5. Transition periods

### 5.1. Beginning of the heating season

Dependence of total daily consumption of natural gas on the average daily temperature in the period from 27.10.2019. to 15.11.2019. is shown in Figure 8.



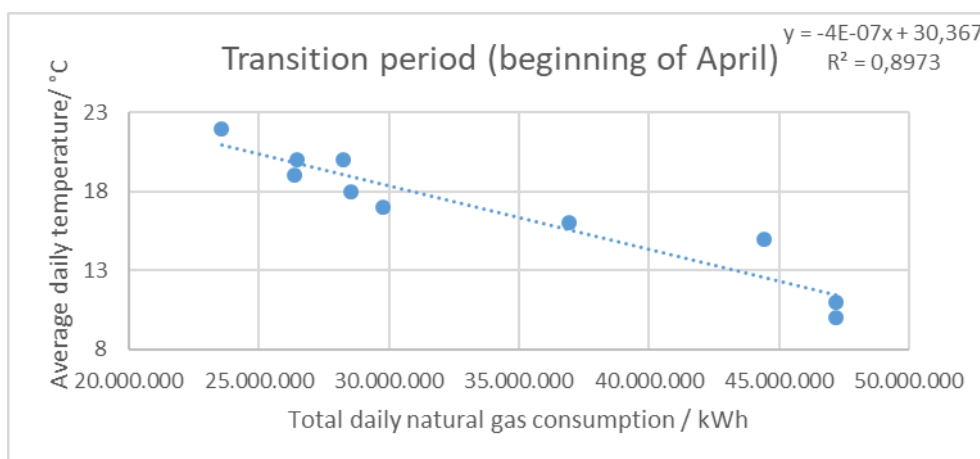


**Figure 8.** Dependence of total daily natural gas consumption on the average daily temperature in the period from 27.10.2019. to 15.11.2019. [3], [4]

In a given period, the temperature changed from 19 °C to 7 °C, which is a difference of more than 10 °C. Total daily consumption varied from 20.000.000 kWh to more than 40.000.000 kWh depending on the outdoor temperature, and the average hourly consumption increased from 870.000kWh to 1.700.000 kWh. From these data it is possible to conclude that consumption doubled when the temperature dropped by 10 °C.

## 5.2. End of the heating season

Dependence of total daily consumption of natural gas on the average daily temperature in the period from 31.03.2020. to 09.04.2020 is shown in Figure 9.



**Figure 9.** Dependence of total daily natural gas consumption on the average daily temperature in the period from 31.03.2020. to 09.04.2020. [3], [4]

At the end of the heating season, at the beginning of April, the temperature increased from 10 °C to 22 °C and a twofold decrease in natural gas consumption was visible. Total daily gas consumption decreased from 47.000.000 to 23.500.000 kWh, and the average hourly from 2.000.000 to 1.000.000 kWh. At the beginning of April, the period of filling the gas storage in Okoli begins and it lasts until the end of September.



## 6. Mathematical model

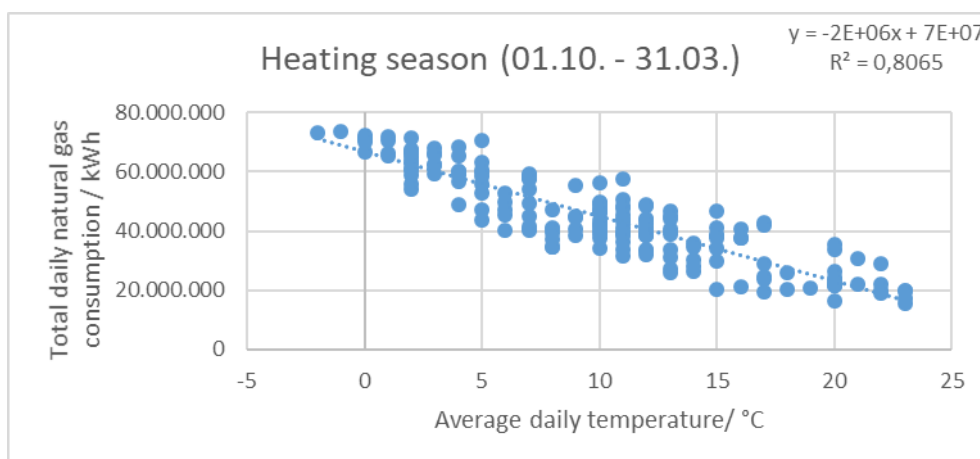
The mathematical model allows an average daily and hourly estimate of natural gas consumption. The model was obtained from data during the heating season, from early October to late March because then consumption is temperature dependent. Gas consumption outside the heating season, when temperature is above 20 °C, depends exclusively on the consumption of natural gas in households for activities that do not include space heating, such as water heating or gas stoves. Temperature independent consumption includes industrial production where gas is used as an energy source or raw material, in agriculture, for energy transformations, in gas production itself and in transport as fuel.

### 6.1. Dependence of total daily consumption on outdoor temperature during the heating season

From the dependence of the total daily consumption on the outdoor temperature shown in Figure 10, it is possible to obtain a model that describes this dependence:

$$P_d = -2 * 10^6 T + 7 * 10^7 \quad (1)$$

Where  $P_d$  is the total daily gas consumption expressed in kWh in the heating season, and  $T$  is the average daily temperature expressed in °C.



**Figure 10.** Dependence of total daily natural gas consumption in kWh in the heating season (01.10. - 31.03.) [3], [4]

Although there is a change in consumption outside the heating season, this consumption is significantly lower compared to consumption in the heating season. In order to obtain temperature dependent gas consumption, the above equation needs to subtract 12.500.000 kWh, the amount of consumption considered to be constant throughout the year, obtained as the average value of total daily gas consumption outside the heating season to get the temperature dependent equation:

$$P_{dt} = -2 * 10^6 T + 5,75 * 10^7 \quad (2)$$

Where  $P_{dt}$  is the total, temperature dependent, daily gas consumption expressed in kWh in the heating season, and  $T$  is the average daily temperature expressed in °C.

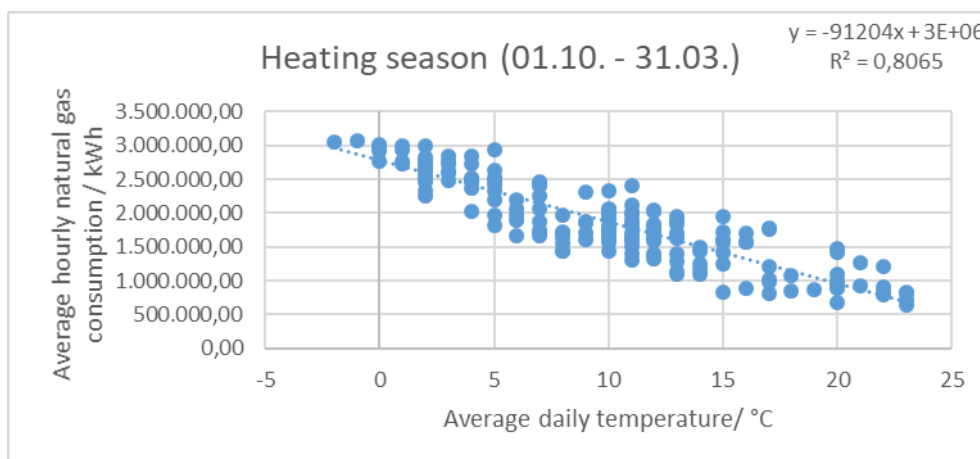
In the observed period from 20.05.2019. to 19.05.2020, in the heating season, the maximum achieved total daily consumption was 73.500.000 kWh, the minimum 15.300.000 kWh, and the total consumption was about 8.100.000.000 kWh.

## 6.2. Dependence of average hourly consumption on outdoor temperature during the heating season

From the dependence of the average hourly consumption on the outdoor temperature shown in Figure 11, it is possible to obtain a model that describes this dependence:

$$P_s = -91.204T + 3 * 10^6 \quad (3)$$

Where  $P_s$  is the average hourly gas consumption expressed in kWh in the heating season, and  $T$  is the average daily temperature expressed in °C.



**Figure 11.** Dependence of average hourly consumption of natural gas in kWh in the heating season (01.10. - 31.03.) [3], [4]

In order to obtain temperature dependent gas consumption, the above equation needs to subtract 520.000 kWh, the amount of consumption considered to be constant throughout the year, obtained as the average value of hourly gas consumption outside the heating season to get the temperature dependent equation:

$$P_{st} = -91.204T + 2,48 * 10^6 \quad (4)$$

Where  $P_{st}$  is the average, temperature dependent, hourly gas consumption expressed in kWh in the heating season, and  $T$  is the average daily temperature expressed in °C.

## 7. Conclusion

From the data for hourly and total daily consumption and outdoor temperature given for Zagreb, models describing this consumption were obtained. They can be used to estimate and predict the consumption given in kWh depending on the outdoor temperature. A linear



model was obtained for the part of the year with the highest natural gas consumption called the heating season and lasts from the beginning of October to the end of March. Two forms of the model were derived, one for total daily and average hourly consumption that includes temperature independent consumption and the other form exclusively for temperature dependent consumption. The obtained models enable the prediction of consumption with the knowledge of the outdoor temperature, which enables distributors to procure sufficient quantities of natural gas for all users and a secure supply.

## **8. Literature**

- [1] <https://hsup.hr/izdavastvo/plinsko-gospodarstvo-hrvatske/> (access 25.07.2020.)
- [2] <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/04/Energija2018.pdf> (access 25.07.2020.)
- [3] <https://www.plinacro.hr/default.aspx?id=799> (access 23.07.2020.)
- [4] <https://www.timeanddate.com/weather/croatia/zagreb/historic> (access 23.07.2020.)
- [5] <https://www.plinacro.hr/default.aspx?id=48> (access 25.07.2020.)



## Transportni sustav i praćenje kvalitete prirodnog plina u RH i zemljama u susjedstvu *Transport system and natural gas quality monitoring in the Republic of Croatia and neighboring countries*

**B. Miličević<sup>1</sup>, I. Smajla<sup>1,\*</sup>, L. Jukić<sup>1</sup>, D. Karasalihović Sedlar<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Rudarsko Geološko Naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb,

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [ivan.smajla@rgn.hr](mailto:ivan.smajla@rgn.hr)

### **Sažetak**

Prirodni plin je u Europi prepoznat kao povoljan tranzicijski energent zbog doprinosa u smanjenju štetnih emisija u mnogim sektorima. Upravo je sve veći značaj prirodnog plina omogućio da se tržište plina svakodnevno razvija s krajnjim ciljem uspostavljanja jedinstvenog dinamičnog tržišta na području svih članica Europske Unije. Uspostavljanje jedinstvenog tržišta plina omogućilo bi svim članicama Europske Unije veću sigurnost opskrbe prirodnim plinom, bolje tržišne uvjete za sve korisnike te veću sigurnost cjelokupnog transportnog sustava. Prvi korak prema uspostavljanju ovakvoga tržišta je propisivanje jedinstvene standardne kvalitete prirodnog plina za sve članice EU. Trenutno svaka članica ima propisanu vlastitu standardnu kvalitetu prirodnog plina, ali je također u tijeku rasprava energetske regulatora svake od članica o propisivanju jedinstvene kvalitete plina. Iako su operatori transportnih sustava u praksi dobro „uigrani“ te se rijetko događa da je preuzimanje prirodnog plina odbijeno zbog neslaganja u kvaliteti, sve veći uvoz ukapljenog prirodnog plina na europsko tržište će izazvati veće oscilacije u kvaliteti prirodnog plina. Ovaj rad opisuje i promatra osnovne karakteristike plinskih transportnih sustava u Republici Hrvatskoj, Austriji, Italiji, Mađarskoj i Sloveniji te analizira mjerenje kvalitete prirodnog plina u svakoj od navedenih država. Nadalje, u ovome radu je napravljena usporedba parametara standardnih kvaliteta prirodnog plina za navedene države s ciljem promatranja mogućnosti uvoza prirodnog plina iz navedenih država u Republiku Hrvatsku.

**Ključne riječi:** prirodni plin, kvaliteta prirodnog plina, transportni sustav prirodnog plina, tržište prirodnog plina, uvoz prirodnog plina

### **Abstract**

Natural gas is recognized in Europe as a favorable transition energy source due to its contribution to reducing harmful emissions in many sectors. It is precisely the growing importance of natural gas that has enabled the gas market to develop on a daily basis with the ultimate goal of establishing a single dynamic market for all members of the European Union. The establishment of a single gas market would enable all members of the European



Union greater security of natural gas supply, better market conditions for all users and greater security of the entire transmission system. The first step towards establishing such a market is to prescribe a single standard quality of natural gas for all EU members. Currently each Member State has its own prescribed standard quality of natural gas, but there is also an ongoing debate of energy regulators of each State to prescribe the single standard quality of natural gas for all EU members. Although transmission system operators are well coordinated in practice and it is rare for natural gas takeovers to be rejected due to quality discrepancies, increasing imports of liquefied natural gas to the European market will cause greater fluctuations in natural gas quality. This paper describes and observes the basic characteristics of gas transmission systems in the Republic of Croatia, Austria, Italy, Hungary, and Slovenia, and analyzes the measurement of natural gas quality in each of these countries. Furthermore, in this paper, a comparison of the parameters of standard natural gas qualities for the mentioned countries is made with the aim of observing the possibility of importing natural gas from the mentioned countries to the Republic of Croatia.

**Key words:** natural gas, natural gas quality, natural gas transmission system, natural gas market, gas import

## 1. Uvod

Zbog značajnijeg razvoja plinske mreže u Republici Hrvatskoj (izgradnja novih plinovoda, interkonekcije s Mađarskom i Slovenijom, kompresorska stanica i drugi plinski objekti) i budućeg razvoja sustava (UPP projekt, izgradnja novih interkonekcija) stvara se otvoreno tržište plina koje omogućuje veću dinamiku korištenja kapaciteta transportnog sustava. Posljedično tome, više se neće koristiti dugoročni ugovori o dobavi plina s poznatim uvjetima protoka plina u transportnom sustavu.

Pri obavljanju djelatnosti transporta prirodnog plina, vrlo je važno ispunjavati određene uvjete, među kojima je i propisana standardna kvaliteta plina u pojedinoj državi. U slučaju kada se to pravilo ne bi poštivalo, bila bi narušena sigurnost primjene prirodnog plina u različitim plinskim trošilima kao i sigurnost plinskih sustava te ne bi bio valjan izračun isporučene energije.

Iako različita nacionalna tržišta plina u Europi imaju različite propisane standarde kvalitete plina, tržišta i plinovodi su vrlo dobro prilagođeni njima te se u praksi vrlo rijetko događalo da je preuzimanje plina odbijeno zbog neslaganja u kvalitetama. No, činjenica je da operatori transportnih sustava svakodnevno riskiraju zbog mogućnosti odbijanja od strane drugog operatora transportnog sustava pa je od iznimne važnosti imati dobar i efikasan sustav praćenja kvalitete plina. U analizu su uzete Mađarska, zbog postojeće interkonekcije, i Italija, budući da obje države imaju sustav praćenja kvalitete plina plinskim kromatografima te je njihova metodologija korištena pri implementaciji takvog sustava u Hrvatskoj. Također, analizirane su i Austrija i Slovenija s obzirom da se ruski plin u Hrvatsku uvozi preko Austrije i dalje Slovenije te je vrlo važno pratiti parametre kvalitete prirodnog plina koji se uvozi.



## 2. Republika Hrvatska

### 2.1. Opis transportnog sustava

Razvoj transportnog sustava plinovoda u RH započinje 1954. godine kada Naftaplin počinje graditi prvi plinovod u Hrvatskoj, Janja Lipa – Zagreb dug 98 km koji je dovršen 1959. godine [1]. Dalje se hrvatski magistralno-transportni plinovodni sustav razvijao postupno i to na temelju vlastite, domaće proizvodnje prirodnog plina, ali i uvoza.

Plinacro d.o.o., društvo izdvojeno iz tvrtke INA-Naftaplin 2001. godine, kao vlasnik i operator transportnog sustava u Republici Hrvatskoj jamči sigurnu, pouzdanu i kvalitetnu dopremu prirodnog plina od ulaza u plinski transportni sustav do primopredajnih mjerno-redukcijskih stanica distributera plina te izravnih i povlaštenih kupaca. Također, Plinacro je nadležan i za upravljanje nadzorom, održavanjem, razvojem i izgradnjom cijeloga transportnog sustava, kao i svim ostalim poslovima koji su nužni za tehničko funkcioniranje sustava.

Kroz dva razvojno ulagačka ciklusa, Plinacro je izgradio nove plinovode te u svom sastavu danas posjeduje 2693 km visokotlačnih plinovoda od kojih je 1741 km 50-barskog i 952 km 75-barskog sustava.

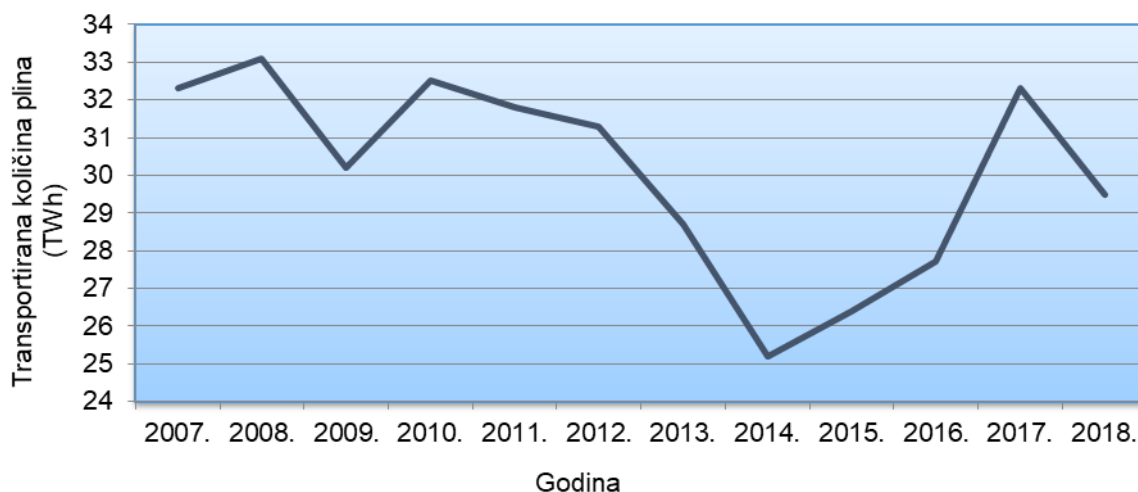
Operativno upravljanje transportnim sustavom podijeljeno je u pet regija: Istočna, Središnja, Sjeverna, Zapadna i Južna Hrvatska, a unutar plinske mreže postoji 9 ulaznih mjernih stanica, od kojih su:

- 2 interkonekcijske mjerne stanice na spojevima s transportnim sustavima Republike Slovenije (Rogatec) i Republike Mađarske (Drávaszerdahely);
- 6 ulaznih mjernih stanica na spojevima s postrojenjima za proizvodnju prirodnog plina (CPS Molve, UMS Etan, Ivanić Grad, UMS PS Ferdinandovac, UMS PS Gola, UMS PS Hampovica i UMS Terminal Pula) te
- 1 ulazno-izlazna mjerna stanica na spoju s podzemnim skladištem plina Okoli (Plinacro, 2019c).

U cilju povezivanja i optimiziranja korištenja 50-barskog i 75-barskog sustava, čvorne točke plinovodnog sustava prerastaju u mjerno – regulacijske čvorove. Također, grade se i mjerno-redukcijske stanice kao mjesta isporuke određenom potrošaču. U svom sastavu Plinacro posjeduje 157 izlaznih mjerno-redukcijskih stanica na kojima je priključeno 36 distribucijskih sustava i 19 krajnjih kupaca plina.

Tijekom 2018. godine u transportni sustav preuzeto je 29,54 TWh plina, što je za 8,68% manje u odnosu na 2017. godinu (Slika 1). U ukupno preuzetim količinama plina, udio plina koji je proizveden u RH iznosio je 33%, udio plina iz uvoza 52%, a udio plina preuzet iz Podzemnog skladišta plina Okoli bio je 15% [2].





**Slika 1.** Transportirane količine plina 2007. - 2018. godine (modificirano prema podacima iz [2])

## 2.2. Mjerenje kvalitete prirodnog plina

S obzirom da se u Hrvatskoj plin proizvodi iz više različitih ležišta različitih svojstava, proizvedeni plin je različitog sastava i kvalitete, a koristi se unutar integriranog europskog tržišta. Također, plin na hrvatsko tržište dolazi i iz susjednih zemalja, Slovenije i Mađarske, ali i podzemnog skladišta plina. Unatoč tome, poštuje se pravilo da prirodni plin koji se preuzima u transportni sustav Republike Hrvatske mora zadovoljavati parametre standardne kvalitete prirodnog plina koji su propisani Općim uvjetima opskrbe plinom [3]. Plinacro kao operator transportnog sustava ne provodi tehnološke postupke kojima bi utjecao na kemijski sastav i druge parametre kvalitete plina, ali je dužan provoditi mjerenje i praćenje kvalitete plina na ulazima u transportni sustav te na ulazima u distribucijski sustav koji su ujedno i izlazi iz transportnog sustava. Ciljevi praćenja kvalitete plina jesu: sprečavanje pojave plina koji nije standardne kvalitete, utvrđivanje ogrjevne vrijednosti plina za izračun energije isporučenog plina te informiranje o kvaliteti plina u transportnom sustavu. Kvaliteta plina koji ulazi u transportni sustav prati se kontinuirano motrenjem rezultata analiza plina automatskih procesnih analizatora koji su postavljeni na svim većim ulazima plina u transportni sustav. Rezultati tih mjerenja dostupni su u realnom vremenu putem SCADA sustava.

Praćenje kvalitete plina na izlazima iz transportnog sustava, odnosno na ulazima u distribucijski sustav, ranije se obavljalo ručnim periodičkim uzorkovanjem plina na 24 specifične točke te se uzorak dalje slao akreditiranom laboratoriju (Inin Centralni ispitni laboratorij) na analizu. Specifično područje i specifičnu točku određuje operator transportnog sustava uz suglasnost HERA-e [4]. Analizom se određivao sastav plina te su se računali ostali potrebni parametri među kojima i gornja i donja ogrjevna vrijednost koje se koriste za izračun isporučenih količina plina iskazanih u mjernoj jedinici energije. Budući da se uzorkovanje vršilo dva puta mjesečno, onda su se i za izračune energije koristile su se polumjesečne ogrjevne vrijednosti



Od 1. listopada 2019. godine za mjerenje i praćenje kvalitete plina u Republici Hrvatskoj Plinacro primjenjuje novi kromatografski sustav. Postavljeni procesni plinski kromatografi omogućuju kontinuirano, najmanje dva puta u jednom satu, automatsko uzorkovanje plina te utvrđivanje sastava i kvalitete plina na 30 lokacija unutar transportnog sustava, odnosno 47 mjesta uzorkovanja. Upotrebom ovakvog sustava za izračun isporučene energije sada se koriste prosječne dnevne ogrjevne vrijednosti.

U Tablici 1 je u sklopu zbirnog pregleda prikazana standardna kvaliteta plina u Republici Hrvatskoj koja je propisana Općim uvjetima opskrbe plinom. Sve vrijednosti odnose se na obujam plina od 1 m<sup>3</sup> pri apsolutnom tlaku plina 101 325 Pa (1,01325 bar) i temperaturi plina 288,15 K (15°C).

### 3. Austrija

#### 3.1. Opis transportnog sustava

Zbog svog specifičnog položaja unutar srednje Europe i važnog plinskog čvorišta u Baumgartenu, Austrija se smatra vrlo značajnom zemljom za transport prirodnog plina. Austrija je veliki uvoznik, ali i izvoznik prirodnog plina. Prema podacima za 2018. godinu, samo je oko 2% ukupne dobave prirodnog plina iz domaće proizvodnje te 11% iz skladišta, dok je ostalih 87% izravno iz uvoza [5]. Ukupna potrošnja prirodnog plina sastoji se od: utiskivanja u skladišta (11%), domaće proizvodnje (15%) te izvoza (74%). Najveći udio izvoza plina odnosi se na Italiju i Njemačku, a nešto manji na Mađarsku, Slovačku, Sloveniju i Švicarsku. Za razliku od Hrvatske u kojoj je jedan operator transportnog sustava, u Austriji su dva: Trans Austria Gasleitung (TAG) i Gas Connect Austria (GCA). TAG je kompanija regulirana austrijskim zakonima i pravilnicima te je sa svojim kapacitetima odgovorna i za transport i za opskrbu austrijskog tržišta plinom te razvoj plinske mreže. Vlasnici su 1140 km visokotlačnog plinovoda, tlaka do 70 bara, koji se proteže od granice sa Slovačkom na sjeveroistoku Austrije do granice sa Italijom na jugu. Ruski prirodni plin koji se koristi u Austriji i Italiji, transportira se glavnim TAG plinovodom. Na plinskom čvoru Weitendorfu glavni plinovod ima svoj ogranak, SOL plinovod (Süd - Ost – Leitung), kojim se plin transportira prema Sloveniji te dalje Hrvatskoj. Na sustavu je instalirano i 5 kompresorskih stanica ukupne snage oko 480 MW. GCA operator je transportnog i distributivnog plinskog sustava sa sjedištem u Beču. GCA upravlja modernim i efikasnim visokotlačnim sustavom ukupne duljine oko 900 km koji uključuje interkonekcije s Njemačkom, Slovačkom, Slovenijom i Mađarskom. Na plinovodu su izgrađene kompresorske stanice ukupne snage 146 MW. Uz to, u svojem sustavu ima i sustav skladištenja sa 6 skladišta plina i ukupnim radnim volumenom 6.056 milijuna kubičnih metara [6]. Dio austrijskog transportnog sustava je i srednjoeuropsko plinsko čvorište (engl. Central European Gas Hub, CEGH) sa sjedištem u Beču koje je vodeće čvorište za trgovanje plinom u središnjoj i istočnoj Europi.

#### 3.2. Mjerenje kvalitete prirodnog plina

Na nekim mjerno-redukcijskim stanicama, ovisno o tehničkim potrebama ili ugovornim parametrima s korisnicima transportnog sustava, ugrađeni su plinski kromatografi i kromatografi za analizu sumpornih spojeva. U slučaju da stanica nema instaliran





kromatograf, vrijednosti kvalitete plina preuzimaju se s drugih stanica, računaju se prema određenim parametrima ili se određuju analizom uzorkovanog plina.

Za izračun volumetrijskih parametara mjeri se udio ugljičnog dioksida i dušika te gustoća plina. Zatim se dodatno određuje gornja ogrjevna vrijednost (mjerenjem kalorimetrom ili izračunavanjem prema sastavu plina mjerenog kromatografima) na temelju koje se određuje energetska vrijednost plina.

Zakonski dokumenti koji definiraju kvalitetu plina u Austriji su: Zakon o plinu (*njem. das Gaswirtschaftsgesetz, GWG*) i ÖVGW direktiva G31 (*njem. die ÖVGW - Richtlinie G31*). ÖVGW direktiva G31 „Prirodni plin u Austriji - Kvaliteta plina“ definira zahtjeve kvalitete plina koji su potrebni za transport i opskrbu prirodnim plinom. Za specificiranje kvalitete plina moraju se primijeniti ÖVGW direktiva G31 kao i ÖVGW direktiva G33 „Regenerativni plinovi – bioplin“.

Analiza kemijskog sastava prirodnog plina provodi se u skladu s ÖNORM EN ISO 6974: 2000, a kalorijska vrijednost (Hs) se izračunava u skladu s DIN EN ISO 6976: 2005 [7].

U Austriji ne postoji jedinstvena propisana kvaliteta plina kao što je to slučaj u Hrvatskoj, već su vrijednosti parametara kvalitete plina definirane za svaki ulaz/izlaz iz transportnog sustava. Za potrebe analize uzeta je ulazna točka transportnog sustava na Baumgartenu GCA. U nastavku je u zbirnom pregledu propisanih parametara prirodnog plina vidljivo kako su propisane minimalne i maksimalne vrijednosti gornje ogrjevnosti, iz kojih proizlazi i Wobbeov indeks, vrlo slične kao i u Hrvatskoj. Parametri kvalitete plina mjere se svaki sat i redovito jednom dnevno objavljuju na internetskoj platformi AGGM-a (*engl. Austrian Gas Grid Management*). Na platformi je moguće vidjeti i kapacitete te kvalitetu plina na ulazima i izlazima iz transportnog sustava Austrije.

## 4. Italija

### 4.1. Opis transportnog sustava

Italija je država s velikom diversifikacijom izvora dobave plina. Ulaz plina iz domaće proizvodnje omogućen je na čak 54 ulazne točke, no posljednjih je 15-ak godina u Italiji zabilježen značajan pad proizvodnje prirodnog plina za oko 60% [8]. To je rezultiralo povećanom ovisnošću o uvozu plina koji danas predstavlja 93% ukupne opskrbe plinom. Kako bi se udovoljilo potrebama za uvozom, realizirani su novi dobavni pravci te tako danas Italija uvozi plin iz različitih izvora na pet interkonekcija: Passo Gries (plin sa sjevera Europe), Tarvisio i Gorizia (ruski plin), Mazara del Vallo (alžirski plin) te Gela (libijski plin). Također, Italija ima tri UPP terminala koja su spojena na nacionalni transportni sustav te je odobrena gradnja još tri terminala za uplinjavanje ukupnog kapaciteta od 24 milijarde m<sup>3</sup> godišnje [9]. U Italiji postoji 12 skladišta prirodnog plina u iscrpljenim plinskim poljima koja imaju glavnu ulogu na talijanskom tržištu jer predstavljaju najveći izvor fleksibilnosti cijelog sustava, ali i povećavaju sigurnost opskrbe. Osim toga, izgrađeno je 11 kompresorskih stanica ukupne instalirane snage 992 MW [9] koje su strateški raspoređene duž poluotoka kako bi osiguravale konstantan tlak u cijeloj mreži.

Glavni operator transportnog sustava i isporuke prirodnog plina u Italiji je tvrtka Snam Rete Gas. Uz nju, transport prirodnog plina u Italiji obavlja još 8 tvrtki, no Snam Rete Gas posjeduje gotovo cjelokupnu plinovodnu infrastrukturu u Italiji. Plinska infrastruktura



podijeljena je na mrežu nacionalnih plinovoda ukupne duljine 9 599 km i radnog tlaka 24-75 bara te mrežu regionalnih plinovoda duljine 22 885 km i radnog tlaka 5-24 bara [10].

#### 4.2. Mjerenje kvalitete prirodnog plina

Kako bi se osigurao integritet i sigurnost transportnog sustava, dobavljači su dužni na mjesta isporuke isporučivati plin kvalitete koja je u skladu s propisanom kvalitetom plina iz Priloga 11/A Mrežnih pravila (*engl. Network Code*) [11] prikazanom u tablici u zbirnom pregleda propisanih parametara.

Operator transportnog sustava odgovoran je za svaku mjernu točku (ulaz i izlaz iz transportnog sustava) za pravodobno i pouzdano mjerenje parametara kvalitete prirodnog plina i gornje ogrjevne vrijednosti te za daljinsko očitavanje izmjerenih vrijednosti i njihovu primjenu. Operator je dužan provoditi kontrolu i periodično umjeravanje mjernih uređaja, sukladno zakonskim propisima i normama. Određivanje parametara kvalitete plina i gornje ogrjevne vrijednosti provodi se na dva načina:

- kontinuiranim mjerenjem fiksno postavljenim plinskim kromatografima ili analizatorima kvalitete i specijalnim mjernim uređajima te
- diskontinuiranim uzorkovanjem prirodnog plina na terenu i određivanjem kvalitete plina plinskom kromatografijom u akreditiranom laboratoriju [11].

Gornja ogrjevna vrijednost, ali i drugi parametri kvalitete prirodnog plina (udio kisika i sumpora, točka rosišta vode i ugljikovodika) određuju se za svaku točku ulaza u transportni sustav mjernim uređajem ili uzorkovanjem. Mrežna pravila [11] definiraju učestalost mjerenja (kontinuirano, diskontinuirano mjesečno ili kvartalno), način mjerenja (jedan ili dva plinska kromatografa, analiza u laboratoriju, poseban mjerni uređaj) te način izračuna dnevne gornje ogrjevne vrijednosti plina. U slučaju da neki od parametara odstupa od propisanih, mjerenja se mogu provoditi i češće.

Za točke isporuke plina gornja ogrjevna vrijednost mjeri se u specifičnim mjernim točkama u skladu s metodologijom homogenih zona. Metodologiju kojom je Italija podijeljena na tzv. naplatna područja, odnosno homogene zone isporuke definirala je Agencija za električnu energiju i plin Rezolucijom 75/07 [12]

Uvođenjem ove metodologije omogućeno je umrežavanje više točaka preuzimanja i isporuke plina nekog geografskog područja u jednu zonu kojom se transportira plin jednake ogrjevne vrijednosti te se na taj način ne mora mjeriti kvaliteta plina u svakoj točki preuzimanja i isporuke, već samo u onim specifičnim koje određuje operator transportnog sustava. U tim točkama mjerenje se provodi kontinuirano, plinskim kromatografima, a dnevna gornja ogrjevna vrijednost jest prosjek svih mjerenja tijekom tog dana. Transportni sustav Italije podijeljen je na 260 homogenih zona isporuke u kojima se mjeri kvaliteta plina s 193 plinska kromatografa koji su u vlasništvu Snam Rete Gasa i 75 kromatografa u vlasništvu krajnjih potrošača [13].

Na kraju mjeseca iz dnevnih ogrjevnih vrijednosti računaju se mjesečni podaci, odnosno prosječna mjesečna ogrjevna vrijednost i mjesečna energija. Snam Rete Gas na svojoj web stranici objavljuje prosječne mjesečne ogrjevne vrijednosti prirodnog plina za svaku točku preuzimanja plina unazad 12 mjeseci te za svaku točku isporuke popis pripadajućih



homogenih zona isporuke i srednje ogrjevne vrijednosti prirodnog plina, za prethodni i tekući mjesec.

## 5. Mađarska

### 5.1. Opis transportnog sustava

Transport prirodnog plina u Mađarskoj traje već 70 godina, a sigurnost opskrbe prirodnim plinom jedna je od važnijih briga mađarske Vlade. Mađarska trenutno posjeduje plinsku infrastrukturu koja zadovoljava umjereno padajuću stopu potrošnje prirodnog plina. Cijeli se transportni sustav sastoji od 5874 km čeličnog plinovoda promjera 80-1400 mm i radnog tlaka uglavnom do 63 bara, a u specifičnim slučajevima i do 75 bara [14].

Protoklog su desetljeća provedene brojne regulatorne promjene i infrastrukturna ulaganja zbog čega se razvio model diversificirane opskrbe plinom. Pokazatelj toga jest činjenica da u mađarskom transportnom sustavu postoji čak 5 ulaza na interkonekcijskim stanicama iz Ukrajine, Slovačke, Austrije, Hrvatske i Rumunjske i 16 ulaza iz domaće proizvodnje plina. Izlaz plina iz transportnog sustava odvija se kroz 5 interkonekcijskih točaka prema Ukrajini, Slovačkoj, Hrvatskoj, Srbiji i Rumunjskoj te 400 plinskih stanica za isporuku plina [15]. Na plinskim se stanicama certificiranim i konstantno kontroliranim mjernim uređajima mjeri volumen isporučenog plina i kvaliteta plina, odnosno pojedina komponenta prirodnog plina koji se isporučuje.

Plinovodi su projektirani i izrađeni tako da tvore čvorišta koja povezuju veće plinovode i na taj način omogućuju preraspodjelu količina plina ovisno o potrebama transporta. Na mađarskom transportnom sustavu postoji takvih 17 glavnih plinskih čvorišta koja su raspodijeljena duž mreže [15]. Uz to, u sustav je uključeno i 5 skladišta prirodnog plina ukupnog kapaciteta 6,3 milijarde m<sup>3</sup> koja imaju funkciju i ulaza plina u sustav i izlaza iz sustava. Kako bi opskrba plinom bila kontinuirana, izgrađene su kompresorske stanice na 8 lokacija: Beregdaróc, Nemesbikk, Hajdúszoboszló, Városföld, Csanádpalota, Szada, Bába i Mosonmagyaróvár.

Neophodno je bilo uspostaviti i regionalne dispečerske centre (6) koji su povezani s Dispečerskim centrom u Siófoku te kao cjelina omogućuju daljinski nadzor i upravljanje kontinuirano 24 sata svakog dana u godini te pravovremenu intervenciju.

Operator mađarskog transportnog sustava je tvrtka FGSZ Földgázszállító Zrt., članica MOL grupe, koja je jedan od značajnih operatora transportnog sustava u Europi.

### 5.2. Mjerenje kvalitete prirodnog plina

Mjerenje količine i kontrola kvalitete plina u transportnom sustavu obuhvaća mjerenja na ulazima i izlazima iz sustava. Operator transportnog sustava mora upravljati uređajima za mjerenje i kontrolu kvalitete te osigurati dokumentaciju o mjernoj točnosti, a sva oprema mora biti u skladu s odgovarajućim mađarskim standardima i specifikacijama. Također, operator mora svakodnevno upravljati vlastitom potrošnjom, odstupanjima i greškama mjerenja, gubitcima prilikom transporta te određivati učestalost mjerenja na pojedinim točkama.

Kvaliteta plina mjeri se kontinuirano terenskim plinskim kromatografom, a kontrola i potvrđivanje kvalitete obavljaju se u akreditiranom laboratoriju. Plin se uzorkuje svake 4



minute kako bi se odredio precizan sastav smjese prirodnog plina, a kromatografi moraju osigurati satne i dnevne prosjeke parametara kvalitete prirodnog plina.

Sukladno mađarskim propisima, kromatografi trebaju biti postavljeni na svakom ulazu u transportni sustav, bez obzira na kapacitet protoka, zatim u svakoj točki sustava gdje postoji mogućnost miješanja dvaju ili više tokova plina. Uz to, kromatografi se instaliraju i na mjernim interkonekcijskim izlaznim stanicama te svim izlazima iz transportnog sustava s kapacitetom većim od 100 000 m<sup>3</sup>/h. Kromatografe je potrebno postaviti i na točkama isporuke plina velikim potrošačima, kao što su elektrane ili neki drugi industrijski potrošači. Obavezno je i za svaki instalirani kromatograf postaviti i njegov zamjenski kromatograf u nekoj drugoj točki koji će omogućiti pomoćno mjerenje istog plina u slučaju kvara primarnog kromatografa.

Poštujući tu metodologiju, na mađarskom je transportnom sustavu trenutno ugrađeno 75 kromatografa za mjerenje 171 toka plina [14]. Isti koncept primijenjen je pri uvođenju kromatografskog sustava u transportni sustav RH.

Parametri koji definiraju kvalitetu plina su: koncentracija pojedinih komponenti, relativna gustoća, donja i gornja ogrjevna vrijednost te Wobbeov indeks. Propisani dopušteni rasponi pojedinih parametara za 2H prirodni plin prikazani su u zbirnom pregledu propisanih parametara prirodnog plina [17].

Prema mađarskom standardu za prirodni plin u javnoj opskrbi (mađ. Közzolgáltatású, vezetékes földgáz ) MSZ 1648:2016 postoje dvije plinske grupe: 2S i 2H, koje ovise o Wobbeovom indeksu [18]. Također, ovaj standard propisuje da je promjena svojstava izgaranja prirodnog plina unutar jedne plinske grupe dozvoljena samo u omjeru koji neće utjecati na rad plinskog uređaja.

Operator transportnog sustava treba u informativne svrhe u Pravilniku o obračunu kvalitete prirodnog plina (mađ. Minőség Elszámolási Rendben, MER) objavljivati godišnje prosječne ponderirane ogrjevne vrijednosti plina za pojedine ulaze i izlaze iz transportnog sustava (godišnji prosjek dnevnih prosječnih ogrjevnih vrijednosti ponderiran s dnevnim količinama). Dnevna količina energije sadržane u prirodnom plinu u transportnom sustavu dobiva se zbrajanjem satnih volumena pomnoženih sa satnim prosječnim ogrjevnim vrijednostima izraženim u kWh za normalno referentno stanje: referentna temperatura mjerenja je 0°C, a izgaranja 25°C te je tlak 101 325 Pa. Dobivena vrijednost zaokružuje se na najbliži cijeli broj. Za bilo koje razdoblje duže od jednog dana, ukupna količina energije zbroj je dnevnih količina energije za isto to razdoblje.

Na kraju, na temelju podataka mjernih uređaja, a najkasnije do 15-og u mjesecu, stvara se konačni mjesečni obračun za zaključeni protekli plinski mjesec te operator transportnog sustava objavljuje zapisnik o količinama prirodnog plina koje su korisnici unijeli ili preuzeli iz sustava te izdaje potvrdu o kvaliteti plina za svaki ulaz i izlaz.

## 6. Slovenija

### 6.1. Opis transportnog sustava

Gledajući s aspekta transporta prirodnog plina, geografski položaj Slovenije relativno je povoljan zbog neposredne blizine glavnih plinovoda iz sjeveroistočne Europe (od Rusije



preko Slovačke i Austrije prema Italiji i Hrvatskoj) i njezine granice s Italijom, gdje konvergiraju plinovodi iz Sredozemnog bazena i sjeverne Europe.

Operator transportnog sustava Slovenije je tvrtka Plinovodi d.o.o. koja pruža siguran i pouzdan rad transportnog sustava. Također, slovenski je operator oformio i virtualnu točku trgovanja plinom na transportnom sustavu u skladu s europskim uredbama i uputstvima.

Slovenski plinski transportni sustav obuhvaća gotovo 1121 km plinovoda koji su podijeljeni na magistralne plinovode M1, M2 i M4 radnog tlaka 50 bara te M3 radnog tlaka 67 bara. U sklopu sustava su i dvije kompresorske stanice ukupne snage 19,5 MW te 246 mjerno-regulacijskih i drugih plinskih stanica [19]. Od 2019. godine to je omogućen je dvosmjernan protok plina na interkonekciji Slovenije i Hrvatske, na mjerno-regulacijskoj stanici Rogatec, no za sada nisu ostvareni protoci iz Hrvatske u Sloveniju.

Prema podacima slovenskog energetskeg regulatora [19] izvoz plina u 2018. godini drastično je manji nego nekoliko godina prije, čak 71% u usporedbi s 2017. godinom. Razlog tomu je što je Hrvatska smanjila uvoz plina iz Slovenije, a više se opskrbljivala plinom preko ulaza iz Mađarske.

## 6.2. Mjerenje kvalitete prirodnog plina

Prema 131. članku iz Sistemska obrativalna navodila za prenosni sistem zemeljskega plina kvalitetu preuzetog prirodnog plina svakodnevno utvrđuje i dokumentira operator transportnog sustava, odnosno Plinovodi, bilo na osnovi mjerenja svojstava plina operatora susjednog prijenosnog sustava, bilo na temelju vlastitih mjerenja, ili oboje [20]. Na mjestima ulaza plina iz vlastite proizvodnje te mjestima gdje su postrojenja za bioplin ili LNG terminal spojeni na transportni sustav, operator transportnog sustava određuje kvalitetu predanog plina na temelju mjerenja. Prema istom članku, svaki dobavljač koji isporučuje prirodni plin kupcima koji su priključeni na transportni sustav dužan je operateru transportnog sustava, na njegov zahtjev, dostaviti specifikaciju sastava plina koji je predao na transport.

Kako stoji u članku 132. [20], operator transportnog sustava dužan je u transportni sustav prihvatiti samo prirodni plin propisanih svojstava koji su vidljivi u zbirnom pregledu propisanih parametara prirodnog plina. Dakle, ukoliko neko od ovih svojstava plina odstupa od dopuštenog, operator transportnog sustava nije dužan prihvatiti u sustav takav plin.

Promatrajući parametre kvalitete plina u Sloveniji, primjetno je da je, uz ostale, gornja ogrjevna vrijednost vrlo slična propisanoj u Hrvatskoj, no dopušteni raspon Wobbeovog indeksa vidno je manji nego u hrvatskim standardima.

Za pretvorbu volumetrijskih jedinica prirodnog plina u energetske jedinice koriste se objavljene mjesečne prosječne vrijednosti gornje ogrjevnosti koje se objavljuju na web stranici Plinovoda i platformi za objavljivanje podataka. Također, operator transportnog sustava objavljuje na web stranici i dnevnu prosječnu gornju ogrjevnost za protekli dan za nekoliko specifičnih točaka, a na platformi Entsoga moguće je pratiti i satne vrijednosti.



## 7. Zbirni pregled propisanih parametara standardne kvalitete prirodnog plina

Analizirajući kvalitetu plina u pojedinim susjednim zemljama, vrlo je jasno vidljivo kako se rasponi propisanih parametara razlikuju od zemlje do zemlje što otežava slobodan i nesmetan transport plina preko interkonekcijskih točaka.

U Tablici 1 prikazan je zbirni pregled propisanih parametara standardne kvalitete plina u RH i susjednim zemljama. Kako bi se podatke moglo uspoređivati, bilo je vrlo bitno da su svi podaci u tablici dani za iste referentne uvjete. Uzeti su referentni uvjeti za RH, odnosno temperatura mjerenja 15°C i temperatura izgaranja 15°C. U Italiji i Mađarskoj propisana kvaliteta plina dana je za iste referentne uvjete stoga te podatke nije bilo potrebno preračunavati. U Mađarskoj i Sloveniji referentna temperatura mjerenja je 0°C, a referentna temperatura izgaranja 25°C pa su podaci preračunati prema normi „HRN EN ISO 13443 – Prirodni plin - Standardni referentni uvjeti“.

Uspoređivani su rasponi propisanih parametara za zemlje iz susjedstva u odnosu na RH. U tablici su korištene kratice RH – Republika Hrvatska, AU – Austrija, IT – Italija, MAĐ – Mađarska te SLO – Slovenija. Crvenom bojom osjenčani su parametri koji su vrijednosti takvih da se ne uklapaju u propisane parametre kvalitete plina u RH, a zelenom bojom oni koji se uklapaju. Jednostavno rečeno, crveno osjenčani parametri predstavljaju mogući problem prilikom uvoza prirodnog plina iz susjednih zemalja u RH. Npr. prirodni plin koji dolazi iz Mađarske može u potpunosti zadovoljiti njihove propisane parametre, ali ukoliko ne zadovoljava parametre propisane u RH takav plin neće biti prihvaćen u transportni sustav. Dakle, iznimno je važno pratiti sve parametre kvalitete plina, a posebno kritične parametre osjenčane crvenom bojom.

**Tablica 1.** Zbirni pregled propisanih parametara standardne kvalitete prirodnog plina u RH i susjednim zemljama

PARAMETAR			RH	AU	IT	MAĐ	SLO
Kemijski sastav (mol%)							
Metan	C <sub>1</sub>	min.	85	89,7	Prihvatljive vrijednosti povezane su s prihvatljivim rasponom Wobbeovog indeksa.		
Etan	C <sub>2</sub>	max	7	6,3			
Propan	C <sub>3</sub>	max	6*	2,1*			
Butan	C <sub>4</sub>	max.					
Pentan	C <sub>5</sub>	max.					
Heksan	C <sub>6+</sub>	max.			1,00 *		
Dušik	N <sub>2</sub>	max.		2,1	5,00		
Kisik	O <sub>2</sub>	max.	0,001	0,00	0,6	0,02	0,02
Ugljični dioksid	CO <sub>2</sub>	max.	2,5	1,575	3		2,5
Inertni plinovi	N <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub>	max.	7				
Sadržaj sumpora							





Sumporovodik	H <sub>2</sub> S	max.	5	10	6,6	20	5
Merkaptani	RSH	max.	6	6	15,5	5	6
Ukupni sumpor	S	max.	30	105	150	100	30
Gornja ogrjevna vrijednost (kWh/m <sup>3</sup> )	Hg	min.	10,28	10,15	9,63	8,61	10,15
		max.	12,75	12,15	12,58	12,58	12,14
Donja ogrjevna vrijednost (kWh/m <sup>3</sup> )	Hd	min.	9,25			7,76	
		max.	11,47			11,34	
Gornji Wobbeov indeks (kWh/m <sup>3</sup> )	Wg	min.	12,75	12,62	13,14	12,68	13,08
		max.	15,81	14,89	14,54	15,21	14,89
Donji Wobbeov indeks (kWh/m <sup>3</sup> )	Wd	min.	11,48		13,14		
		max.	14,23		14,54		
Relativna gustoća	d	min.	0,56		0,5548		0,56
		max.	0,70		0,8		0,7
Točka rosišta							
Ugljikovodika	HC DP	max.	-2 (pri 70 bar)	0 (između 41,2 i 68,6 bar)	0 (između 1 i 70 bara)	4 (pri tlaku od 40 bara)	0 (između 1 i 70 bara)
Vode	H <sub>2</sub> O DP	max.	-8 (pri tlaku od 70 bar)	-8 (pri 39,2 bara)	-5 (pri 70 bara)		-8 (pri 40 bara)
Temperatura plina (°C)	T	min.			3		
		max.		42	50		42

\* - i viši ugljikovodici

## 8. Zaključak

Nedvojbeno je da će u budućnosti prirodni plin i dalje igrati jednu od vodećih uloga na tržištu energije te je zbog toga neophodno nastaviti razvijati plinski transportni sustav pa tako i sustav mjerenja i praćenja kvalitete prirodnog plina.

Kako bi se moglo razumjeti razvijenost hrvatskog plinskog transportnog sustava u okviru europskog, nužno je bilo promotriti i zemlje u okruženju. Analiza transportnih sustava i metoda mjerenja kvalitete plina u drugim državama, ukazala je na potrebu za nadogradnjom mjernog sustava u RH što je za rezultat dalo učestalije izračune parametara kvalitete plina, a samim time i točnije izračune isporučene energije.

Usporedbom propisanih parametara standardnih kvaliteta prirodnog plina uočeno je kako se oni razlikuju među državama u regiji te je prilikom uvoza prirodnog plina potrebno pratiti sve parametre, a posebno one kritične čije se vrijednosti ne uklapaju u propisane parametre kvalitete plina u RH.

## 9. Literatura

- [1] Arar, Ivica; Marković, Ivana. 100 godina plina u Hrvatskoj. Nafta i plin, 2017, 37(152); 19-27.
- [2] Plinacro. Godišnje izvješće o stanju društva za 2018. godinu. Plinacro, Zagreb, 2019.
- [3] Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA). Opći uvjeti opskrbe plinom. Zagreb: NN 50/2018, 2018.
- [4] Plinacro. Godišnje izvješće o kvaliteti opskrbe plinom za 2018. godinu. Zagreb: Plinacro, 2019.



- [5] E-Control. Energy in numbers and figures. Beč: E-Control, Statistički pregled, 2019.
- [6] RAG Austria AG. Storage facilities, 2019. URL: <https://www.rag-austria.at/en/business-areas/store/storage-facilities.html> (4. studeni 2019.)
- [7] Energienetze Steiermark GmbH. Erdgasqualität, 2019. URL: <https://www.e-netze.at/Service/Erdgasqualitaet/Default.aspx> (4. studeni 2019.)
- [8] Snam Rete Gas, Terna. Documento di Descrizione degli Scenari 2019. San Donato Milanese: Snam Rete Gas, 2019.
- [9] Snam Rete Gas. Ten-year development plan of the natural gas transmission network. San Donato Milanese: Snam Rete Gas, 2017.
- [10] Snam Rete Gas. Technical data for the network, 2016. URL: [https://www.snam.it/export/sites/snam-rp/repository-srg/file/en/business-services/Online\\_Processes/ReteSnamReteGas/information/technical-data-network/2016-06/SRG\\_Lengths\\_for\\_network\\_-\\_Technical\\_data\\_2016-06.pdf](https://www.snam.it/export/sites/snam-rp/repository-srg/file/en/business-services/Online_Processes/ReteSnamReteGas/information/technical-data-network/2016-06/SRG_Lengths_for_network_-_Technical_data_2016-06.pdf) (12. studeni 2019.)
- [11] Snam Rete Gas. Network code. Rev. LXV. San Donato Milanese: Snam Rete Gas, 2003.
- [12] Autorità per l'energia elettrica e il gas. Delibera n. 75/07, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2007. Direktiva.
- [13] Casola, Alejandra. Gas quality situation in Italy - gas (natural gas and biomethane) quality specifications, laws and how it is controlled. Nizozemska: Delft, 2019. Radionica.
- [14] FGSZ. Long-distance pipelines, 2019. URL: <https://fgsz.hu/en/about-fgsz/activities-business-policy/about-transmission/long-distance-conduits.html> (20. studeni 2019.)
- [15] FGSZ Földgázszállító Zrt., Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatal. A magyarországi földgázrendszer 2018, évi adatait, 2019. Publikacija.
- [16] FGSZ. Pipeline hubs, 2019. URL: <https://fgsz.hu/en/about-fgsz/activities-business-policy/about-transmission/pipeline-hubs.html> (20. studeni 2019.)
- [17] A Kormány. (I. 30.) Korm. rendelet a földgázellátásról szóló 2008. évi XL. törvény rendelkezéseinek végrehajtásáról. 166-168, 2019. Zakonska uredba.
- [18] Magyar Szabványügyi Testület, MSZ 1648:2016. Közzolgáltatású vezetékes földgáz, 2016. Standard.
- [19] Agencija za energijo. Poročilo o stanju na področju energetike v Sloveniji v letu 2018. Maribor: Agencija za energiju, 2019.
- [20] Plinovodi d.o.o. Sistemska obratovalna navodila za prenosni sistem zemeljskega plina. Zakonski dokument. Ljubljana: Uradni list RS, št. 55/15 in 80/17, 2015.



## ***The possibility of increasing the natural gas quality by elimination of moisture***

**J. Pekez<sup>1\*</sup>, I. Palinkaš<sup>1</sup>, E. Desnica<sup>1</sup>, Lj. Radovanović<sup>1</sup>, L. Đorđević<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Technical Faculty "Mihajlo Pupin" Zrenjanin. University of Novi Sad, Serbia

\* Corresponding Author. E-mail: [pekezasmina@gmail.com](mailto:pekezasmina@gmail.com)

### **Abstract**

The quality of natural gas in the consumer network is determined by regulations. The most important monitored parameters are natural gas composition, pressure, temperature and Wobbe index. Natural gas is in contact with water in reservoir conditions and as a result of that, it absorbs a certain amount of water. Water is undesirable in the gas due to the possibility of corrosion and the formation of hydrates, which is why water is removed from the gas in the separators and water vapor is removed by dehydration. The purpose of this paper is to determine the possibility of increasing the Wobbe index value, which increases the quality of natural gas.

**Key words:** Natural gas quality, Wobbe index

### **1. Introduction**

Natural gas is a vital component of world energy. It is one of the cleanest, safest, and most useful fossil fuels. It provides users with high living comfort because it is an energy source available throughout the year, of the same quality, regardless of the place of consumption. Natural gas is the only carrier of energy and enables modernization and increasing the economy of many industrial processes. It burns without harmful products of soot and ash, where low emissions of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) are used, and ranks among the most environmentally friendly energy sources. From the commercial (consumer) aspect, natural gas is a natural gaseous fossil fuel, most often with a large share of methane. Compared to all other fossil fuels, the use of natural gas produces a smaller amount of CO<sub>2</sub>, which is an essential contribution to reducing its global emissions. [1] During the gas transmission system operation, the boiler room is the only place where the emission of harmful substances occurs. [2] The lower thermal power ranges from 33000-37000 kJ/m<sup>3</sup> or 8000 kcal/Nm<sup>3</sup> or 8.4-13.1 KWh/m<sup>3</sup>. It burns with a clear and transparent blue flame, which is why it is often called "blue" fuel. It occurs alone (free, dry natural gas) or together with oil, usually in a gas droplet above oil (dissolved, moist natural gas). The thermal power also changes with the composition: with a larger share of gaseous hydrocarbons with a larger number of carbon atoms, the thermal power also increases. The lower thermal power of free gases is about 34MJ/m<sup>3</sup>, and of dissolved gases about 36MJ/m<sup>3</sup> to 41MJ/m<sup>3</sup>. [3]



The advantages of using natural gas are:

- Fire is easily ignited and maintained; there is no ash, slag, or dirt around the firebox.
- Easy maintenance and low maintenance costs for gas appliances.
- Much higher labor productivity in the production of natural gas compared to coal and oil.
- Natural gas does not require complicated and expensive processing characteristics of liquid fuels.
- When burning natural gas, high temperatures are reached that allow it to be used effectively as a technological and energy fuel.
- The absence of sulfur and its compounds gives natural gas special value, especially when used for technological and communal needs.
- Due to the absence of toxic carbon monoxide in the natural gas, there is no danger of poisoning in the event of a gas leak from the installation.
- The high thermal power of natural gas enables its transport over long distances.
- When using natural gas, complete automation of the combustion process is possible with high productivity, economy, and favorable working conditions.
- Natural gas enables significant intensification of the operation of various combustion plants, furnaces, boilers, and other devices that consume natural gas with a reduction in investment costs.
- When using natural gas, the highest degree of efficiency of various devices that consume natural gas is achieved.
- The use of natural gas practically does not pollute the environment with solid or gaseous combustion products.
- In modern combustion devices, complete combustion of natural gas is achieved with minimal excess air, which achieves a high efficiency of natural gas utilization for energy production.
- When burning natural gas, it is possible to maintain a high degree of efficiency of various devices that consume natural gas in a wide load range.
- Appliances that consume natural gas have less downtime, lower operating costs, lower own energy consumption, and longer service life.
- The value of natural gas is growing due to the possibility of its use as a raw material in the chemical industry.
- The use of natural gas in outdoor installations requires only metering and regulating station, with associated pipelines and fittings, which means a shorter construction period and lower investment costs.
- The neutral character of the atmosphere in the stokers of metallurgical furnaces has, in some cases, a decisive influence on the work process and product quality. The situation is similar in the glass, ceramics, and construction materials industry.

## 2. Gas preparation

Crude oil and gas deposits produce gas with many impurities that must be removed to be transported by pipeline to consumers. Gas treatment involves the removal of all impurities and dirt and is performed in several stages. The separation of crude oil and gas separates the gas from the reservoir, so the separated phases are directed to the appropriate devices for further processing. Dehydration of gas removes moisture that causes corrosion on metal surfaces, and during transport through gas pipelines, it can increase the mass of gas and thus reduce the speed of transport. At lower temperatures, ice plugs can form, stopping the



flow of gas. Desulfurization removes sulfur from the gas. Sulfur is found in sedimentary rocks, so the gas during transport to the drill holes comes into contact with these rocks, whereby the particles of rock that contain sulfur are also carried away by the flow. Sulfur is a harmful component because it causes corrosion in gas pipelines. By separating mechanical impurities, the gas is cleaned, i.e., filters, because mechanical impurities make it difficult to transport, reducing the speed of flow through the pipeline. The separation of heavy hydrocarbons from natural gas maintains a constant composition and thermal power of the gas. Propane ( $S_3N_8$ ), butane ( $S_4N_{10}$ ) and liquefied gas are separated. This is the final process of processing natural gas before it is released into gas distribution systems. Natural gas coming from wells to the gas station contains certain amounts of water (in the form of water vapor and free water), certain amounts of heavier hydrocarbons (in the form of condensate and in the gaseous state) and in some cases harmful components such as hydrogen sulfide, carbon-dioxide, nitrogen, and mercury. The preparation of natural gas at gas stations involves subjecting the gas to certain technological processes to meet the requirements that the gas must meet for further transport and use. If it is addressed to the consumer, then it must meet the specification for commercial distribution which includes: dew point on water and hydrocarbons, thermal power, purity in relation to the presence of hydrogen sulfide, carbon dioxide, nitrogen, mercury and solid particles and pressure of the gas with which it is supplied. If it is a gas that is sent to the plant for further processing (extraction of ethane, propane, butane, etc.), then the requirement in terms of gas preparation consists in providing conditions for the transport of gas to the said plant. These conditions include lowering the dew point of water and hydrocarbons only to the limit that will ensure uninterrupted pipeline transport (condensation, hydrate formation, corrosion, etc.). If there is no plant for further gas processing, and the gas is rich in liquid hydrocarbons (gas from gas condensate deposits), the requirement in terms of preparation implies the maximum separation of liquid hydrocarbons. Fulfillment of the required requirements regarding gas preparation is carried out by subjecting the gas to the processes of separation, dehydration, separation of liquid hydrocarbons, separation of harmful components, and compression. The basis in the concept of gas preparation technology is the chemical composition of the gas at the entrance to the gas station, the behavior of the gas with changing pressure and temperature, the requirement regarding the quality of preparation, and the characteristics of available preparation processes or plants.

During the transport and distribution of natural gas in gas pipelines, there are changes in pressure and temperature that can lead to free water formation. Free water in gas pipelines can create plugs and reduce the capacity of gas pipelines. Under certain conditions of pressure and temperature, a reaction occurs between some hydrocarbons and free water to form hydrates. Hydrates are solid crystalline substances. They are unstable and have the appearance of snow. They are composed of methane, ethane, propane, and butane, with free water under certain conditions of pressure and temperature. Heavier butane hydrocarbons do not produce carbohydrates. Sulfur-hydrogen and carbon-dioxide also form hydrates under certain conditions of pressure and temperature. As secondary conditions,



the conditions that encourage hydrates' formation are high flow velocity - turbulent flow, pressure oscillations, and the presence of small crystals of hydrates. [4]

### 3. Gas quality

Discussions on European level have highlighted the challenges related to unifying gas quality standards. The European Commission (EC) has started a project to harmonize the gas quality in the EU. This work is being done in cooperation with the European Association for the Streamlining of Energy Exchange (EASEE-gas8), Gas Infrastructure Europe (GIE) and other stakeholders. The EC has further issued a mandate to the European Committee for Standardization (CEN 9). [5] EASEE-gas CBP 2005-001/0210 recommends gas quality parameters, parameter ranges and an implementation plan, limited to cross border and EU entry points. The recommended reference standards are: - Volume conditions : 0 °C / 101,325 kPa; - Energy unit: kWh are recommended reference; - Combustion reference temperature: 25 °C for Gross Wobbe index. CBP 2005-001/02 further defines Wobbe index limits, relative density, sulfurs, oxygen, carbon dioxide and hydro carbon and water dew temperature. The European standard specifies gas quality characteristics, parameters and their limits, for gases classified as group H that are to be transmitted, injected into and from storages, distributed and utilized. The Table 1 summarises the requirements of the standard. [6]

**Table 1.** Gas quality characteristics [6]

Parameter	Unit <sup>3</sup>	Min	Max
Relative density	-	0,555	0,700
Total sulfur without odourant	mg/m <sup>3</sup>	-	20 (30*)
H2S + COS	mg/m <sup>3</sup>	-	5
Mercaptan sulfur	mg/m <sup>3</sup>	-	6
Oxygen	mol/mol	-	10 ppm to 1%
CO2	mol/mol	-	2,5% to 4%
HC dew point	°C (up to 70 bar)	-	-2
Water dew point	°C (at 70 bar)	-	-8
Methane number	-	65	-

Dew point - is the most important parameter that indicates the presence of moisture in the gas. It represents the temperature to which a moist gas with a constant moisture content needs to be cooled to become saturated with water vapor. According to the transport rules, the dew point of the gas sent to the distributor should be lower than -5 °C at a pressure of 40 bar. Wobbe index (volumetric-basis superior (inferior) calorific value) is a parameter based on which the quality of natural gas is determined, which has a significance on the sales value of gas. Wobbe index at specified reference conditions, divided by the square root of the relative density at the same specified metering reference conditions (expression number 1). [7]

$$\text{Wobbe index} = \frac{H_d}{\sqrt{\rho_r}} [\text{KJ/m}^3] \dots \dots \dots (1)$$



and represent:

$\rho_r$ - relative gas density [-]

$H_d$ - lower thermal power of the gas [KJ/m<sup>3</sup>].

The Wobbe index offers information about the heating effect a burner is exposed to during combustion of a fuel. The greater the Wobbe index, the greater the heating effect and thereby the greater the load on the burner. The load on a burner is thus directly proportional to the Wobbe index. Different gases with the same Wobbe index will impose the same load on the burner. The Wobbe index is used also as a safety parameter, in the sense that too high a Wobbe index can result in the production of carbon monoxide and thermal overload. Burners are usually designed for a particular Wobbe band. "Lower or higher values are risky; with a higher Wobbe index the gas will form carbon monoxide and a lower index will cause lifting of the flame during combustion of the gas.[8] Wobbe index variations of up to 5% are expected and should not significantly affect the end-user. [9] The draft European Committee for Standardization (CEN) defines minimum and maximum values for natural gas characteristic using ISO standard reference conditions, namely: 15 °C and 1.01325 bar for volume, gross Wobbe index and gross calorific value at 15 °C for combustion (Table 2).

**Table 2.** Wobbe index, calorific value and relative density parameters range [9]

Country	Wobbe index- gross (MJ/m <sup>3</sup> )	Calorific value- gross (MJ/m <sup>3</sup> )	Relative density
<b>CEN Standard</b>	Min 46,44 Max 54,00	Not defined	Min 0,555 Max 0,70
<b>Bosnia and Herzegovina</b>	Min 46,62 Max 56,055	Min 34410 Max 38850	Min 0,5 Max 0,6
<b>FYR of Macedonia</b>	Not defined	Min 36714 Max 37643	Not defined
<b>Serbia</b>	Min 46,62 Max 51,06	Min 36075 Max 38295	Not defined
<b>Moldova</b>	Min 41,24 Max 54,43	Min 35320 <sup>*</sup> Max not defined	Not defined
<b>Ukraine</b>	Min 38,94 Max 51,52	Min 34505 Max 36401	Not defined
<b>Georgia</b>	Min 50,06 Max 51,40	Min 35740 <sup>*</sup> Max 36560 <sup>*</sup>	Min 0,5938 Max 0,6531
<b>Austria</b>	Min 45,43 Max 53,63	Min 36550 Max 43720	Min 0,55 Max 0,65
<b>Croatia</b>	Min 45,90 Max 56,92	Min 37008 Max 45900	Min 0,56 Max 0,70
<b>Italy</b>	Min 47,31 Max 52,23	Min 34950 Max 45280	Min 0,55 Max 0,8

The relative density of natural gas - is the ratio of the density of natural gas and the density of air at equal temperature and pressure conditions, i.e., at a temperature of 15 °C and a pressure of the 1.01325 bar used as a parameter for soot control.



The lower calorific value of gas (Hd) - is the amount of heat generated by the complete combustion of one cubic meter of dry gas at constant pressure (1.01325 bar, TH = 288.15 K), where the combustion products are cooled to a temperature above the dew point of water vapor, so the water from the combustion product does not condense. The temperature of 15 °C is the reference temperature for determining the heat value. The lower calorific value is defined by the valid standard SRPS EN ISO 6976 and is expressed in KJ/m<sup>3</sup>. [10,11]

#### 4. Results of measurement of key parameters of compressed natural gas (CNG)

The most important parameters that are measured by the hour are: suction pressure, inlet temperature, first-stage pressure, first-stage temperature, second-stage pressure, second-stage temperature, outlet pressure, outlet temperature, trailer charge pressure and temperature, mass cumulative at KPG inlet, the difference between two cumulative readings, instantaneous flow, and trailer pressure. Table 3 shows the parameters considered in this paper. Gas flow measurement was performed using measuring apertures built into the circular cross-section pipeline, where the flow is determined indirectly by measuring the pressure difference in front and behind the aperture. The Wobbe index was monitored using a chromatograph located on the SKADA system. The chromatograph also gives percentage data on the content of methane, ethane, propane, butane, and other hydrocarbons, as well as data on the thermal power of the gas. The dew point is the essential parameter based on which the humidity in the gas is determined, and its value was measured with a hygrometer in this research.

**Table 3.** Natural gas parameters obtained by measurement

No.	Time	Current flow (kg/h)	P <sub>tre</sub> (bar)	Wobbe index [KJ/m <sup>3</sup> ]	Dew point [°C]
1.	21:00	0	51	42,31	+5,15
2.	22:00	469	73	42,24	+8,4
3.	23:00	461	91	42,38	+11,3
4.	00:00	463	119	42,25	+9,4
5.	01:00	523	138	42,33	+6,12
6.	02:00	509	161	42,29	+7,3
7.	03:00	505	187	42,24	+11,5
8.	04:00	502	211	42,33	+3,2
9.	05:00	0	212	42,13	+4,7
10.	06:00	430	40	42,25	+11,2
11.	07:00	476	70	42,10	+4,5
12.	08:00	470	100	42,14	+12,8
13.	09:00	529	126	42,16	+7,9
14.	10:00	521	176	42,14	+8,12
15.	11:00	0	18	42,15	+6,7
16.	12:00	365	91	42,3	+2,11
17.	13:00	404	111	42,2	+5,3
18.	14:00	404	129	42,3	+12
19.	15:00	396	149	42,2	+12,10

## 5. Analysis and discussion of measurement results

The measurement showed that the Wobbe index is slightly above the value of 42 MJ/m<sup>3</sup>, which indicates the low quality of gas, given that the lower limit value for Serbia is 46 MJ/m<sup>3</sup>. The value of the dew point is in the plus during the entire measurement, and its value should be -5 °C at a pressure of 40 bar [10], which indicates the existence of moisture in the gas at the measuring point. The solution to this problem is the installation of gas heaters, chillers, and coolers.

## 6. Conclusion

The WI ranges depicted depend more strongly on regions than on any other factor. Within one region, ranges may actually differ depending on the influence of different sources. The safe use of gas is not completely defined by the EN16726:2015 due to the lack of any Wobbe Index (WI) requirements. The quality and pressure of domestic gas entering the transmission system of PC Srbijagas should be brought approximately to the level of imported gas, which could be done by removing moisture from the gas by installing gas heaters, chillers, and coolers in places where gas parameters are not in accordance with the standard.

## 7. Literature

- [1] Brkovic, M., Radovanovic, Lj., Desnica, E., Pekez, J., Adamovic, Z., Analysis of Loss Reduction in Natural Gas Transportation and Distribution, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, (2015), vol. 10 No. 2, p. 214-222, ISSN 1556-7249, ID: 551824 DOI 10.1080/15567249.2010.551824, Manuscript ID UESB-2010-0127.
- [2] Kovacevic, M., Lambic, M., Radovanovic, Lj., Kucora, I., i Ristic, M., Measures for Increasing Consumption of Natural Gas, Energy Sources Part B: Economics, Planning, and Policy, (UESB-2016-0085; DOI: 10.1080/15567249.2016.117 9359) 2017, VOL. 12, NO. 5, 443–451
- [3] Kovacevic, M., Lambic, M., Radovanovic, Lj., Pekez, J., Ilic, D., Nikolic, N., and Kucora, I., Increasing the efficiency by retrofitting gas boilers into condensing heat exchanger, Energy Sources Part B: Economics, Planning, and Policy, (UESB-2016-0089; DOI number:10.1080/15567249.2016.1188182) 2017, VOL. 12, NO. 5, 470–479
- [4] Nikolovski B., Kuzminac S., Blagojević N., Miljković B., Spasojević M., Sovilj M., Natural gas dehydration with triethylene glycol, 32nd International Congress on Process Industry, Belgrade, May 30-31, 2019, Beograd, 30-31.
- [5] Perisic, J., Milovanovic, M., Petrovic, I., Radovanovic, Lj., Ristic, M., Speight, J., and Perisic, V., Application of a master meter system to assure crude oil and natural gas quality during transportation, Petroleum Science and Technology, ISSN 1091-6466, DOI:10.1080/10916466.2018.1465972, (2018), vol.36, No 16, pp.1222-1228 TR34028
- [6] ISO 13686:2013, Natural gas - Quality designation <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13686:ed-2:v1:en>
- [7] Impact analysis of a reference to the EN16726:2015 in the network code on Interoperability and Data Exchange, European network of transmission system operators for gas (ENTSOG), Report INT1031-161122, 23 November 2016.
- [8] Kačanski B., Kvalitet prirodnog gasa, rezultati u poboljšanju, tehnička rešenja, Dani Energetike, Okt 2012.g.



- [9] Zachariah-Wolff J. Leslie, Tineke M., Egyedi, K. Hemmes, From natural gas to hydrogen via the Wobbe index: The role of standardized gateways in sustainable infrastructure transitions, June 2007, International Journal of Hydrogen Energy 32(9):1235-1245, DOI:[10.1016/j.ijhydene.2006.07.024](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.07.024)
- [10] Wan der Wal W. The technological infrastructure of the gas chain. In: Arentsen MJ, Kunneke RW, editors. National reforms in European gas. Oxford, UK: Elsevier Ltd.; 2003. p. 13–30.
- [11] Gas Quality in the Energy Community Applicable Standards and their Convergence with European Standards December 2014.



# Primjena just in time strategije u proizvodnji opreme za ekstrakciju plina

## *Application of just in time strategy in the gas extraction equipment manufacturing*

M. Živković<sup>1</sup>, G. Zeba<sup>2\*</sup>, M. Čičak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Diplomirana studentica – Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu

<sup>2</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

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

### Sažetak

Industrija 4.0 utječe na transformaciju naftne/plinske industrije s ciljem poboljšanja proizvodnje i lanca opskrbe. Danas postoji mnogo mogućnosti za koordiniranje aktivnosti u kompleksnom lancu opskrbe u naftnoj/plinskoj industriji zahvaljujući modernim informacijskim sustavima i informacijsko-komunikacijskim tehnologijama. Dio tog lanca opskrbe su proizvođači opreme potrebne za istraživanje, ekstrakciju, proizvodnju i transport nafte i plina. Cilj rada je prikazati mogućnosti primjene just-in-time principa u upravljanju proizvodnjom opreme za ekstrakciju nafte/plina, pomoću ERP sustava Microsoft Dynamics NAV koji ima ugrađenu funkcionalnost just-in-time. Dan je primjer just-in-time upravljanja proizvodnjom erupcijskog uređaja koji je dio opreme za ekstrakciju nafte/plina.

**Ključne riječi:** just-in-time, upravljanje proizvodnjom, ERP sustav, proizvodnja opreme za naftnu/plinsku industriju

### Abstract

Industry 4.0 is influencing the transformation of the oil / gas industry with the aim of improving production and the supply chain. Today, there are many opportunities to coordinate activities in a complex supply chain in the oil / gas industry thanks to modern information systems and information and communication technologies. Part of this supply chain are manufacturers of equipment needed for the exploration, extraction, production and transportation of oil and gas. The aim of this paper is to present the possibilities of applying just-in-time principles in oil / gas extraction equipment production management, using the ERP system Microsoft Dynamics NAV, which has built-in just-in-time functionality. An example of just-in-time production management of a christmas tree that is part of oil / gas extraction equipment.

**Key words:** just-in-time, production management, ERP system, oil/gas industry equipment manufacturing



## 1. Uvod

Proizvodnja nafte i plina pokretač je gospodarskog rasta. Predviđa se da će globalna potražnja za prirodnim plinom nastaviti rasti i da će prirodni plin biti „prvi“ u cijeloj primarnoj energiji prije 2040. godine [1]. Proizvođači nafte i plina uobičajeno ne proizvode opremu potrebnu za proizvodnju nafte i plina. Važan dio lanca nabave u naftnoj/plinskoj industriji čine proizvođači opreme za eksploataciju nafte/plina (npr. pumpe, kompresori, erupcijski uređaji, itd.). Poduzeća koja proizvode opremu za naftnu/plinsku industriju suočavaju se s mnogo izazova kao što su izmjene zahtjeva za opremom koji ovise o izmjenama u zakonodavstvu, političkoj situaciji, otkriću nafte/plina, na koje moraju reagirati fleksibilno.

S obzirom da je oprema koju proizvode kompleksna i proizvodi se prema zahtjevu kupca uz veliku varijabilnost proizvoda i male serije, proizvođači opreme za naftnu/plinsku industriju moraju imati kvalitetan sustav upravljanja proizvodnjom, koji će omogućiti proizvodnju proizvoda visoke kvalitete uz konkurentnu cijenu, povećanu produktivnost i visoke standarde sigurnosti [2].

## 2. Industrija 4.0 i lean proizvodnja

Lean proizvodnja je koncept upravljanja proizvodnjom koji je usmjeren na ispunjavanje zahtjeva kupca uz minimalne troškove i maksimalnu učinkovitost pomoću kontinuiranog poboljšavanja i eliminiranja gubitaka (gubitak je sve što ne dodaje vrijednost) [3, 4].

Lean proizvodnja je raširena u gotovo svim industrijskim granama, ali je u manjoj mjeri zastupljena u upravljanju proizvodnjom opreme za eksploataciju nafte/plina. Ključnu ulogu u Industriji 4.0 ima Internet stvari (Internet of Things) uz ostale tehnologije kao što su: računalstvo u oblaku (cloud computing), (analitika velikih podataka (big data), umjetna inteligencija (artificial intelligence), mrežne i komunikacijske tehnologije, enterprise resource planning sustavi koji postaju inteligentni ERP sustavi (i-ERP), itd. Pomoću ERP (Enterprise Resource Planning) sustava proizvođači opreme za naftnu/plinsku industriju mogu upravljati troškovima, kvalitetom i pravovremenom isporukom opreme naftnoj/plinskoj industriji. ERP sustavi su okosnica poslovanja poduzeća u svim granama industrije, osobito u kontekstu Industrije 4.0.

Lean proizvodnja i Industrija 4.0 imaju iste ciljeve, kao što su povećana produktivnost i fleksibilnost [5].

## 3. Just-in-time upravljanje proizvodnjom

Lean proizvodnja obuhvaća različite principe kao što su just-in-time, Jidoka, Heijunka, Kaizen, standardizacija, itd. Just-in-time upravljanje proizvodnjom je usmjereno na učinkovitost. Tehnologije Industrije 4.0 mogu olakšati just-in-time upravljanje proizvodnjom jer omogućavaju prikupljanje i analizu točnih i pravovremenih informacija. Tehnologije Industrije 4.0 koje se najčešće koriste za poboljšavanje lean principa su Internet stvari, simulacije, autonomni roboti, proširena stvarnost (augmented reality), analitika velikih podataka [6]. Za lean proizvodnju je važno da su dobavljači pouzdani, jer je tada manja potreba za zalihama sirovina, sustavima provjere kvalitete, doradama i ostalim aktivnostima bez dodane vrijednosti.





#### 4. Just-in-time upravljanje proizvodnjom u ERP sustavu Microsoft Dynamics NAV

Microsoft Dynamics NAV globalno je poslovno rješenje koje pruža malim i srednjim poduzećima veću kontrolu nad njihovim poslovanjem. Objedinjuje razne poslovne procese u jednu cjelinu kao što su marketing i prodaja, financije, nabava i logistika, proizvodnja, skladištenje, upravljanje ljudskim resursima i drugo. Za potrebe rada korištena je verzija Microsoft Dynamics NAV 2015. Prikazana je primjena sustava Microsoft Dynamics NAV na primjeru opreme za ekstrakciju nafte/plina (erupcijski uređaj) [7].

##### 4.1. Erupcijski uređaj

Erupcijski uređaj je visokotlačna završna proizvodna oprema bušotine. Erupcijski uređaj ima mogućnost otvaranja i zatvaranja protoka plina iz bušotine te osigurava siguran rad bušotine. Erupcijski uređaj uključuje opremu koja se nalazi iznad pokrovne prirubnice kao što zasuni, protočna glava i manometri. Konstrukcijska svojstva zahtijevaju upotrebu metalnih brtvi, a erupcijski uređaj mora biti vatrootporan i mora podnijeti sva dinamička i statička opterećenja kojima je podvrgnut u normalnim, ekstremnim i neočekivanim situacijama. Oprema i oblik erupcijskog uređaja ovise o uvjetima u bušotini. Dizajn i izbor komponenata erupcijskog uređaja se obavlja prema standardu ISO 10423:2009 "Bušaća i proizvodna oprema". Na slici 1. prikazan je erupcijski uređaj.



Slika 1. Erupcijski uređaj

#### 4.2. Podaci u ERP sustavu Microsoft Dynamics NAV

U sustav moraju biti uneseni matični podaci o materijalu, dijelovima i gotovim proizvodima, resursima, kupcima i dobavljačima, te proizvodne sastavnice i tehnološki postupci. Na slici 2 prikazan je zaslon sustava Microsoft Dynamics NAV s dijelom popisa komponenti erupcijskog uređaja.

<input checked="" type="checkbox"/>	MZ1250	...	Vodjica s navojem	No	KOM	<input type="checkbox"/>	30,00	30,30303
	MZ1251	...	Prsten za brtvu	No	KOM	<input type="checkbox"/>	135,00	136,36364
	MZ1252	...	Vijak za osiguranje	No	KOM	<input type="checkbox"/>	45,00	45,45455
	MZ1253	...	Brtveni prsten R27	No	KOM	<input type="checkbox"/>	40,00	40,40404
	MZ1254	...	Vijak 1"-8UNC 2B	No	KOM	<input type="checkbox"/>	47,00	47,47475
	MZ1255	...	Matica 1"-8UNC 2B	No	KOM	<input type="checkbox"/>	47,00	47,47475
	MZ1256	...	Kocka 2-9/16"x2-9/16" R27	No	KOM	<input type="checkbox"/>	9 200,00	9 292,92929
	MZ1257	...	Prirubnica 2-9/16x2" LP	No	KOM	<input type="checkbox"/>	830,00	838,38384
	MZ1258	...	Vijak 1"-8UN 2Ax130	No	KOM	<input type="checkbox"/>	47,00	47,47475
	MZ1259	...	Vijak 1"-8UN 2Ax170	No	KOM	<input type="checkbox"/>	47,00	47,47475
	MZ1300	...	Prirubnica uvodne kolone	No	KOM	<input type="checkbox"/>	14 500,00	14 646,46465
	MZ1400	...	Prirubnica bušotinske glave	No	KOM	<input type="checkbox"/>	35 000,00	35 353,53535
	MZ1500	...	Prirubnica tubinga	No	KOM	<input type="checkbox"/>	41 000,00	41 414,14141
	MZ1600	...	Pokrovna prirubnica	No	KOM	<input type="checkbox"/>	7 200,00	7 272,72727
	MZ1700	...	Zasuni	No	KOM	<input type="checkbox"/>	0,00	0,00

**Slika 2.** Zaslon sustava Microsoft Dynamics NAV s popisom dijelova i sklopova erupcijskog uređaja

#### 4.3. Funkcionalnost just-in-time u ERP sustavu Microsoft Dynamics NAV

Sustav Microsoft Dynamics NAV ima ugrađenu funkcionalnost just-in-time upravljanja proizvodnjom. U tu svrhu se koristi funkcija povezivanja operacija tehnološkog postupka s proizvodnom sastavnicom, odnosno s komponentom proizvodne sastavnice koja će se koristiti u toj operaciji (funkcija „Routing Link Codes“). Na taj način se planiranjem proizvodnog naloga zna u kojem točno trenutku i na kojem radnom mjestu (stroju) je potrebna određena komponenta/materijal. Pomoću funkcije „Routing Link Codes“ sustav obavlja just-in-time planiranje i upravljanje proizvodnjom.

Za opis ove funkcionalnosti u Microsoft Dynamics NAV odabrana je komponenta sa šifrom MZ1256 čija proizvodna sastavnica ima šifru MZ-PS-5 i tehnološki postupak koji ima šifru MZ-TP-07.

Evidentiranje utroška materijala, proizvedenih količina i utrošenog vremena na proizvodnom nalogu je proces koji se obavlja funkcijom „Flushing“. Pomoću nje se smanjuje količina materijala na zalihama, a te količine se pripisuju proizvodnom nalogu na kojem su potrebne prema sastavnici proizvoda. Postoje tri vrste „Flushing“ metode: ručno (eng. Manual Flushing), unaprijed (eng. Forward Flushing) i unazad (eng. Backward Flushing). Kod ručne metode utrošak materijala se unosi ručno u sustav, a metode unaprijed i unatrag su

automatske. Kod metode unaprijed u sustavu se automatski evidentira utrošak očekivane količine svih materijala i dijelova u trenutku lansiranja proizvodnog naloga, osim ako postoje definirane veze (Routing Link Codes) između tehnološkog postupka i proizvodne sastavnice (u tom slučaju u sustavu se automatski evidentira utrošak materijala/dijelova u trenutku početka operacije za koju su materijal/dijelovi potrebni). Kod metode unatrag automatski se evidentira stvarna količina utrošenih materijala i dijelova, nakon što se u sustavu proizvodni nalog evidentira kao dovršen. Ako postoje definirane veze između tehnološkog postupka i proizvodne sastavnice (Routing Link Codes) knjiži se utrošak materijala nakon knjiženja dovršetka operacije na kojoj su materijal/dijelovi potrebni. Automatskim knjiženjem u sustavu smanjuje se unos podataka u sustav.

Pomoću funkcije "Routing Link Codes" potrebno je povezati proizvod s njegovim tehnološkim postupkom te proizvodnom sastavnicom. Na taj način sustav omogućuje da se dijelovi nabave u trenutku kada su potrebni te da budu na mjestu na kojem se izvodi operacija.

Na slici 3 prikazana je proizvodna sastavnica zasuna koja sadrži sve komponente zasuna i definiranje veze pomoću šifre MZ100 za komponentu MZ1256.

General

No.:  Search Name:

Description:  Version Nos.:

Unit of Measure Code:  Active Version:

Status:  Last Date Modified:

Lines

Type	No.	Description	Quantity per	Unit of Measur...	Scrap %	Routing Link Code	Ending Date	Starting Date	Variant Code
Item	MZ1224	Zasun 2-1/16"	5	KOM	0				
Item	MZ1256	Kocka 2-9/16"x2-9/16" RZ7	1	KOM	0	MZ100			
Item	MZ1237	Brtveni prsten R24	8	KOM	0				
Item	MZ1257	Prirubnica 2-9/16x2" LP	3	KOM	0				
Item	MZ1239	Čep 2" LPx1/2" NPT	2	KOM	0				
Item	MZ1227	Igličasti ventil 1/2"	2	KOM	0				
Item	MZ1240	Manometar 0-350 bar 1/2" NPT	2	KOM	0				
Item	MZ1226	Čep 2" LP	1	KOM	0				
Item	MZ1255	Matica 1"-8UNC 2B	96	KOM	0				
Item	MZ1258	Vijak 1"-8UN 2Ax130	32	KOM	0				
Item	MZ1259	Vijak 1"-8UN 2Ax170	32	KOM	0				

**Slika 3.** Definiranje veze pomoću šifre MZ100 za komponentu MZ1256

Za komponentu sa šifrom MZ1256 definirana je veza proizvodne sastavnice s tehnološkim postupkom (Routing Link Code) pomoću šifre MZ100. Na slici 4 prikazan je zaslon na kojem je u tehnološkoj sastavnici Zasuni definirana veza MZ100 za operaciju 10.

MZ-TP-07 · Zasuni

General

No.: MZ-TP-07  
Description: Zasuni  
Type: Serial  
Status: Certified

Search Description: ZASUNI  
Version Nos.:  
Active Version:  
Last Date Modified: 5.5.2020.

Lines

Operati... No.	Type	No.	Fixed Scrap Quantity	Scrap Factor %	Concurrent Capacities	Send-Ahead Quantity	Unit Cost per	Routing Link Code	Next Operatio...	Previous Operatio...	Maximu Process Tin
10	Machine Ce...	MZ-MC1	0	0	0	0	0,00	MZ100	20		
20	Work Center	MZ-WC2	0	0	0	0	0,00			10	

Slika 4. Definiranje veze pomoću šifre MZ100 za operaciju 10

U prikazanom primjeru je povezana operacija 10 tehnološkog postupka MZ-TP-07 s komponentom MZ1256, što znači da je komponenta MZ1256 potrebna na stroju sa šifrom MZ-MC1 u trenutku početka operacije 10.

Na slici 5 prikazan je tehnološki postupak za proizvodni nalog Zasuni.

Edit - Prod. Order Routing - 1010404 Zasuni MZ-TP-07

Operation No.	Type	No.	Description	Starting Date-Time	Ending Date-Time	Setup Time	Run Time	Wait Time	Move Time
10	Machine Center	MZ-MC1	Montaža	22.04.2021 12:59	11.06.2021 14:59	240	1 500	0	0
20	Work Center	MZ-WC2	Kontrola kvalitete	11.06.2021 23:00	11.06.2021 23:00	0	0	0	0

Slika 5. Datum i vrijeme početka operacije 10 na proizvodnom nalogu

Planiranjem proizvodnog naloga ERP sustav je izračunao planirani datum i vrijeme početka operacije 10 - Montaža zasuna: 22.04.2021. u 12:59 sati. To znači da komponenta MZ1256 treba biti dopremljena 22.04.2021. u 12:59 sati na stroj MZ-MC1, odnosno u pravom trenutku i na pravo mjesto prema principu just-in-time.

#### 4. Zaključak

Industrija 4.0 ima veliki utjecaj na proizvodnju u svim sektorima industrije, također i u industriji nafte i plina. Tehnologije Industrije 4.0, osobito Internet stvari, omogućavaju automatsko prikupljanje podataka i praćenje svih resursa u proizvodnji u realnom vremenu, te vertikalnu i horizontalnu integraciju, što je prioritet u industriji nafte i plina. ERP sustav kao okosnica poslovanja poduzeća omogućava just-in-time upravljanje proizvodnjom opreme za ekstrakciju i općenito za sve faze proizvodnje plina.





## 5. Literatura

- [1] Zhanghuang Ye. Study on the Natural Gas Consumption and its Change Prediction // *Journal of Physics: Conference Series*, 1549(2020) 042103. (ISSN 17426588, 17426596)
- [2] Faisal Talib; Mohammad Asjad; Rajesh Attri; Arshad Noor Siddiquee; Zahid A. Khan. A road map for the implementation of integrated JIT-lean practices in Indian manufacturing industries using the best-worst method approach // *Journal of Industrial and Production Engineering*, 37(2020), 1–17. (ISSN 2168-1015, 2168-1023)
- [3] Bhamu, Jaiprakash; Sangwan, Kuldip Singh. Lean manufacturing: literature review and research issues // *International Journal of Operations & Production Management*, 34(2014), 7, 876-940. (ISSN: 0144-3577)
- [4] Zhang, Kai; Qu, Ting; Zhou, Dajian; et al. IoT-enabled dynamic lean control mechanism for typical production systems // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 10(2019), 3(SI), 1009-1023. (ISSN 18685137)
- [5] Buer, S.V., Strandhagen, J.O. and Chan, F.T.S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda // *International Journal of Production Research*, 56(2018), 8, 2924-2940. (ISSN: 0020-7543, ISSN: 1366-588X)
- [6] Rosin, Frédéric; Forget, Pascal; Lamouri, Samir; Pellerin, Robert. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles // *International Journal of Production Research*, 58(2020), 6, 1644-1661. (ISSN: 0020-7543, ISSN: 1366-588X)
- [7] Živković, Maja. „Just In Time“ upravljanje proizvodnjom u sustavu MS Dynamics NAV. Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2020., diplomski rad



# Utjecaj pumpi s frekvencijskom regulacijom na energetska učinkovitost

## *Influence of frequency controlled pumps on energy efficiency*

D. Pudić<sup>1,\*</sup>, M. Stojkov<sup>2</sup>, S. M. Babić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hrvatska energetska regulatorna agencija, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>3</sup>Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Osijek, Hrvatska

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

### Sažetak

Implementacijom mjera energetske učinkovitosti potiče se održivi razvoj, doprinosi smanjenju emisija, konkurentnosti i energetske neovisnosti. U kotlovskim postrojenjima za grijanje stambenih zgrada i u toplinskim podstanicama često se nalaze zastarjele cirkulacijske pumpe koje rade na stalnom broju okretaja bez obzira koliki se broj stanova grije, u kojem se razdoblju objekt grije i kolika je potrošnja energije. Osim što takve pumpe izazivaju buku, one su i veliki potrošači električne energije u podstanci i izazivaju znatne gubitke toplinske energije u instalacijama zgrade. Stoga ih treba zamijeniti novim tipovima pumpi s frekvencijskom regulacijom pogodnim za balansiranje sustava u zgradi, što se poglavito osjeti kod promjena u potrošnji energije. Nadalje, sukladno europskim direktivama i Zakonu o energetske učinkovitosti, u radu je dan naglasak na konkretne mjere za postizanje energetske učinkovitosti u neposrednoj potrošnji. Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost je objavio da su troškovi ulaganja u alternativne mjere energetske učinkovitosti za uštedeni kWh energije iznosili 2,19 kn u 2017. godini. Vlada RH je za 2019. godinu donijela odluku da će se ta naknada prepoloviti. Cilj ovoga rada je utvrditi u kojoj bi mjeri zamjena pumpi utjecala na smanjenje emisija stakleničkih plinova i koliki bi bio povrat uložene investicije u slučaju da opskrbljivač mora uplatiti naknadu u Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost za neostvarene uštede.

**Ključne riječi:** energetska učinkovitost, alternativne mjere, cirkulacijske pumpe, grijanje

### Abstract

The implementation of energy efficiency measures encourages sustainable development, contributes to reducing emissions, competitiveness and energy independence. In boiler plants for heating residential buildings and in heat substations, there are often outdated





circulation pumps that operate at a constant speed, regardless of how many apartments are heated, in which period the building is heated and how much energy is consumed. Except that such pumps causing the noise, they are large consumers of electricity in the substation and caused considerable losses of heat consumption in buildings. Therefore, they should be replaced by new types of frequency controlled pumps suitable for balancing the system in the building, which is especially felt with changes in energy consumption. Furthermore, in accordance with European directives and the Energy Efficiency Act, the paper emphasizes specific measures for achieving energy efficiency in final consumption. The Fund for Environmental Protection and Energy Efficiency announced that the costs of investing in alternative energy efficiency measures for saved kWh of energy amounted to HRK 2.19 in 2017. The Government of the Republic of Croatia has made a decision for 2019 that this fee will be halved. The aim of this paper is to determine the extent to which the replacement of pumps would affect the reduction of greenhouse gas emissions, what would be the return on investment in the event that the supplier has to pay a fee to the Environmental Protection and Energy Efficiency Fund for unrealized savings.

**Key words:** energy efficiency, alternative measures, circulating pumps, heating.

## 1. Uvod

Europska unija je još 2007. godine postavila cilj smanjenja godišnje potrošnje energije za 20% do 2020. godine. Taj je cilj u okviru paketa „Čista energija za sve Europljane” (engl. "The Clean energy for all Europeans" package – CEP) [1], 2018. godine povećan na 32,5% do 2030. godine. Razlozi za tako postavljene ciljeve su globalne klimatske promjene, zabrinutost za svjetske zalihe fosilnih goriva i povećanje ovisnosti Europske unije o uvozu energenata. U akcijskom planu za energetske učinkovitost iz 2006. godine konstatirano je da je Europa trošila najmanje 20% više energije zbog energetske neučinkovitosti, što bi rezultiralo većim troškovima i uvozom od 100 milijardi eura godišnje više do 2020. godine. Pravni okvir za energetske učinkovitost u Europskoj uniji sastoji se od niza direktiva koje se s godinama revidiraju. Direktiva o energetske učinkovitosti (2012/27/EU) iz 2012. godine [2] naglašava da zgrade predstavljaju 40% krajnje potrošnje energije i da treba povećati stopu obnove zgrada, jer su zgrade od ključnog značenja za ostvarivanje cilja smanjenja emisija stakleničkih plinova za 80 - 95 % do 2050. godine u usporedbi s 1990. godinom. Članak 7. Direktive 2012/27/EU propisuje uspostavu sustava obveze energetske učinkovitosti za svaku državu članicu. Kumulativni cilj uštede energije za Republiku Hrvatsku iznosi 54,25 PJ. Stavkom 9. istog članka je definirano da države članice zadane uštede mogu ostvariti primjenom alternativnih mjera, sustavom obveze energetske učinkovitosti ili kombinacijom ova dva sustava. Republika Hrvatska se odlučila za kombinirani pristup. Alternativne mjere propisuju da bi svaki opskrbljivač energijom trebao primjenom alternativnih mjera smanjiti potrošnju energije za 1,5% u odnosu na količinu energije kojom opskrbljuje potrošače. Budući da je Republika Hrvatska propisala obveze za opskrbljivače energije tek za 2019. godinu, obvezne uštede su se mogle ostvariti ili samoinicijativno gdje bi opskrbljivači energijom povrat investicije ostvarili kroz ostvarenu uštedu pa bi im se naknadno priznala



ostvarena ušteda ili bi opskrbljivač energijom kroz sustav obveze energetske učinkovitosti iskoristio nepovratno dobivena sredstva za energetske učinkovitost. U prijedlogu mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti u kućanstvima za razdoblje 2014.-2016., iz 2013. godine, zamjena pumpi s frekvencijskom regulacijom ulazi u kategoriju prihvatljivih troškova koji će se sufinancirati.

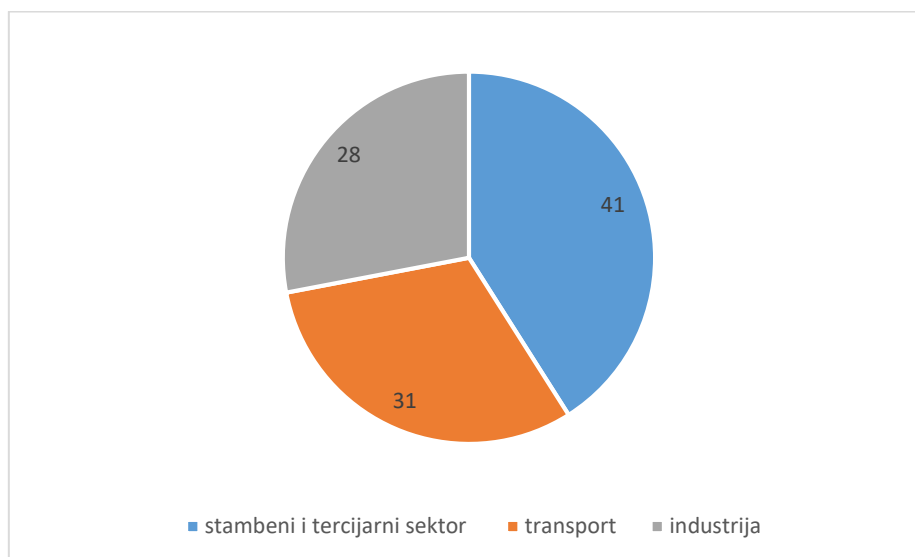
Direktiva o ekološkom dizajnu (2009/125/EC) iz 2009. godine [3] ističe da proizvodi koji koriste energiju imaju značajan potencijal za poboljšanje, kako bi se ostvarilo smanjenje emisija te uštede za poduzeća i krajnje korisnike. Opće načelo za proizvode je da moraju smanjiti korištenje energije na minimum, odnosno da potrošnju treba prilagoditi potrebama. Mnoge suvremene zgrade imaju zasebna kotlovska postrojenja u kojima se proizvodi potrebna toplinska energija ili ih se putem toplinskih podstanica (sklopa uređaja za cirkulaciju i regulaciju odavanja topline) opskrbljuje toplinskom energijom u okviru centraliziranog toplinskog sustava. Bez obzira o kojem od spomenuta dva sustava je riječ, svaka zgrada ima svoje cirkulacijske pumpe koje troše određenu energiju kada rade. Na ovome mjestu treba još spomenuti da se u zgradarstvu relativno često koristi sustav etažnog plinskog grijanja – ali to nije predmet razmatranja u ovome radu.

Zastarjele cirkulacijske pumpe rade na stalnom broju okretaja i to neovisno o broju stanova koji se u nekom trenutku griju, pa je potrošnja energije kod takvih pumpi u suprotnosti s Direktivom o ekološkom dizajnu (2009/125/EC). Međutim, mnogo je zgrada u Republici Hrvatskoj staro nekoliko desetaka godina i one uglavnom imaju zastarjele cirkulacijske pumpe koje bi trebalo zamijeniti pumpama s frekvencijskom regulacijom (koje imaju manju potrošnju električne energije jer svoj rad i potrošnju prilagođavaju broju stanova koji se stvarno grije). Potrebna toplina u nekoj zgradi značajno ovisi o vanjskoj temperaturi tijekom dana, sunčevom zračenju, broju stanova koji se griju, toplini koju emitiraju ljudi i mnogim drugim čimbenicima. Za razliku od klasične cirkulacijske pumpe koja bi u slučaju potrebe za smanjenom toplinom nastavila raditi na istom broju okretaja (čime bi došlo do porasta diferencijalnog tlaka i povećanja buke), pumpa s frekvencijskom regulacijom bi regulirala diferencijalni tlak čime bi smanjila protok, gubitke i potrošnju energije te smanjila buku uzrokovanu porastom diferencijalnog tlaka.

## 2. Energetska učinkovitost

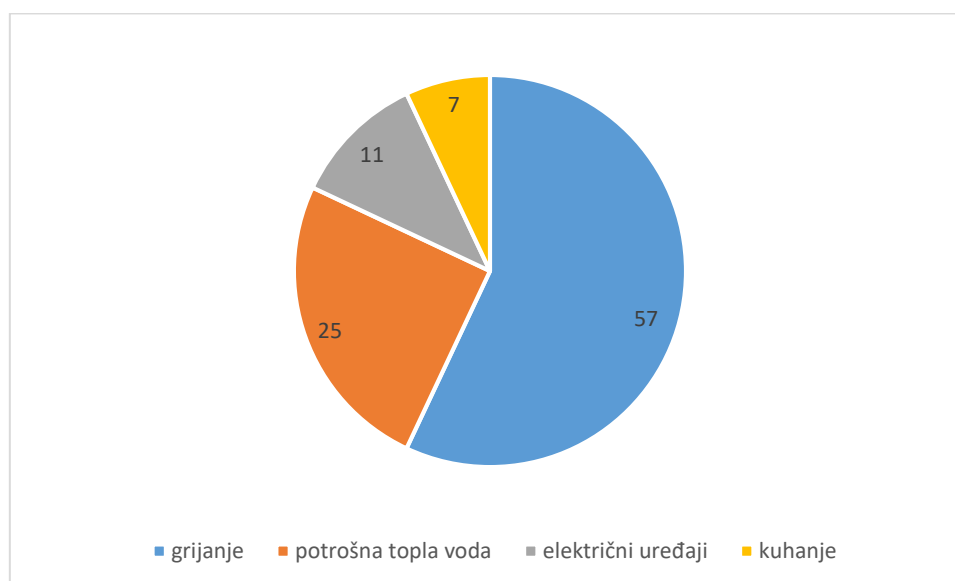
Europska unija troši jednu petinu energije proizvedene u svijetu, no siromašna je zalihama energenata te je energetske ovisna o drugim zemljama za što izdvaja preko 350 milijardi eura godišnje [4]. Prema akcijskom planu za energetske učinkovitost iz 2006. godine, Europa je trošila najmanje 20% više energije zbog energetske neučinkovitosti što bi rezultiralo većim troškovima i uvozom od 100 milijardi eura godišnje više do 2020. godine [5]. Stoga se postavljeni cilj za postizanje energetske učinkovitosti od 32,5% do 2030. godine čini opravdan. Ne samo da će se na taj način smanjiti ovisnost o uvozu energenata, nego će se smanjiti emisije stakleničkih plinova važnih za usporavanje klimatskih promjena i povećati zaposlenost u industriji vezanoj uz obnovljive izvore energije.

Struktura potrošnje energije po sektorima u Europskoj uniji (EU27) prikazana je na slici 1.



**Slika 1.** Struktura potrošnje energije po sektorima

Iz slike 1. je vidljivo da se najveći dio potrošnje energije odnosi na stambeni i tercijarni sektor. Nadalje, na slici 2. prikazana je struktura potrošnje energije u stambenim zgradama u EU. Vidljivo je da se najveći dio potrošnje energije odnosi na grijanje i pripremu potrošne tople vode.



**Slika 2.** Struktura potrošnje energije u stambenim zgradama u EU

U Hrvatskoj se 42,3% ukupne energije troši u zgradama, od čega se 62% energije troši na grijanje prostora, 15% na rasvjetu i električne uređaje, 12% na kuhanje i 11% na pripremu tople vode u kućanstvima. U Republici Hrvatskoj je trenutno 1,42 milijuna domaćinstava. Nacionalni program energetske učinkovitosti za razdoblje 2008. do 2016. [6] predvidio je kako upravo u tom fondu zgrada postoje najveći potencijali za energetske uštede. Najveći



dio građevina spada u najgore energetske razrede i troše više od 200 kWh/m<sup>2</sup> godišnje energije.

Jedan od razloga prekomjerne potrošnje u višestambenim zgradama je nemogućnost vlastitog mjerenja potrošnje pri čemu su se suvlasnici odlučili na uvođenje razdjelnika topline kako bi smanjili potrošnju. U mnoge zgrade uvedene su i druge mjere koje su vezane uz obnovu vanjske ovojnice zgrade. Brojni autori bavili su se potrošnjom energije u zgradama i mjerama ušteda u zgradama [7-8]. Stanari u zgradama u kojima su uvedene neke od mjera mogli su primijetiti veću buku i šumove prilikom grijanja. Šumovi i buka su rezultat rada cirkulacijskih pumpi koje su ostale u istom režimu rada pa je u slučaju manjih zahtjeva za toplinom došlo do povećanja diferencijalnog tlaka i stvaranja buke, jer je pumpa ostala raditi na istom broju okretaja. Te pumpe trebale su biti zamijenjene s pumpama koje se prilagođavaju potrebama za toplinom, a njihov rad i potrošnja ovisi o stvarnim potrebama – čime se postiže značajna energetska učinkovitost. Budući da su mnoge zgrade starije od 20 godina jasno je da su prilikom ugradnje sustava centralnog grijanja ugrađene upravo cirkulacijske pumpe. Međutim, visokoučinkovite pumpe s frekvencijskom regulacijom su proizvod koji se prilagođava potrebama za potrošnjom, što je opće načelo proizvoda Direktive o ekološkom dizajnu (2009/125/EC) iz 2009. godine.

Prilikom ugradnje razdjelnika uglavnom je izostala ugradnja pumpi s frekvencijskom regulacijom jer ponuditelji nisu htjeli da im ponuda bude skuplja. Stoga, pa stare cirkulacijske pumpe nisu zamijenjene. Štoviše, čak i u slučaju dotrajalih cirkulacijskih pumpi nastoji ih se popraviti, a ne zamijeniti s novim pumpama s frekvencijskom regulacijom. Iako u startu jeftinije rješenje to će uglavnom dugoročno biti neisplativo. Zamjenom pumpi su se uglavnom bavili opskrbljivači toplinskom energijom koji su uočili mogućnost smanjivanja troškova. Nekoliko primjera energetske ušteda kod elektromotornih pogona prikazano je u radu Jurišića [9]. Tvrtke ili pojedinci koji su ugradili pumpe s frekvencijskom regulacijom sukladno Pravilniku o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije [10] imaju pravo na priznavanje postignutih ušteda. Stranke obveznice ušteda, opskrbljivači energijom, koje su obveznici provođenja alternativnih mjera energetske učinkovitosti u ovom slučaju bi uz ostvarene uštede u proizvodnji energije bile oslobođene i plaćanja naknade za energetska učinkovitost, odnosno, ukoliko bi ostvarile veće uštede od donesenih Rješenjem, više ostvarene uštede bi mogle prodati na tržištu. Zamjena cirkulacijskih s pumpama s frekvencijskom regulacijom spadala bi ili pod 'cjelovitu rekonstrukciju toplinskih podstanica' čiji je vijek trajanja 20 godina ili pod 'energetski učinkoviti elektromotori i upravljanje brzinom' čiji je vijek trajanja 12 godina. U slučaju da se radi o zamjeni samo elektromotora (pumpi s frekvencijskom regulacijom), s obzirom na nedovoljno izraženu praksu mogli bi ih staviti pod mjeru čiji je vijek trajanja 12 godina.

### 3. Izračun i mjerenje ušteda na primjeru zamjene pumpi

Za primjer ušteda ostvarenih zamjenom pumpi koristila se pumpna stanica A. Hebrang blok VII - Sjever, koja se nalazi u sastavu toplinarskog sustava grada Slavonskog Broda. Deset starih pumpi nazivne snage 1,1 kW zamijenjene su sa deset novih pumpi s frekvencijskom regulacijom nazivne snage 0,81 kW. Zamjenom dotrajalih pumpi povećala se energetska

učinkovitost pumpne stanice te su ostvarene značajne uštede električne energije. Uštede ostvarene smanjenjem gubitaka prilikom cirkulacije ovdje se nisu računale. Prema Babiću [11] pumpe su u pogonu 17 sati dnevno tijekom cijele ogrjevne sezone koja započinje najranije 15. rujna, a traje najkasnije do 15. svibnja naredne godine. Kako stare pumpe nisu bile s frekvencijskom regulacijom njihova snaga je stalno jednaka nazivnoj snazi elektromotora dok su u pogonu. Na temelju usporedbe vrijednosti utrošene radne energije u višoj (VT) i nižoj (NT) dnevnoj tarifi, u vremenskom razdoblju od listopada 2017. godine do rujna 2018. godine za stare (cirkulacijske) pumpe i u razdoblju od listopada 2018. godine do rujna 2019. godine za nove pumpe s frekvencijskom regulacijom, izračunate su uštede energije u pogonu pumpi te su prikazane u tablicama 1. i 2. [11].

**Tablica 1.** Potrošnja električne energije starih cirkulacijskih pumpi

Potrošnja	lis.17	stu.17	pro.17	sij.18	vlj.18	ožu.18	tra.18	svi.18	lip.18	srp.18	kol.18	ruj.18	Ukupno
VT (kWh)	3471	4479	4448	4576	4133	0*	6743	464	485	441	453	332	30025
NT (kWh)	1258	1294	1373	1455	1356	0*	2464	329	349	314	326	231	10749

\*U ožujku 2018. nisu vršena mjerenja, već su u travnju očitana brojila i za ožujak i za travanj.

**Tablica 2.** Potrošnja električne energije novih pumpi s frekvencijskom regulacijom

Potrošnja	lis.18	stu.18	pro.18	sij.19	vlj.19	ožu.19	tra.19	svi.19	lip.19	srp.19	kol.19	ruj.19	Ukupno
VT (kWh)	1175	1599	1478	2027	1604	0*	2449	172	179	163	168	123	11137
NT (kWh)	689	762	628	1086	814	0*	1334	189	201	181	188	133	6205

\*U ožujku 2019. nisu vršena mjerenja, već su u travnju očitana brojila i za ožujak i za travanj.

Iz usporedbi potrošnji prikazanih u tablicama 1. i 2. vidljivo je da je došlo do značajnih ušteda u potrošnji električne energije i to značajnije u višoj tarifi gdje je potrošena energija smanjena za 18.888 kWh (kao rezultat zamjene starih cirkulacijskih pumpi s novim pumpama s frekvencijskom regulacijom), odnosno za 63%, dok je u području niže tarife potrošena energija smanjena za 4.544 kWh, odnosno za 42%.

Kako bi dobili financijske pokazatelje ulaganja u zamjenu starih cirkulacijskih novim pumpama s frekvencijskom regulacijom u obzir treba uzeti i troškove električne energije pri visokim i niskim tarifama, kao i investicijske troškove za kupnju i ugradnju pumpi. Budući da su pumpe u razmatranom slučaju zamijenili postojeći djelatnici toplinarske tvrtke u Slavonskom Brodu ovdje se taj trošak neće uzeti u obzir. Cijena jedne pumpe je iznosila 6.250 kn, a ukupan trošak nabave svih 10 pumpi iznosio je 62.500 kn. Nadalje, trošak za distribuciju električne energije i opskrbu električnom energijom u vrijeme visoke tarife iznosi 0,86 kn/kWh, dok taj trošak u vrijeme niske tarife iznosi 0,51 kn/kWh. Korištenjem tih pokazatelja dolazi se do slijedećih izračuna [1], [2], [3] i [4]:

- ušteda električne energije za visoku tarifu

$$U_{vt} = 18.888 * 0,86 = 16.244 \text{ kn}, \quad (1)$$

- ušteda električne energije za nisku tarifu

$$U_{nt} = 4.544 * 0,51 = 2.317 \text{ kn}, \quad (2)$$

- ukupna ušteda, iskazana na godišnjoj razini



$$U = 16.244 + 2.317 = 18.561 \text{ kn/god}, \quad (3)$$

- povrat uložene investicije

$$P = 62.500 / 18.561 = 3,37 \text{ godina}. \quad (4)$$

Dakle, jednostavnim se izračunom može utvrditi da je povrat uložene investicije za ugradnju pumpi s frekvencijskom regulacijom moguć u kratkom razdoblju, tj. tek nešto duljem od 3 godine. Međutim, ovdje nije uzeta u obzir naknada za alternativnu mjeru postizanja energetske učinkovitosti. Kada bi vlasnik kotlovske postrojenja verificirao uštede mogao bi prodati iste, ili bi mu se u slučaju obveze provođenja energetske uštede iste umanjile za ostvarene uštede. Iako je Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, temeljem odredbi članka 31. stavka 2. Zakona o energetske učinkovitosti („Narodne novine“ broj 127/14 i 116/18) [12] javno objavio da su troškovi ulaganja u alternativne mjere energetske učinkovitosti iznosile 2,19 kuna po uštedenom kWh energije za 2017. godinu, one su za 2019. godinu odlukom Vlade Republike Hrvatske prepolovljene i iznosile su 1,1 kn po uštedenom kWh energije. S obzirom da je vijek trajanja mjere 12 godina to bi značilo da bi se energetskom subjektu koji se bavi opskrbom toplinskom energijom i koji je obveznik provođenja takvih mjera priznala ušteda od [5]:

$$U_e = (18.888 + 4.544) * 12 = 281.184 \text{ kWh} \quad (5)$$

Ili bi ga se oslobodilo za iznos plaćanja naknade za obvezne energetske uštede u iznosu od [6]:

$$C = 281.184 * 1,1 = 309.302 \text{ kn} \quad (6)$$

Iz izračuna se može zaključiti da bi se uložena investicija vratila za manje od 3 mjeseca.

## 5. Zaključak

U radu je potvrđen utjecaj pumpi s frekvencijskom regulacijom na energetske učinkovitost i to sa stajališta ostvarene uštede uslijed smanjene potrošnje električne energije (koju pumpe troše u svom radu), što bi se u konačnici moglo odraziti i na krajnju cijenu toplinske energije kod krajnjih potrošača. Iz provedenog izračuna i mjerenja ušteda na primjeru zamjene 10 starih cirkulacijskih pumpi s novim pumpama s frekvencijskom regulacijom u pumpnoj stanici A. Hebrang blok VII – Sjever (koja se nalazi u sastavu toplinarskog sustava grada Slavenskog Broda) vidljivo je da se može uštedjeti 67% potrošnje električne energije. Kada bi se prilikom rada starih pumpi računali i gubici u cjevovodnom sustavu uštede bi bile još veće, što bi se moglo podrobnije istražiti u slijedećem radu. Ostvarene uštede energije pokazatelj su i ušteda u emisijama stakleničkih plinova, a iz tehno-ekonomske analize i usporedbe potrošnje starih cirkulacijskih i novih pumpi s frekvencijskom regulacijom proizlazi da je moguć povrat uložene investicije u roku od 3,37 godina (ne računajući naknade od alternativnih mjera ušteda).

## 6. Literatura

[1] EC (2016) Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, the Committee of the Regions and the European Investment Bank: Clean Energy For All Europeans. EC, Brussels, Belgium, COM(2016) 860 final.





- 
- [2] Direktiva 2012/27/EU, od 25. listopada 2012., o energetske učinkovitosti, izmjeni direktiva 2009/125/EZ i 2010/30/EU i stavljanju izvan snage direktiva 2004/8/EZ i 2006/32/EZ.
- [3] Direktiva 2009/125/EZ, od 21. listopada 2009., o uspostavi okvira za utvrđivanje zahtjeva za ekološki dizajn proizvoda koji koriste energiju .
- [4] Potočki, Lidija; Smolar, Dean; Tomšić, Željko. Sustav obveze energetske učinkovitosti na primjeru Republike Hrvatske. 12. Međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje / 12th International symposium: Power and Process Plants, Rovinj, 2016.
- [5] Strategija održivog korištenja energije Karlovačke županije, Karlovac, 2009
- [6] Nacionalni program energetske učinkovitosti 2008. - 2016., Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, rujan 2008
- [7] Zagorec, Mijo; Josipović, Dražen; Majer, Josip. Mjere uštede toplinske energije u zgradama // Građevinar 60 (2008) 5, 411-420.
- [8] Glavaš, Hrvoje; Stojkov, Marinko; Barić, Tomislav. Energetske učinkovitosti zgrada, 9. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, 2. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, Osijek, 2011
- [9] Jurišić, Goran. Energetska učinkovitost kod elektromotornih pogona, Elektroinženjerski simpozij - Nove tehnologije, Šibenik, 2013.
- [10] Pravilnik o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije, „Narodne novine“ broj 33/20.
- [11] Babić, Stipe Matej. Povećanje energetske učinkovitosti u toplinarstvu uvođenjem frekventnog upravljanja pumpama, Diplomski rad, Osijek, 2019
- [12] Zakon o energetske učinkovitosti, „Narodne novine“ broj 127/14, 116/18 i 25/20.



## Elektrane na biomasu u Hrvatskoj *Biomass power plants in Croatia*

M. Ivanović<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 radu se uvodno ukazuje na okvire klimatske, energetske i razvojne politike EU glede obnovljivih izvora - posebno biomase. Prikazuju se energetske i ekonomske prednosti elektrana na bio-masu te daje pregled izgrađenih elektrana na biomasu u Hrvatskoj - broj, instalirana snaga i proizvođnja električne energije - te njihov doprinos elektroenergetskoj opskrbi s osvrtom na slavonsko-baranjsku regiju. U zaključku se daje prijedlog za ubrzanu izgradnju elektrana na poljoprivrednu biomasu, a u prilogu je popis elektrana na području pet županija istočne Hrvatske.

**Ključne riječi:** Biomasa, Elektrane na biomasu, Emisije CO<sub>2</sub>, Obnovljivi izvori, Slavenska regija

### Abstract

The paper introduces the framework of the EU climate, energy and development policy regarding renewable sources - especially biomass. Energy and economic advantages of biomass power plants are presented and overview of built biomass power plants in Croatia (number, installed capacity and electricity production) and their contribution to electricity supply with review of the Slavonia-Baranja region. In conclusion proposal is made for accelerated construction of power plants on agricultural biomass. Attached is a list of power plants in the five counties of eastern Croatia.

**Key words:** Biomass, Biomass power plants, CO<sub>2</sub> emissions, Renewable sources, Slavonia region.

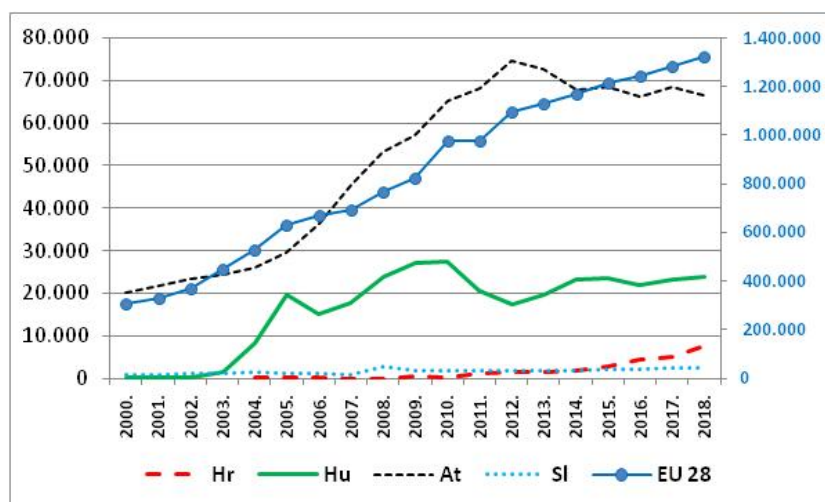
### 1. Obnovljivi izvori energije u konceptu kružne ekonomije

Razvojem civilizacije – naročito od kraja XX. stoljeća - rastu količine svih oblika otpada iz privrede, javnih službi te kućanstava. U isto vrijeme prikupljeno je više dokaza o klimatskim promjenama koje su prouzročene razvojem civilizacije; emisije CO<sub>2</sub> i drugih stakleničkih plinova (iz energetske transformacije te nastajanjem-odlaganjem otpada), ugrožavaju okoliš te utječu na promjenu klime. To su temeljni razlozi zbog kojih je Europska unija pokrenula niz mehanizama u svojim razvojnim politikama za smanjenje utjecaja čovjeka na klimu; tako je EU razradila i postavila standarde očuvanja okoliša koji su postali okvir

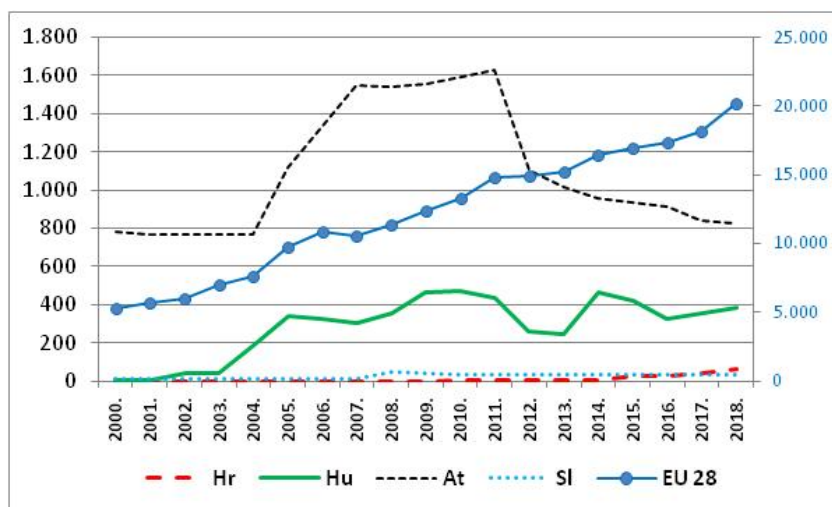
gospodar-skog razvoja i energetske politike [1]. EU Parlament je kao dio razvojne strategije 'Europa 2020.' [2] usvojio i dokument 'Resursno učinkovita Europa – Vodeća inicijativa strategije Europa 2020' [3]. Intencija ove inicijative je prelazak s postojećeg linearnog na kružno gos-podarstvo - ekonomski model koji osigurava održivo gospodarenje resursima i produljenje životnog vijeka materijala i proizvoda. Cilj je svesti nastajanje otpada na najmanju moguću mjeru, i to ne samo otpada koji nastaje u proizvodnim procesima, već sustavno svih materijalnih ljudskih proizvoda kao i svih njihovih komponenti.

### 1.1. Biomasa – obnovljiv izvor energije u konceptu kružne ekonomije

Biomasa kao obnovljiv izvor predstavlja značajnu alternativu u opskrbi energijom. U usporedbi s konvencionalnim i drugim obnovljivim izvorima energije, biomasa ima niz prednosti; ona u proizvodnje električne i toplinske energije ima velike ekološke i energetske prednosti koje treba uvažavati glede održivog razvoja i diverzifikacije opskrbe energijom. Isto tako treba ukazati da u tranzicijskim zemljama - s naglašenim demografskim problemima i emigracijom radno sposobnog stanovništva - korištenje ovih elektrana pridonosi uporabi lokalnih resursa i zapošljavanja lokalnih stanovnika te diže organizacijsku i tehnološku razinu u ruralnim područjima – što je važan doprinos smanjivanju depopulacije [4-10]. Uvažavajući prednosti biomase razvijenije zemlje članice EU – kao podrška mjerama za ublažavanje klimatskih promjena - povećavaju korištenje svih obnovljivih izvora energije pa tako i biomase. Korištenje biomase kao inputa za proizvodnju električne energije i topline konstatno raste u članicama EU 28 (sl.1). Isto tako rastu i instalirani kapaciteti na biomasu za proizvodnju električne energije (sl.2) te korištenje topline; vidi se snažan rast potrošnje biomase za grijanje u sektoru industrije i stanovanja te rast instaliranih toplinskih kapaciteta (sl.3). Uočava se da Republika Hrvatska u ovim procesima kasni u fazi, ali ipak - prati trendove.

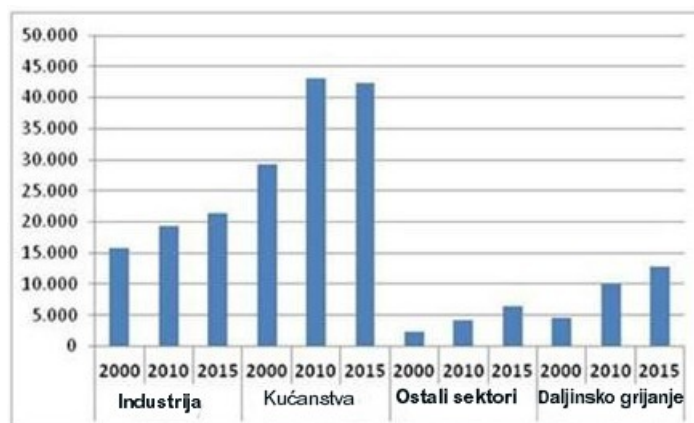


**Slika 1.** Korištenje čvrste biomase u energetske svrhe u EU-28, Austriji, Hrvatskoj, Mađarskoj i Sloveniji (TJ) [11]



**Slika 2.** Neto maksimalni kapaciteti na čvrstu biomasu za proizvodnju električne energije u EU-28, Austriji, Hrvatskoj, Mađarskoj i Sloveniji (MW) [11]

Kod čvrste biomase glavna sirovina trenutno dolazi iz šumskog sektora (procjenjuje se da pokriva 70% ukupne opskrbe biomase za energiju), a ostatak (30%) se podmiruje iz poljoprivredne biomase i čvrste biomase iz otpada [3].



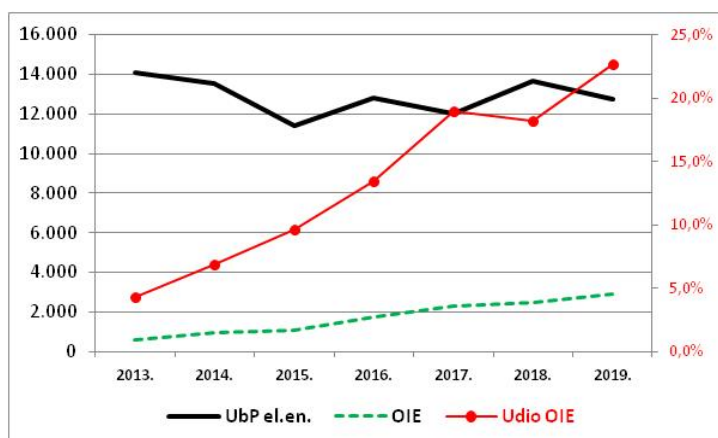
**Slika 3.** Uporaba biomase za toplinu i izvedenu toplinu u EU28 u razdoblju 2000.-2015. (ktoe) [13]

Za postizanje klimatskih i energetskih ciljeva do 2050. godine EU planira značajan rast korištenja poljoprivredne biomase te korištenje namjenskih energetskih nasada što znači i veći rast energetskih kapaciteta na biomasu u svim zemljama članicama. [13].

## 2. Elektrane na obnovljive izvore energije Republici Hrvatskoj

Uvjeti za isplativo korištenje obnovljivih izvora energije (OIE) i kogeneracije u Republici Hrvatskoj postoje od 2007. godine. Sustav poticajnih otkupnih cijena definiranih tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz OIE i kogeneracije omogućio je isplativost ovakvih investicija. Osim proizvodnje za vlastitu potrošnju važna je i mogućnost prodaje proizvedene električne energije u javnu mrežu - tim prije što je 35% OIE u proizvodnji električne energije do 2020. godine - jedan od strateških ciljeva energetske politike RH.

Republika Hrvatska je usvojila više dokumenata kojima se energetska politika prilagođavala EU okvirima te je izgrađen sustav poticanja proizvodnje električne energije iz OIE i kogeneracija koji je u primjeni od 1. srpnja 2007. godine. Od tada počinju aktivnosti na izgradnji OIE elektrana u Hrvatskoj; u tome je razdoblju (2007.-2019.) izgrađeno i pušteno u rad 1.347 postrojenja za proizvodnju električne energije iz OIE ukupne snage 877 MW (tab.1). Proizvodnja električne energije u OIE elektranama od 2013.do 2019. rasla je godišnjom stopom 29,9%, a ukupna proizvodnja el. energije u Hrvatskoj bilježi pad od -1,64%; tako je udio OIE u 2019. godine dostigao je 22,7% (sl.4).



**Slika 4.** Ukupna proizvodnja el. energije i proizvodnja u OIE elektranama u Hrvatskoj (GWh) [11], [15]

Prema broju postrojenja najviše su zastupljene sunčane i bioplinske elektrane, a prema instaliranoj snazi prednjače vjetroelektrane i kogeneracijske elektrane, koje su, isto tako, predvodnici u količini proizvedne električne energije. Treba ovdje ukazati da kogeneracijska postrojenja te elektrane na biomasu i biopljin imaju veću zastupljenost u proizvodnji električne energije u odnosu na udio u instaliranoj snazi (tab. 1 i sl. 5).

**Tablica 1.** Elektrane na OIE s kojima je HROTE sklopio ugovor o otkupu električne energije po Tarifnom sustavu, a čija su postrojenja u sustavu poticanja; elektrane na mreži - stanje 31. prosinca 2019.

	Broj postrojenja	Instalirana snaga (MW)	Udio u snazi	Proizvodnja el. energije (GWh)	Udio u proizvodnji
VE	22	575,8	65,6%	1.402	48,7%
Kgn	6	113,3	12,9%	550	19,1%
EBm	34	73,7	8,4%	432	15,0%
BpE	39	42,7	4,9%	337	11,7%
SE	1.230	53,4	6,1%	72	2,5%
GE	1	10	1,1%	65	2,2%
mHE	14	5,9	0,7%	24	0,8%
Eop	1	2,5	0,3%	77	0,003%
<b>Ukupno</b>	<b>1.347</b>	<b>877,4</b>	<b>100%</b>	<b>2.882</b>	<b>100%</b>

Izvor: [15]

Legenda

**VE** – vjetroelektrane

**Kgn** – kogeneracijske elektrane

**EBm** – elektrane na biomasu

**BpE** – bioplinske elektrane

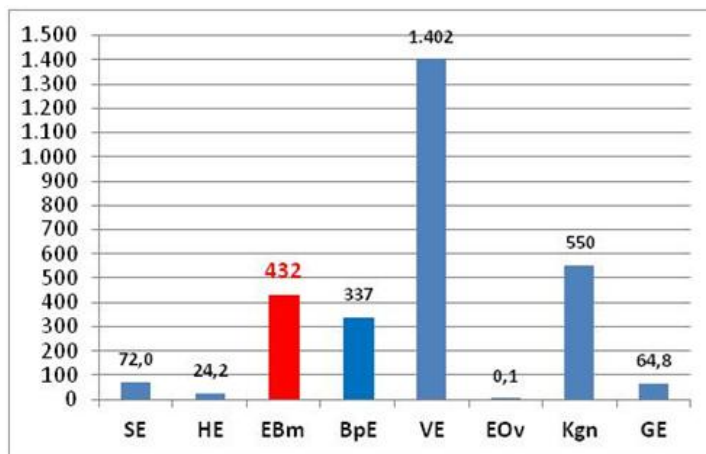
**SE** – sunčane elektrane

**GE** – geotermalne elektrane

**mHE** – male hidroelektrane

**Eov** – elektrane na plin iz

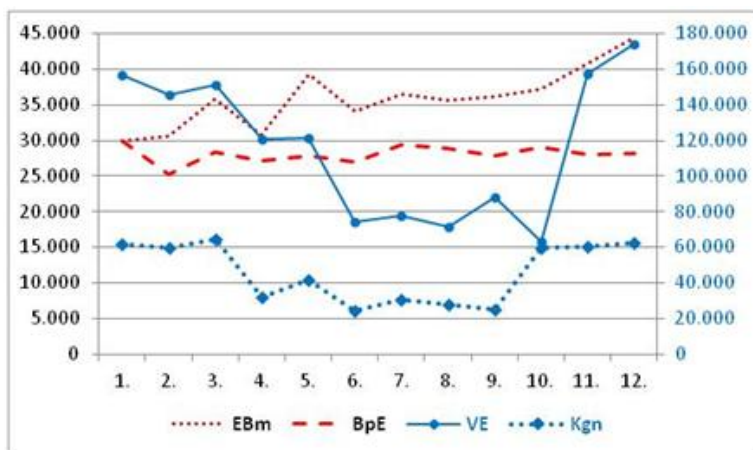
otpadnih voda



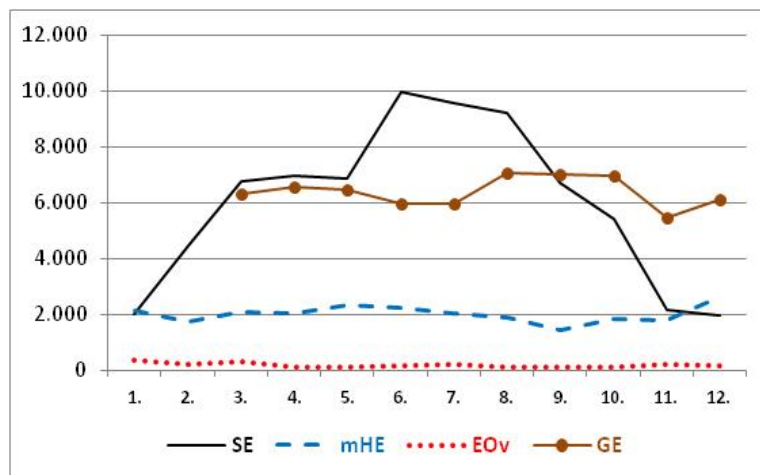
**Slika 5.** Proizvodnja električne energije OIE elektrana u 2019. u Republici Hrvatskoj (GWh) [15]

Ovdje treba ukazati i na činjenicu da elektrane na biomasu (kao i bioplinske elektrane) imaju uravnoteženu dnevnu, tjednu i mjesečnu proizvodnju - za razliku od sunčanih i vjetroelektrana, tj. bioplinske elektrane i elektrane na biomasu blagotvorno utječu na stabilnost opskrbe električnom energijom (sl. 6 i 7).



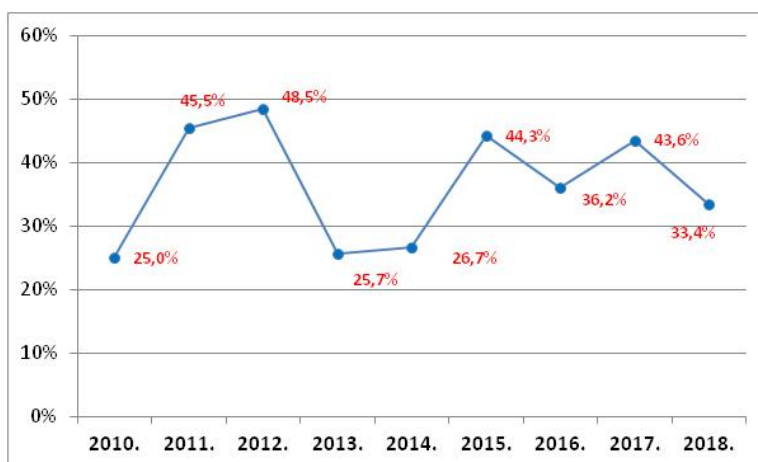


**Slika 6.** Proizvedena električna energija po tehnologijama OIE u 2019. godini - po mjesecima (MWh) [15]



**Slika 7.** Proizvedena električna energija po tehnologijama OIE) u 2019. godini - po mjesecima (MWh) [15]

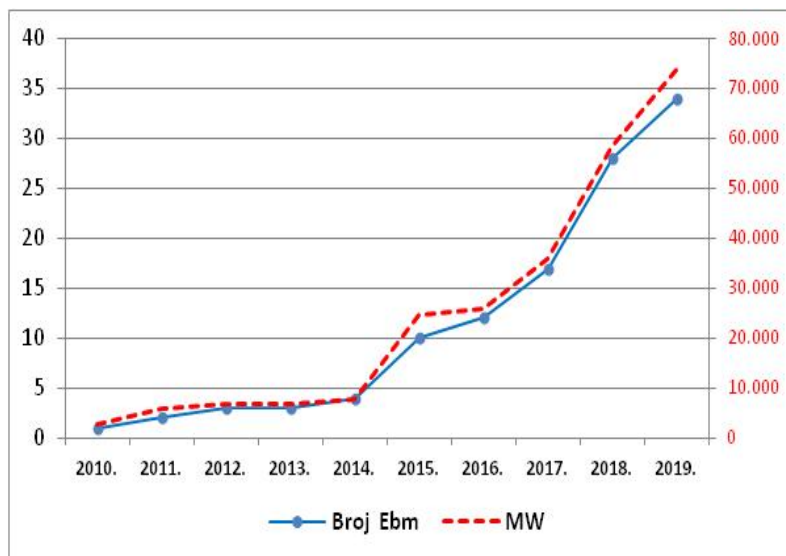
Važan element u našim razmatranjima je i uvoz električne energije u Hrvatsku – koji se u posljednjih deset godina kreće od 25 do 50 posto od finalne potrošnje električne energije (sl. 8) – što ukazuje na važno pitanje sigurnosti opskrbe, odnosno pitanje nacionalne energetske neovisnosti koje postaje sve važnije krajem drugog desetljeća XXI. stoljeća.



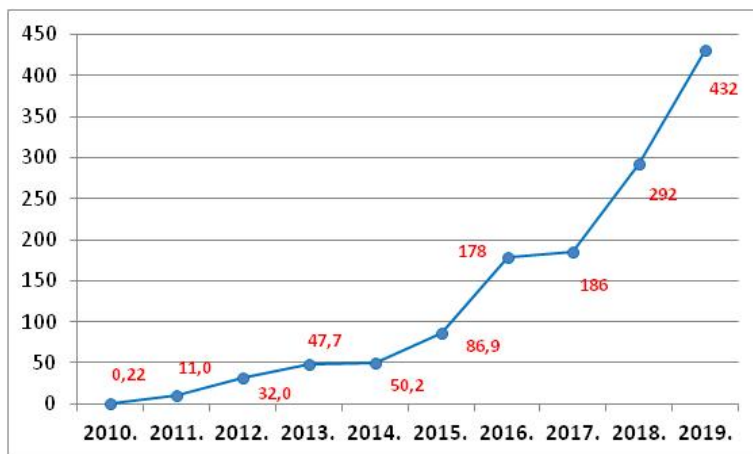
**Slika 8.** Uvoz električne energije u Hrvatsku (postotak od finalne potrošnje) [16]

### 3. Elektrane na biomasu u Republici Hrvatskoj

Tijekom razdoblja 2013.-2019. elektrane na biomasu u Republici Hrvatskoj ostvarile su vrlo visoke stope rasta: broj elektrana = 49,9; instalirana snaga = 49,2 i proizvodnja električne energije = 44,3 (sl.9 i sl. 10).



**Slika 9.** Broj elektrana na biomasu i njihova instalirana snaga u Hrvatskoj [15]



**Slika 10.** Proizvedena el. energija u elektranama na biomasu u Hrvatskoj (GWh) [15]

Ukazali smo u našim ranijim razmatranjima [4-10] na važnost elektrana na biomasu - na njihove važne ekološke, energetske i ekonomske prednosti; prve su dvije skupine prednosti kvantificirane, a ekonomske su prednosti navedene samo kao logičke tvrdnje – bez kvantifikacija – iako se ovdje, ekonomskim terminima rečeno, radi o multiplikatorima vrijednosti u poslovnim aktivnostima. No, zahvaljujući studiji „Integralna analiza dosadašnjih učinaka razvoja i izgradnje obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj u razdoblju od 2007. do 2016. godine“ - koju su izradili Energetski institut „Hrvoje Požar“ i Ekonomski institut Zagreb za naručitelje HOPS d.o.o. (Hrvatski operator prijenosnog sustava) d.o.o. i HROTE d.o.o. (Hrvatski operator tržišta energije) [17]. – možemo, kao potvrdu naših razmatranja, izdvojiti naglaske iz ove studije – temeljem podataka za razdoblje 2007.-2016.;

- Iznosom i strukturom kapitalni investicijski troškovi (CAPEX) i operativni troškovi (OPEX - troškovi rada i održavanja postrojenja bez amortizacije) variraju po OIE tehnologijama i uvjetovani su tehničkim karakteristikama proizvodnog procesa. Kod postrojenja na biomasu kapitalni investicijski troškovi kreću se u rasponu od 3,1 do 6.8 mil. €/MW instalirane snage, pri čemu je prosječan investicijski trošak, na uzorku od 10 RH postrojenja, na razini od 4.9 mil. €/MW.

- U strukturi ukupnog investicijskog troška kod postrojenja na biomasu najveći dio (73%) otpada na troškove opreme, njenog transporta, montaže i puštanja u pogon, a građevinski radovi na postrojenju i priključnoj infrastrukturi imaju udjel od 20% (kumulativno) u ukupnoj investiciji.

- Najviši specifični OPEX (€/kW) bilježe postrojenja na biomasu (i bioplinska postrojenja) - jer ovise o sirovini, a najniži OPEX ostvaruju fotonaponska postrojenja. U strukturi operativnih troškova postrojenja na biomasu najveći udio (51%) imaju troškovi sirovina, tehnički troškovi pogona i održavanja iznose 15%, a značajan udio (u odnosu na ostale OIE tehnologije) imaju i troškovi rada (15%) obzirom na visoku radnu intenzivnost proizvodnog procesa i veći broj zaposlenih.

- Kod investicija najveći multiplikator bruto dodane vrijednosti (BDV) tipa I detektiran je za elektrane na bioplin (1,88) i biomasu (1,82), a najmanji za vjetroelektranama (1,72). To znači



da se (kod investicija u postrojenja na biomasu) na 1€ BDV koju ostvari izravan dobavljač investicijske opreme - u ukupnom gospodarstvu ostvari još dodatnih 0,82 €BDV kod jedinica uključenih u proizvodni lanac izravnih isporučitelja investicijske opreme. Najveći multiplikator BDV tipa II pripisuje se elektranama na bioplin (2,80) i biomasu (2,74), a najmanji vjetroelektranama (2,65).

- Multiplikatori u kanalu intermedijarne potrošnje odražavaju intenzitet povezanosti proizvodnih procesa energetskih postrojenja tijekom redovnog operativnog rada i ostalih domaćih proizvođača. Postrojenja na bioplin i biomasu u redovnom radu koriste sirovine koji isporučuju lokalni proizvođači te su njihovi multiplikativni učinci visoki. Kod intermedijarne potrošnje, elektrane na biomasu imaju najveći multiplikator BDV tipa I (4,56) i najveći multiplikator BDV tipa II (6,33), a najmanji kod sunčanih elektrana - BDV tipa I (1,02) i BDV tipa II (1,03).

- Kod izravnih, neizravnih i induciranih učinaka u terminima bruto domaćeg proizvoda i broja zaposlenih na 1 mil. € ukupnih investicija najveći ukupni učinak na BDP od 674.000 € (na ukupnu vrijednost investicije od 1 mi. €) ostvarile su elektrane na bioplin i biomasu (595,1000 €) . Ulaganja u ove dvije vrste postrojenja imaju gotovo 2 puta veći učinak na BDP u usporedbi s ulaganjima u vjetroelektrane.

- Ukupni učinci na bruto domaći proizvod na 1 mil. € vrijednosti proizvodnje putem kanala intermedijarne potrošnje većeg su intenziteta nego ukupni učinci ostvareni putem kanala investicija. Izravan učinak na BDV u postrojenjima na biomasu i bioplin je nizak (zbog troškova sirovina), ali su njihove međusektorske veze s ostatkom gospodarstva (primarno poljoprivredno-prehrambenom industrijom) relativno intenzivne, te se ostvaruju razmjerno značajni neizravni i inducirani učinci.

- Putem kanala intermedijarne potrošnje na 1 mil € vrijednosti proizvodnje najveći broj zaposlenih u terminima godišnjeg inputa rada (ukupni učinci) ostvarile su elektrane na biomasu (62,7) i bioplin (49,1), a značajno manje sunčane elektrane (0,7), male HE (9,8) i vjetroelektrane (10,7).

Navedeni rezultati, dakle, ističu vrlo veliku prednost investiranja u elektrane na biomasu – što uz energetske i ekološke prednosti – daje nesumnjiv napatuk za budući smjer energetskog razvoja u Hrvatskoj.

### 3.1. Elektrane na biomasu na području Slavonije i Baranje

Prvu elektranu na biomasu u Hrvatskoj izgradilo je 2010. godine poduzeće „Strizivojna hrast“ d.o.o. u Strizivojni (nedaleko Đakova). Kogeneracijsko postrojenje od 3,3 MW<sub>el</sub> i 15 MW toplinske snage (sl.11) - na bazi izgaranja drvne biomase - proizvodi toplinsku energiju za tehnološke potrebe proizvodnih pogona te električnu energiju – koju, također, koriste proizvodni pogoni tvrtke, a višak (oko 30% isporučuje se (prodaje) u elektroenergetski sustav RH. [19-20]

Od ukupno 34 elektrana na biomasu u Hrvatskoj 17 je izgrađeno na području Slavonije i Baranje: u Brodskoj županiji (2), Osječkoj (7), Požeškoj (1), Virovitičkoj (3) i Vukovarskoj županiji (4) – ukupnu snage 43.164 kW<sub>el</sub> i 114.875 kW toplinske snage (tab. 3 i sl. 12). U

tablici 4 daje se pregled izgrađenih postrojenja na biomasu na području slavonsko-baranjske regije.

**Tablica 3.** Elektrane na biomasu u funkciji na području Slavonije i Baranje  
- stanje 31. prosinca 2019.

Županija	Broj postrojenja	Instalirana snaga (kW <sub>el</sub> )	Toplinska snaga (kW)
Brodsko-posavska	2	6.660	15.000
Osječko-baranjska	7	12.159	38.544
Požeško-slavonska	1	1.525	8.000
Virovitičko-podravska	3	8.495	25.755
Vukovarsko-srijemska	4	14.325	27.576
<b>Ukupno</b>	<b>17</b>	<b>43.164</b>	<b>114.875</b>

Izvor: [15]



**Slika 12.** Lokacije elektrana na biomasu na području pet županija Slavonije i Baranje

## 5. Zaključne napomene

Ova su razmatranja ukazala da je Europska unija u protekla dva desetljeća usvojila niz dokumenata te provodila razvojnu politiku koja utječe na smanjenje negativnih ekoloških procesa na planetu - po kojim rezultatima EU prednjači u svijetu. Jedna od bitnih mjera EU je i uvođenje modela kružne ekonomije.

U ovom je radu ukazano na prednosti korištenja biomase kao obnovljivog izvora energije koja - u usporedbi s konvencionalnim i drugim obnovljivim izvorima energije - ima niz prednosti glede ekološki održivog razvoja i energetske učinkovitosti. Biomasa se u svim zemljama članicama EU sve više koristi za:

- proizvodnju električne energije i topline u elektranama na biomasu,
- ekološko zbrinjavanje komunalnog otpada.



Isto tako - ukazano je na i multiplikativne ekonomske učinke korištenja biomase glede:

- smanjivanja uvoza električne energije te jačanja nacionalne energetske neovisnosti,
- zapošljavanja u izgradnji i korištenju bioplinskih postrojenja,
- direktnog i indirektnog stvaranja bruto dodane vrijednosti u nacionalnoj privredi,
- dizanja organizacijske i tehnološke razine poslovnih aktivnosti u ruralnim područjima.

Navedene prednosti korištenja biomase u energetskej opskrbi rezultirale su visokim stopama rasta proizvodnje i potrošnje biomase u svim zemljama članicama EU – pa tako i u Republici Hrvatskoj.

- Broj elektrana na biomasu, njihova instalirana snaga te proizvodnja u Hrvatskoj su u rastu od 2010. do 2019. godine visokom prosječnom godišnjom stopom od preko 44%,
- Od ukupno 34 elektrane na biomasu u Hrvatskoj njih 17 je izgrađeno na području Slavonije i Baranje.

U cilju realizacije EU postavki glede klimatskih promjena te radi smanjivanja uvoza električne energije u Hrvatsku potrebno je ubrzati izgradnju novih elektrana na biomasu u RH, a posebnu pozornost (i stimulacije) bi trebale dobiti elektrane na poljoprivrednu biomasu. S tog naslova ovaj autor i osječki hink tank „Panon“ predstavljau ideju o pokretanju makro projekta „Pedeset elektrana na biomasu u Slavoniji i Baranji do 2027.“ – čijom bi se realizacijom, pored doprinosa klimatskom uravnoteženju te smanjivanju uvoza električne energije, simultano pridonijelo gospodarskom razvoju slavonske regije (i RH) te usporavanju (zaustavljanju) procesa depopulacije u ruralnim područjima.

**Tablica 4.** Energetska postrojenja na biomasu na području slavonsko-baranjske regije

Rb	Naziv objekta	Pogon od god.	kWel	Q (kW)*	Mjesto	Županija
1.	Strizivojna hrast d.o.o. Kogeneracijsko postrojenje na bazi izgaranja drvene biomase "Strizivojna Hrast"	2010.	3.300	15.000	31410 Strizivojna	OBŽ
2.	Slavonija OIE d.o.o. – Slavonski Brod Kogeneracijsko postrojenje na bazi izgaranja drvene biomase Slavonija OIE	2015.	4.660	10.000	35000 Slavonski Brod	BPŽ
3.	UNI Viridas d.o.o. - Babina Greda Kogeneracijsko postrojenje na biomasu Viridas biomass	2015.	8.600	16.000	32276 Babina Greda	VSŽ
4.	Spin Valis Internacional d.o.o. Projekt Spin Valis 1525 kWe	2015.	1.525	8.000	34000 Požega	PSŽ
5.	Astek 15 d.o.o. - Osijek Elektrana na biomasu MARINA - Nijemci	2016.	300	576	32245 Nijemci	VSŽ
6.	Sense ESCO Belišće d.o.o. Plinifikacijsko kogeneracijsko postrojenje na biomasu Belišće 1	2016.	1.070	1.637	31551 Belišće	OBŽ
7.	SAVA d.o.o. Stara Gradiška Izgradnja kogeneracijskog postrojenja na bazi izgaranja drvene bio mase	2017.	2.000	5.000	35435 Stara Gradiška	BPŽ
8.	BIO SNAGA d.o.o. - Darda Kogeneracija na drvnu biomasu Darda 1	2017.	495	952	31326 Darda	OBŽ





9.	HEP proizvodnja d.o.o. Kogeneracijska elektrana na biomasu BE-TO Osijek	2018.	3.000	10.000	31000 Osijek	OBŽ
10.	SOLITUDO d.o.o. - Valpovo Kogeneracija Nard	2018.	499	3.000	31550 Nard	OBŽ
11.	Đakovo Hrast d.o.o. Đakovo kogeneracijskog postrojenja na bazi izgaranja drvene biomase - Đakovo	2018.	3.300	7.200	31400 Đakovo	OBŽ
12.	Brana d.o.o. - Virovitica Kogeneracija na drvenu biomasu Elektrana Brana	2018.	495	755	33000 Virovitica	OBŽ
13.	Energija Voćin d.o.o. - Voćin Kogeneracija na drvenu biomasu Energija Voćin	2018.	495	755	33522 Voćin	VPŽ
14.	Energy 9 d.o.o. – Slatina Kogeneracijska elektrana na šumsku biomasu Energy 9 – Slatina	2018.	5.000	13.000	33520 Slatina	VPŽ
15.	ENNA Biomasa d.o.o. – Vukovar ENNA Biomasa Vukovar;	2019.	495	1.000	32000 Vukovar	VSŽ
16.	Biomass to Energy Županja d.o.o. - Županja Kogeneracijsko postrojenje Županja	2019.	4.930	10.000	32270 Županja	VSŽ
17.	A&A Bioenergij Viro d.o.o. - Darda Kogeneracija na biomasu Virovitica	2019.	3.000	12.000	33000 Virovitica	VPŽ
Ukupno 17.			43.164	114.875		

Izvor: [15]

## 6. Literatura

- [1] Glavaš, Hrvoje, Ivanović, Milan. Obnovljivi izvori energije - primarni mehanizam energetske politike Europske unije; XXXV. Međunarodno savetovanje Energetika 2020: 24-27. jun 2020. Zlatibor / glavni i odgovorni urednik Nikola Rajaković. Beograd: Savez energetičara (ISBN 978-86-86199-02-7) s. 576-581
- [2] EC. Europa 2020:europska strategija rasta (<http://ec.europa.eu/europe2020>) pristup. 27.7.2020.
- [3] EC. A Resource Efficient Europe (COM(2011)0571) (Pristup. 27.7.2020.) (<https://www.eea.europa.eu/policy-documents/a-resource-efficient-europe-flagship>)
- [4] Ivanović, Milan. Znanost i regionalna energetika - istraživanja o razvoju energetike i korištenju energije u Slavoniji: Elektrotehnički fakultet Osijek , 2006.( ISBN 953-6032-502-3)
- [5] Ivanović, Milan. Renewable Energy Sources in Eastern Croatia - Potentials and the Use: EU Intelligent Energy, European Forum on RES; Cavtat, Proceedings, pp 475-486
- [6] Ivanović, Milan; Hrvoje. Glavaš Zlatko Tonković. Korištenje obnovljivih izvora energije i plinski konzum u regiji Slavonija i Baranja: 11. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, Osijek, 25. do 27. rujna 2013.; Strojarski fakultet Slavonsko Brod, Proceedings, pp 131-139



- [7] Glavaš, Hrvoje, Ivanović, Milan; Niko Mandić Resources and Possibilities of Agro Biomass Usage for Energy Purposes in Slavonia region (Croatia), ENERGYCON 2014; IEEE , Dubrovnik, Croatia 13-16 May, 2014; Proceedings pp 4.1 – 6
- [8] Ivanović, Milan, Glavaš, Hrvoje. Green Electricity Production in EU-28, Croatia, Germany, Hungary and Serbia , 32nd International Conference „Science in Practice“, Osijek, October 15 –17, 2014; Elektro-tehnički fakultet Osijek; Proceedings pp 4.1 – 4.13
- [9] Ivanović, Milan. Utemeljenje regionalne energetske politike u korištenju obnovljivih izvora u Slavoniji:24. Znanstveno stručni skup Organizacija i tehnologija održavanja - OTO '2015.; Donji Miholjac, 17. 4. 2015. ISBN 978-953-793-07-0, Zbornik, Alberta naklada, Osijek, str. 15-24
- [10] Ivanović, Milan Glavaš, Hrvoje; Vukobratović, Marko. Bioplinske elektrane u Slavoniji i Baranji 15. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, Osijek, 27.-29.09.2017. Zbornik radova, str. 143-253
- [11] <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database> (pristup. 27.7.2020.)
- [12] Policy Brief: Bioelectricity, Bioenergy Europe Statistical Report 2020 <https://bioenergyeurope.org/article.html/241> (pristup. 27.7.2020.)
- [13] <http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2017/10/final-aebiom-2017-statistical-report.pdf> (pristup. 2.2.2020.)
- [14] Ministarstvo gospodarstva . Nacionalni akcijski plan za obnovljive izvore energije do 2020. godine, Zagreb, 2013.  
([https://mzoe.gov.hr/UserDocImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/Nacionalni\\_akcijski\\_plan\\_za\\_obnovljive%20izvore%20energije%20do\\_2020%20godine.pdf](https://mzoe.gov.hr/UserDocImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije,%20planovi%20i%20programi/Nacionalni_akcijski_plan_za_obnovljive%20izvore%20energije%20do_2020%20godine.pdf)) (pristup 7.7.2020.)
- [15] HROTE (<http://www.hrote.hr/>) (pristup 27.7.2020.)
- [16] Državni zavod za statistiku. SLJH 2014. i SLJH 2018.
- [17] EI „Hrvoje Požar“ i Ekonomski institut Zagreb. Integralna analiza dosadašnjih učinaka razvoja i izgrad-nje obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj u razdoblju od 2007. do 2016. Zagreb, 2018.  
[https://www.hops.hr/page-file/CwqtWjjSgKlf9Qfz07pFB5/ostale-publikacije/Analiza\\_OIE\\_Final.pdf](https://www.hops.hr/page-file/CwqtWjjSgKlf9Qfz07pFB5/ostale-publikacije/Analiza_OIE_Final.pdf)
- [18] <https://www.strizivojna-hrast.hr/> (pristup. 27.7.2020.)
- [19] Medarac, Hrvoje ; Plevnik, Stanko; Popović, Radivoj; Tabain, Gordana. Hrast Strizivojna - najnapredniji projekt kogeneracije na biomasu u Hrvatskoj, EGE 5/2009.
- [20] Čurić, Josip. Pogon elektrane na biomasu „Hrast d.o.o.“, Završni rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija – Osijek, Osijek, 2016.



# Korištenje neuronskih mreža za analizu energetske učinkovitosti zgrada

## *Use of Neural Network for Energy Efficiency of Buildings*

T. Šarić<sup>1\*</sup>, G. Šimunović<sup>1</sup>, M. Stojkov<sup>1</sup>, D. Šarić<sup>2</sup>, S. Havrlišan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska

<sup>2</sup>Arhitektonski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska

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

### Sažetak

Energetska učinkovitost promatra se kao suma planiranih i izvedenih aktivnosti na analiziranoj zgradi a koja za cilj ima minimalizaciju utroška energije uz zadovoljenje i očuvanje svih potrebitih značajki udobnosti rada i življenja (grijanje, hlađenje, ventiliranje prostora i slično). U radu se daje prikaz analize energetske učinkovitosti korištenjem neuronskih mreža za analize potrošnje energenata u cilju grijanja i hlađenja zgrada. Za eksperimentalni dio rada korišten je algoritam neuronske mreže širenja unazad (eng. *Back Propagation Neural network*). Podatkovna baza za eksperimentalni rad čini skup od 768 analiziranih zgrada s odabranim atributima koje čine model. Za eksperimentalni dio rada oblikovane su dvije neuronske mreže za predikciju te nakon provedenog učenja ostvareni su rezultati po svakoj izlaznoj varijabli sa srednjom kvadratnom greškom (RMS) od 1,51 % i 3,55 %.

**Ključne riječi:** Neuronske mreže, Energetska učinkovitost, Održavanje

### Abstract

Energy efficiency is observed as the sum of planned and performed activities on the analyzed building. It aims to minimize energy consumption while meeting and preserving all the necessary features of comfort of work and living (heating, cooling, ventilation, etc.). The paper presents an energy efficiency analysis using neural networks for energy consumption analysis of heating and cooling the buildings. The Back Propagation Neural network algorithm was used for the experimental part of the paper. The database for the experimental work consists of a set of 768 analyzed buildings with selected attributes that make up the model. For the experimental part of the work, two neural networks for prediction were formed, and after the conducted learning, results were achieved for each output variable with mean square error (RMS) of 1.51% and 3.55%.

**Key words:** Neural networks, Energy efficiency, Maintenance.



## 1. Uvod

Današnje vrijeme, u kojemu je racionalno korištenje energije prioritet, prelazak na ekološki prihvatljive izvore energije te se kao imperativ nameće i energetska učinkovitost. Pojmom energetska učinkovitost može se definirati kao suma različitih mjera (planiranih i izvedenih) koje bi trebale kao rezultat dati minimalizaciju utroška energije uz održavanje iste razine proizvodnog ciklusa te udobnosti. Obično se kod određenog broja ljudi ovaj pojam usvaja i kao ušteda energije. Ona se obično poistovjećuje sa razinom redukcije korištene energije. Ovakvo usvajanje pojma je pogrešno. Fokusirajući se na objekte u kojima ljudi žive, može se reći da se stambeni fond sadržava obiteljske kuće i stambene zgrade. Kako do kraja osamdesetih godina fokus nije bio na racionalnoj potrošnji energije, procijenjeno je da ovakvi objekti utroše oko cca. 65 % energije za potrebe grijanja, hlađenja te pripremu sanitarne tople vode. Zgrade su najveći pojedinačni potrošači energije [1]. Zgrade obično imaju relativno dug životni vijek, a potrošnja energije uvjetuje i stupanj zagađenja okoliša. Kako se obično upravljanje i izgradnja zgrada prati kao ekonomski proces, tako je ekološki proces obično bio sekundaran. Zgrade se u arhitektonskom i prostornom motrištu moraju svakako promatrati i kroz socijalne, kulturne i ekološke značajke. Europska unija (EU) je 2007. godine postavila cilj da se do 2020. godine smanji potrošnja energije za 20 %. EU definirala je sljedeće: 20 % manje stakleničkih plinova u odnosu na 1990. godinu, 20 % udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj energetske potrošnji te 20 % manje potrošnje energije. Potrošnja energije u objektima je u funkciji značajki objekta, karakteristikama energetske sustava, klimatizaciji, rasvjeti i slično. Ona je u direktnoj korelaciji sa klimatološkim značajkama u kojima se objekt nalazi. Potrošnje energije u objektima analizira se kroz neke od sljedećih vrijednosti: toplinski gubitci i dobitci, koeficijent prolaska topline, emisija CO<sub>2</sub> i drugi.

U Republici Hrvatskoj, provođenjem energetske učinkovitosti i mjera koje se planiraju i provode, očekuje se smanjenje potrošnje energije za grijanje i hlađenje obnovljenih zgrada za 70 % čime bi se postigla ušteda na godišnjoj razini od oko 40 GWh [1]. Planirane uštede u RH provode se, između ostalog i provedbom programa energetske obnove stambenih zgrada koji uključuje i energetske preglede, energetske certificiranje, izradu projektne dokumentacije, sklapanje ugovora o energetske učinku te financiranje. Financiranje podržava ulaganje u različite aktivnosti kao što su: zamjena starih prozora - stolarije novim, postavljanje termičke izolacije, ugradnja novih ili rekonstrukcija postojećih sustava za grijanje odnosno hlađenje, uvođenje razdjelnika topline, ugradnja toplinskih pumpi i drugo.

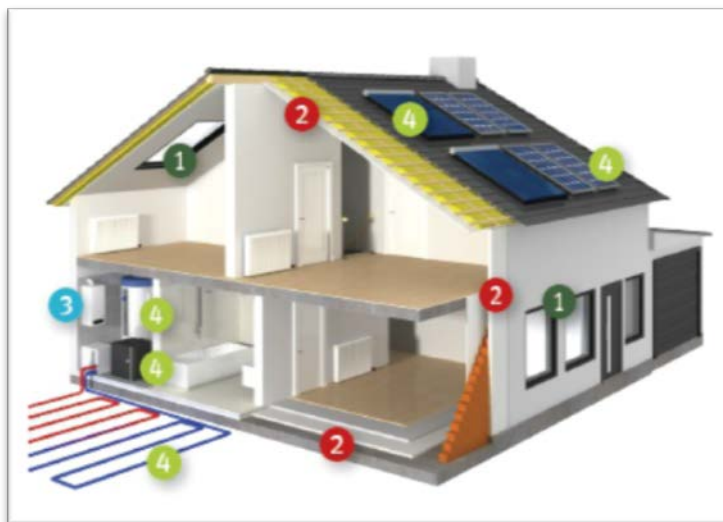
## 2. Certifikat energetske učinkovitosti

Energetski pregled zgrade obavlja se sa ciljem utvrđivanja trenutnog stanja objekta i raspoloživim mogućnostima za smanjenje potrošnje energije. Energetski pregled provodi osoba ovlaštena od Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja, a kao rezultat izdaje se energetski certifikat. Energetski certifikat (Slika 1.) prikazuje vlasniku ili korisniku objekta značajke zgrade. U certifikatu je navedena prosječna potrošnja energije u objektu te pripadni energetski razred (A+; A; B; C; D; E; F i G). Najučinkovitiji su objekti s energetske razredom A+, a objekti koji su najmanje učinkoviti nalaze se u razredu G. Sadašnji propisi u gradnji (RH) definiraju da novi objekti trebaju imati minimalno energetski razred C, dok je većina

objekata koji su građeni prije 1990. godine energetske razreda E [1]. Potrebni podaci za ispunjavanje energetske certifikata prikazani su na Slici 1.

Energetski certifikat za stambene zgrade	
<b>Zgrada</b> <input type="checkbox"/> nova <input type="checkbox"/> postojeća Vrsta zgrade K.č. i lo. Adresa Mjesto Vlasnik / investitor Broj lok. Godina zgradnje	
Prilozi:	
Izračun	
$Q_{H,nd,ref}$	$KWh/(m^2 \cdot a)$
A+	≤ 15
A	≤ 25
B	≤ 50
C	≤ 100
D	≤ 150
E	≤ 200
F	≤ 250
G	> 250
Podaci o osobi koja je izdala energetski certifikat	
Ovlaštena fizička osoba Ovlaštena pravna osoba Imenovana osoba Registrirani broj ovlaštene osobe Broj energetske certifikata Datum i dolaznjak važenja Potpis	
Podaci o zgradi	
$A_v$ (m <sup>2</sup> ) $V_v$ (m <sup>3</sup> ) $T_v$ (K) $H_{v,nd}$ (Wh/m <sup>2</sup> ·K)	

Slika 1. Energetski certifikat



Slika 2. Prikaz objekta s mogućim provedbama subvencije [1]

U certifikatu su dane i smjernice za povećanje energetske učinkovitosti koje mogu pomoći pri planiranju budućih investicija u energetske obnovu objekta. Na slici 2. prikazana je jedna od mogućih investicija u energetske obnovu uz provedbu subvencioniranja, a koja obuhvaća:

1. Zamjenu vanjske stolarije (prozori, vrata),
2. Ugradnju izolacije na grijane prostorije,
3. Ugradnja kondenzacijskog plinskog kotla,
4. Ugradnja obnovljivih izvora energije.

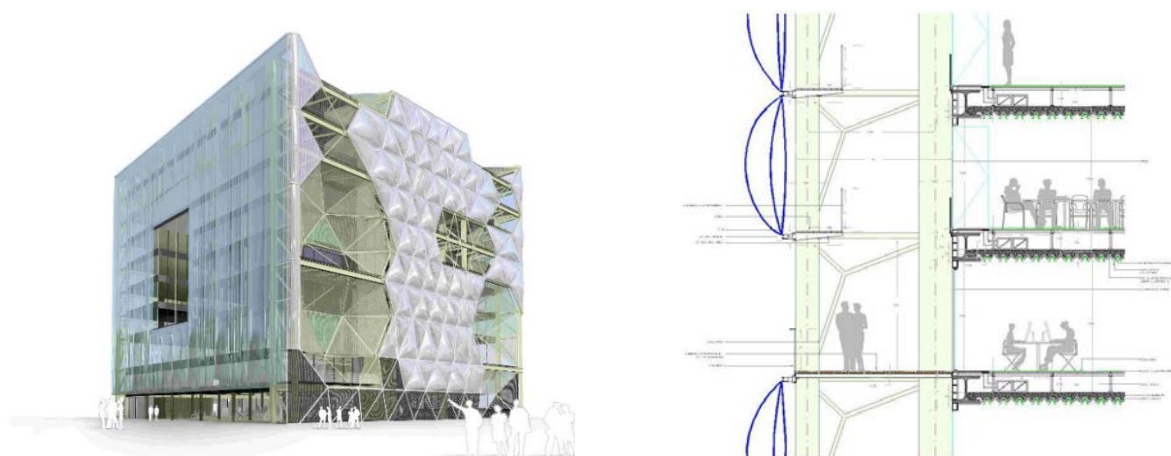
### 2.1. Primjer novih inovativnih zgrada

Ukupna energetska učinkovitost je zbir raznih značajki zgrade, a jedna od njih je i sunčeva insolacija (zračenje). O utjecaju sunčeve insolacije na model potrošnje energije (plina) u obiteljskom objektu dano je u [2]. Zgrada u kojoj je iskorišten potencijal sunčeve izolacije (između ostalih značajki) izgrađena je u Barceloni 2010. godine. **Zgradu Media TIC** projektirao je arhitekt Enric Ruiz Geli, a koristi dvije vrste pneumatskih jastuka za regulaciju klime u zgradi (Slika 3). Prva vrsta su prozirni jastuci u koje se upuhuje dušikov plin s maglom i na taj način se regulira prolazak sunčevog zračenja. Drugu vrstu čine jastuci s grafičkim otiskom koji svojim širenjem reguliraju prodor sunčevog zračenja. Zgrada je sukladno internom energetske certifikatu klasificirana kao razred A [3].

**Gradska vijećnica u Londonu** (London City Hall), projekt arhitekta Normana Fostera (Slika 4.), primjer je potencijala za potpuno održivu, 'zelenu' zgradu. Zgrada je karakterističnog i nekonvencionalnog oblika, koji je proizašao iz geometrijski modificirane sfere, razvijene

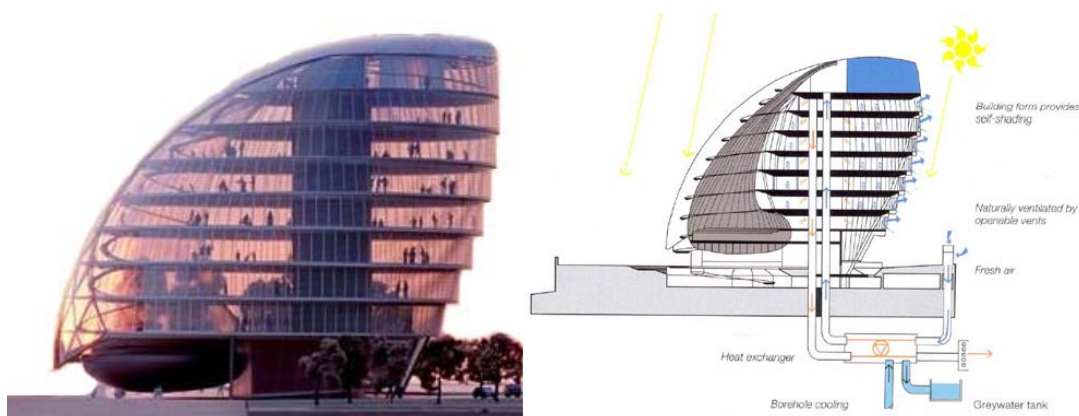


tehnika računalnog modeliranja. Razlog takvog oblika je postizanje optimalne energetske performanse minimizirajući površinu koja je izložena izravnom suncu.



**Slika 3.** Zgrada Media TIC s primjerom detalja fasadne membrane [3]

Oblogu zgrade čini sustav aktivnih i pasivnih uređaja za zasjenjenje, a njihov postav određen je analizom sunčeve svjetlosti koja je provedena tokom godine i na temelju koje je nastala toplinska karta površine zgrade. Jug građevine naginje prema nazad tako da su podne ploče orijentirane prema unutrašnjosti, osiguravajući zasjenjenje prirodno ventiliranih uređa. Rashladni sustav koristi podzemnu vodu koja se pumpom unosi u sustav. Na taj način smanjena je potreba za dodatnim grijanjem prostorija, a utrošak takve energije iznosi tek četvrtinu energije koju inače troši tipična klimatizirana poslovna zgrada [4].



**Slika 4.** Gradska vijećnica u Londonu s primjerom rješenja zasjenjenja i ventilacije [4]

### 3. Metodologija i cilj istraživanja

Cilj provedbe procesa energetske učinkovitosti je provedba različitih projektnih i izvedbenih mjera, odnosno aktivnosti koje bi trebale polučiti, uz minimalizaciju utroška energije, održavanje iste razine proizvodnog ciklusa te udobnosti. Kako bi proces planiranja mjera odnosno aktivnosti bio što uspješniji, u radu će se prikazati mogućnost primjene – korištenja neuronskih mreža u predikciji količine ulazne odnosno izlazne topline iz zgrade.



Količina topline potrebna za zagrijavanje odnosno hlađenje zgrade u funkciji različitih značajki (parametara) vezanih za zgradu te vanjskih – okolišnih. Za predmetno istraživanje u ovome radu, predložen je model koji bi kao ulazne značajke (parametre - varijable) sadržavao:

- vektor  $X_i = \{ \text{Faktor oblika} - \text{predstavlja omjer volumena i površine oblika te zgrade, površina, površina zidova, površina stropa, visina, orijentacija} - \text{obzirom na iskoristivost vremenskih uvjeta: sunce, vjetar, hlad zbog drveća, površina stakla/prozora, raspodjela prozora} \}$

vektor  $X_i = \{ X_1; X_2; X_3; X_4; X_5; X_6; X_7; X_8 \}$

izlazne značajke (parametri - varijable):

- vektor  $Y_i = \{ \text{količina ulazne topline, količina izlazne topline} \}$ .

vektor  $Y_i = \{ Y_1; Y_2 \}$

Na osnovu definiranog modela, oblikovan je podatkovni skup. Podatkovni skup čini dvanaest različitih zgrada s karakterističnim značajkama, a čija je prethodna simulacija provedena u programu Ecotest. Potpuni podatkovni skup čini 768 slogova podataka. Dio podatkovnog skupa za predmetno istraživanje prikazan je u Tablici 1.

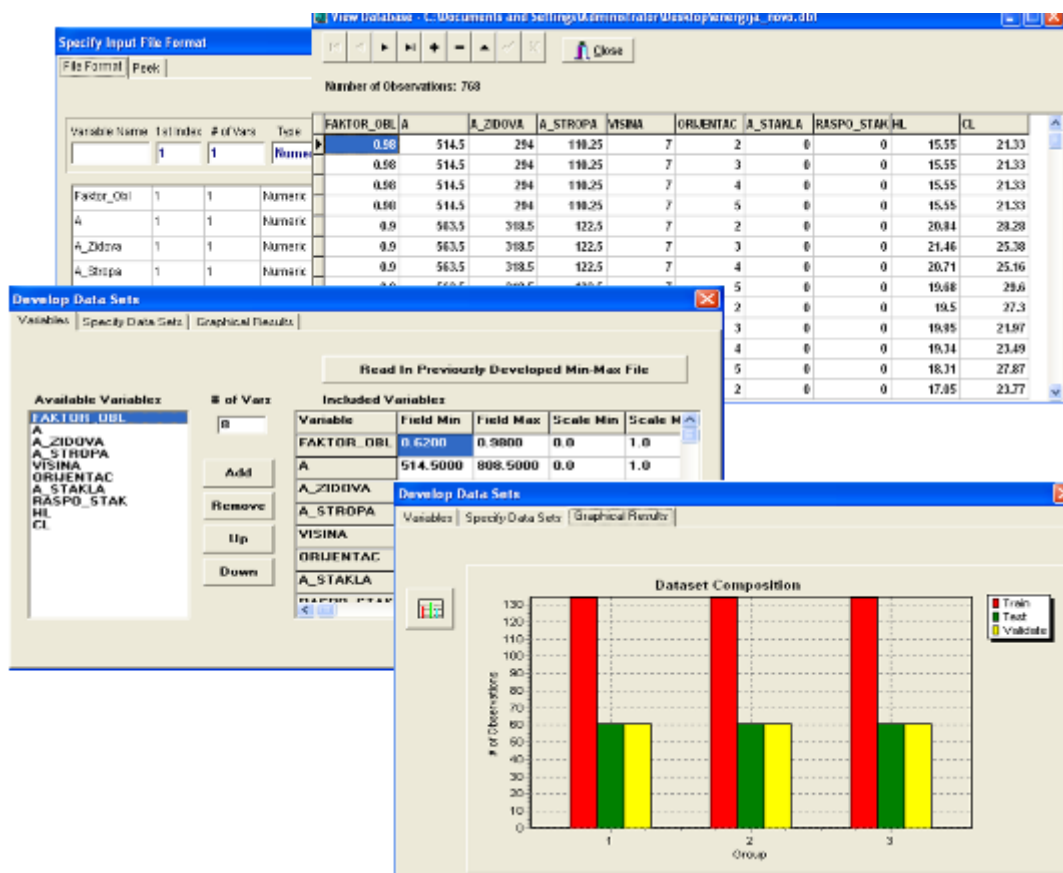
**Tablica 1.** Dio podatkovnog skupa za analizu

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	Y1	Y2
0,98	514,5	294,0	110,25	7	2	0	0	15,55	21,33
0,98	514,5	294,0	110,25	7	3	0	0	15,55	21,33
0,98	514,5	294,0	110,25	7	4	0	0	15,55	21,33
0,98	514,5	294,0	110,25	7	5	0	0	15,55	21,33
0,90	563,5	318,5	122,50	7	2	0	0	20,84	28,28
0,90	563,5	318,5	122,50	7	3	0	0	21,46	25,38
0,90	563,5	318,5	122,50	7	4	0	0	20,71	25,16
0,90	563,5	318,5	122,50	7	5	0	0	19,68	29,60
0,86	588,0	294,0	147,00	7	2	0	0	19,50	27,30
0,86	588,0	294,0	147,00	7	3	0	0	19,95	21,97
0,86	588,0	294,0	147,00	7	4	0	0	19,34	23,49
0,86	588,0	294,0	147,00	7	5	0	0	18,31	27,87
0,82	612,5	318,5	147,00	7	2	0	0	17,05	23,77
0,82	612,5	318,5	147,00	7	3	0	0	17,41	21,46
0,82	612,5	318,5	147,00	7	4	0	0	16,95	21,16
0,82	612,5	318,5	147,00	7	5	0	0	15,98	24,93
0,79	637,0	343,0	147,00	7	2	0	0	28,52	37,73
0,79	637,0	343,0	147,00	7	3	0	0	29,90	31,27
0,79	637,0	343,0	147,00	7	4	0	0	29,63	30,93
0,79	637,0	343,0	147,00	7	5	0	0	28,75	39,44
0,76	661,5	416,5	122,50	7	2	0	0	24,77	29,79
0,76	661,5	416,5	122,50	7	3	0	0	23,93	29,68
0,76	661,5	416,5	122,50	7	4	0	0	24,77	29,79
0,76	661,5	416,5	122,50	7	5	0	0	23,93	29,40

Podaci za ovu analizu preuzeti su sa službene stranice Sveučilišta u Kaliforniji (*University of California, Irvine*) odnosno stranice njihovog Centra za strojno učenje i inteligentne sustave [5].

### 3.1 Priprema podataka

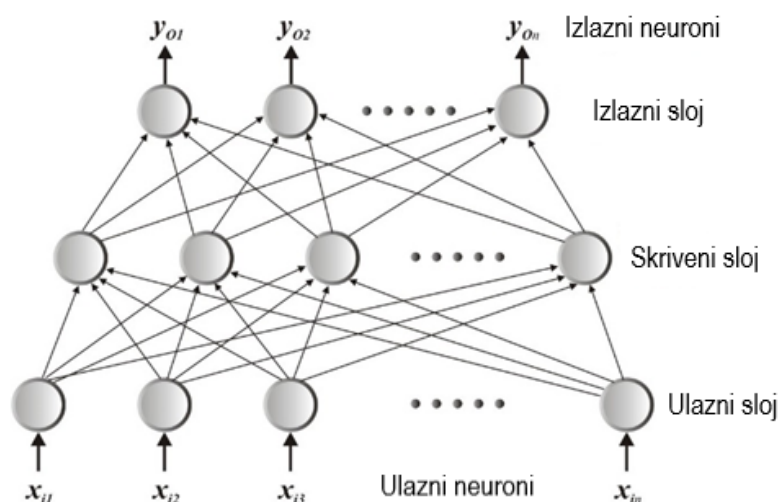
Podaci su u programski sustav BackPack učitani koristeći Notepad datoteke, odnosno datoteke sa ekstenzijom txt, koji su dijelom prikazani u Tablici 1. Nakon učitavanja txt datoteke, bilo je potrebno definirati imena varijabli. Zatim je pomoću programskog sustava oblikovana baza podataka koja će se koristiti za daljnji rad odnosno datoteka sa ekstenzijom dbf (Slika 5.). Ukupni podatkovni uzorak od 768 slogova podataka podijeljen je po načelu: 60 % za učenje (462 sloga), 20 % za treniranje (153 sloga) i 20 % za validaciju modela (153 sloga). Potom je podatkovni set (učenje, treniranje i validaciju) podijeljen na još tri identične grupe podataka, a svrha je da se neuronsku mrežu u fazi učenja, testiranja i validacije usmjeri da uzima podatke iz sve tri grupe podataka (eliminiranje favoriziranja određenih slogova podataka). Na Slici 5. prikazan je dio hodograma aktivnosti na pripremi podataka od faze prilagodbe datoteke za učitavanje, pripreme i imenovanja varijabli modela, oblikovanja Min – Max tablice te grafičkog prikaza podjela podatkovnog skupa za eksperimentalni rada s neuronskom mrežom.



Slika 5. Dio hodograma aktivnosti na pripremi podataka

### 3.2 Neuronska mreža širenja unazad

Neuronska mreža širenja unazad (*eng. Back-Propagation Neural Network - BPNN*) je jedna od najčešće korištenih neuronskih mreža u istraživanju poopćeno a i u radovima [6, 7, 8, 9]. U osnovnoj arhitekturi, neuronska mreža uvijek ima ulazni sloj, izlazni sloj i barem jedan skriveni sloj. Ne postoji teoretsko ograničenje broja skrivenih slojeva, ali obično su to jedan ili dva.



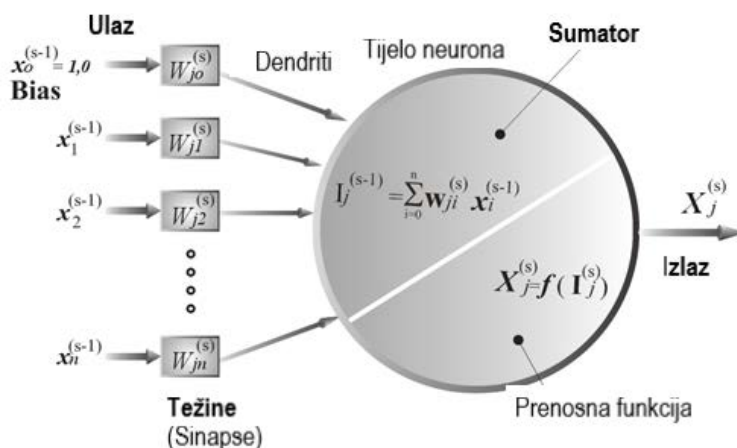
**Slika 6.** Neuronska mreža širenja unazad

Kroz obrađenu literaturu razvidno je da su maksimalno četiri sloja (tri skrivena i jedan izlazni sloj) potrebni za rješavanje proizvoljno složenih problema klasifikacije uzoraka. Obično je u arhitekturi svaki sloj u potpunosti povezan sa sljedećim slojem. Na Slici 6. prikazana je uobičajena opća struktura neuronske mreže s jednim skrivenim slojem. Strelice označavaju protok informacija tijekom prolaska kroz mrežu. Prolaskom kroz mrežu, izračunate izlazne vrijednosti se uspoređuju sa stvarnim te se izračunava greška. Izračunata greška se vraća unazad kroz mrežu. Ovim postupkom se mijenjaju težine veza između neurona, a proces mijenjanja težina veza omogućava proces učenja neuronske mreže.

Osnovni element neuronske mreže je neuron. Biološki neuron je modeliran te kao što je vidljivo sa Slike 7. tijelo neurona preuzima ulogu sumatora, a ulogu dendrita preuzimaju ulazi u sumator. Razinu osjetljivosti aktivacije biološkog neurona preuzima prijenosna – aktivacijska (*eng. Transfer function*) funkcija koja određuje trenutak slanja (ispaljivanja) impulsa na izlaz neurona. Prijenosna funkcija može biti linearna ili nelinearna. Kod linearnih prijenosnih funkcija, izlaz iz sumatora se množi s nekim faktorom te se tako dobiven iznos prosljeđuje na izlaz neurona. Kod nelinearnih funkcija, izlazi iz sumatora se mijenjaju po različitim oblicima funkcijama, a izlazi iz neurona mogu poprimiti različite vrijednosti ovisno o prijenosnoj funkciji. Budući je tijek informacija kroz neuronsku mrežu obično potpuno povezan, potrebno je jasno označavanje radi opisa pravila učenja. U eksponentu se obično označava sloj mreže u kojemu se izračunava proces učenja. Označavanje se navodi kako slijedi:

- $x_j^{[s]}$  – trenutno izlazno stanje  $j$ -tog neurona u sloju  $s$

- $w_{ji}^{[s]}$  – težina veze i-tog neurona u sloju (s-1) do j-tog neurona u sloju s
- $I_j^{[s]}$  – težinska suma ulaza u j-ti neuron u sloju s



Slika 7. Prikaz modela umjetnog neurona

Gdje je  $f$  uobičajeno sigmoidna prijenosna funkcija, ali može biti i bilo koja diferencijabilna funkcija. U predmetnom istraživanju usvojena je sigmoidna prijenosna funkcija za oblikovanje BPNN.

Oblikovani uzorci podataka korišteni su u eksperimentalnom radu i to za svaku oblikovanu arhitekturu neuronske mreže. Oblikovanje različitih arhitektura neuronskih mreža očituje se u istraživanju optimalnih atributa. Za svaku oblikovanu arhitekturu neuronske mreže s definiranim algoritmom provodi se proces učenja s testiranjem. Proces istraživanja i eksperimentalni rad očituje se u iterativnom postupku te uočavanju zavisnosti pojedinih atributa na željeni izlaz postavljenog modela. Kao kriterij za ocjenu uspješnosti oblikovanja arhitektura neuronskih mreža odabran je kriterij RMS greške (*eng. Root Mean Square error – RMSE*).

### 3.3 Ostvareni rezultati neuronskom mrežom - BPNN

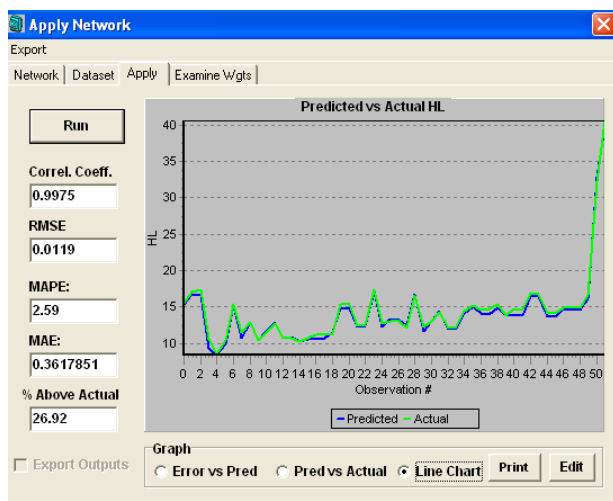
Za eksperimentalni rad s BPNN definirane su dvije arhitekture neuronske mreže i to tako da su za svaku oblikovanu arhitekturu ima jednu izlaznu varijablu. Proces učenja i testiranja proveden je na različitim oblikovanim arhitekturama te se iterativnim postupkom došlo do najbolje ili optimalne strukture za definirani model. U Tablici 2. dane su optimalne strukture BPNN za svaku izlaznu varijablu u fazi učenja. Ostvarena RMS greška za prvu izlaznu varijablu je 1,51 % a za drugu izlaznu varijablu je 3,55 %. Nakon provedenog procesa učenja i oblikovanja optimalnih struktura BPNN pristupilo se procesu validacije neuronskih mreža. Na podatkovnom uzorku koji je za proces validacije iznosio 20 % od ukupnog podatkovnog uzorka i to novih podataka. U procesu validacije, težine veza između neurona su konstantne i ne mijenjaju se. Proveden je proces s prvom neuronskom mrežom te je ostvaren rezultat u fazi validacije od **RMS =1.19 %**. Grafički prikaz ostvarenih rezultata (stvarna i predikcijska vrijednost ostvarena neuronskom mrežom) s prvom BPNN za Y1 prikazan je na Slici 8.

Ostvaren rezultat u fazi validacije bolji je nego u fazi učenja i to u praksi obično nije tako. Obično je RMS greška u fazi validacije veća od greške ostvarene u fazi učenja.

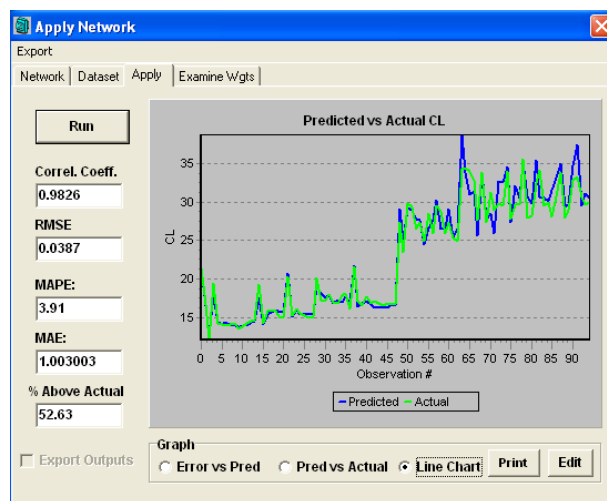
**Tablica 2.** Atributi optimalnih struktura BPNN u fazi učenja

Značajka NN / Izlaz	Y1	Y2
Broj ulaznih neurona	8	8
Broj skrivenih neurona	15	15
Veličina epohe	15	15
Max. broj epoha za učenje	100000	100000
Stupanj učenja	0,2	0,2
Momentum	0,2	0,2
Prijenosna funkcija	Sigmoidna	Sigmoidna
Pravilo učenja	Delta	Delta
<b>RMS (%)</b>	<b>1,51</b>	<b>3,55</b>

Ovdje se pokazuje da ova mreža ima dobro svojstvo generalizacije i da može izvrsno aproksimirati nove vrijednosti iz skupa za validaciju. Za drugu BPNN također je ostvaren proces validacije na istom podatkovnom uzorku za validaciju. Za drugu neuronsku mrežu ostvaren je rezultat u fazi validacije od **RMS =3.87 %**. Za ovaj slučaj potvrđuje se da je RMS greška u fazi validacije nešto viša od faze učenja.



**Slika 8.** Prikaz rezultata u fazi validacije za Y1 [10]



**Slika 9.** Prikaz rezultata u fazi validacije za Y2 [10]

Grafički prikaz ostvarenih rezultata dan je na Slici 9. usporedbom izračunatih predikcijskih vrijednosti s drugom BPNN te stvarnih podataka iz modela za Y2.

#### 4. Zaključak

U radu se daje prikaz analize i korištenja neuronskih mreža u problemima predikcije na primjeru energetske učinkovitosti zgrada. U radu su preuzeti podaci za analizu energetske učinkovitosti zgrada s odabranim značajkama zgrade. Oblikovan je model za istraživanje te



je odabrana neuronska mreža širenja unazad zbog svoje značajne primjene u problemima predikcije. U eksperimentalnom dijelu rada oblikovano je desetina arhitektura neuronskih mreža te su iste analizirane i odabrane optimalne strukture prema izlaznim varijablama. U fazi učenja ostvarene su RMS greške od 1,51 % i 3,55 % dok su u fazi validacije ostvarene greške od 1,19 % i 3,87 %. Ostvareni rezultati u istraživanju potvrđuju moguću primjenu BPNN u fazi planiranja preporuka za energetske obnovu zgrada.

## 5. Literatura

- [1] Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, Zagreb, *Energetska učinkovitost*  
URL: [http://www.fzoeu.hr/hr/eu\\_sufinanciranje/energetska\\_ucinkovitost/](http://www.fzoeu.hr/hr/eu_sufinanciranje/energetska_ucinkovitost/) (25.07.2020.)
- [2] Soldo, Božidar; Potočnik, Primož; Šimunović, Goran; Šarić, Tomislav; Govekar, Edvard.  
Improving the residential natural gas consumption forecasting models by using solar radiation // *Energy and buildings*, 69 (2014), 498-506 (ISSN 0378-7788)
- [3] Enric Ruiz-Geli - Projects/ MEDIA-ICT BUILDING CZFB, 22@, Barcelona  
URL: <https://www.ruiz-geli.com/projects/built/media-tic> (10.07.2020.)
- [4] Foster + Partners – City Hall London UK  
URL: <https://www.fosterandpartners.com/projects/city-hall/> (11.07.2020.)
- [5] Center for Machine Learning and Intelligent Systems – Machine Learning Repository  
URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Energy+efficiency>
- [6] Šarić, Tomislav; Šimunović, Goran; Vukelić, Đorđe; Šimunović, Katica; Lujčić, Roberto.  
Estimation of CNC Grinding Process Parameters Using Different Neural Networks // *Tehnički vjesnik : znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku*, **25** (2018), 6; 1770-1775 (ISSN 1330-3651)
- [7] Šarić, Tomislav; Šimunović, Goran; Šimunović, Katica; Svalina, Ilija. Estimation of Machining Time for CNC Manufacturing using Neural Computing // *International journal of simulation modelling*, **15** (2016), (ISSN 1726-4529)
- [8] Šarić, Tomislav; Šimunović, Goran; Lujčić, Roberto; Šimunović, Katica; Antić, Aco. USE OF SOFT COMPUTING TECHNIQUE FOR MODELLING AND PREDICTION OF CNC GRINDING PROCESS // *Tehnički vjesnik : znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku*, **23** (2016), 4; 1123-1130 (ISSN 1330-3651)
- [9] Šarić, Tomislav; Šimunović, Katica; Pezer, Danijela; Šimunović, Goran. INVENTORY CLASSIFICATION USING MULTI – CRITERIA ABC ANALYSIS, NEURAL NETWORKS AND CLUSTER ANALYSIS // *Technical Gazette - Tehnički vjesnik*, **21** (2014), 5; 1109-1115 (ISSN 1330-3651)
- [10] Antonio, Ćosić. Korištenje neuronskih mreža kao alat predikcije na primjeru energetske učinkovitosti zgrada - Seminarski rad (kolegij Primjena umjetne inteligencije, mentor: prof.dr.sc. Tomsilav Šarić), Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 2017.



# Estimation of CO<sub>2</sub> Emission From Back Up Facilities for Covering Wind Power Plant Production Variability

I. Sutlović<sup>1\*</sup>, M. Benić<sup>2</sup>, P. Raos<sup>3</sup>, N. Vištica<sup>4</sup>

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

<sup>2</sup>Ministry of Defence of Republic of Croatia, Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>Mechanical Engineering Faculty, J.J. Strossmayera University of Osijek, Slavonski Brod, Croatia

<sup>4</sup>Croatian Energy Regulatory Agency, Zagreb, Croatia

\*Corresponding author: isutlo@fkit.hr

## Abstract

Increasing share of renewable energy sources (RES), especially wind power plants (WPP) in electricity production makes adjustment of power system required. It must respond to quick changes in RES production whether they are positive or negative. To cover lack of energy in system due to RES production decreasing gas power plants are often used. These plants are source of CO<sub>2</sub> emission. Based on available data for WPP monthly output supplied to Croatian power system CO<sub>2</sub> emission of potential gas power plant or plants for covering WPP production variability is estimated. Also, aim of this paper is to point the fact that CO<sub>2</sub> neutral RES are still strongly dependant on other conventional facilities including those using fossil fuels.

**Keywords:** RES, back up facilities, CO<sub>2</sub> emission

## 1. Introduction

Renewable energy sources (RES) are present and future of world energy concept and way how to achieve climatic goals and low carbon society. In the world of growing demand for energy they are still fighting for higher share in electricity production. In world primary energy consumption share of RES is approximately 4% and in electricity production share is 8% [1]. Electricity produced in RES in China is 2,4 times bigger than one in Germany creating share of 7,3% of total electricity produced in China against very high 30,3% of total electricity produced in Germany [1]. Despite very sophisticated technology developed in RES sector some doubts remain especially about carbon neutrality of RES. Further analysis is based on available data for Croatian WPP production and demands of power system.

## 2. Renewables

### 2.1. Renewables characteristics

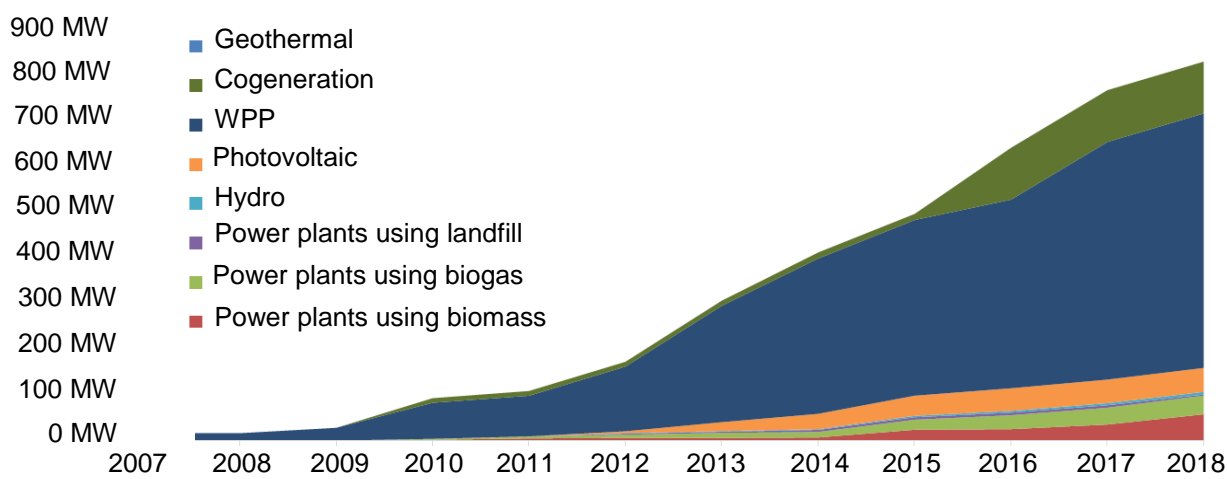
Basic facts about RES are well known, but sometimes seems to be lost from sight. As result of processes in nature, primarily caused by Sun activities, every kind of RES are intermittent, some of them more or less predictable. Highly sophisticated technology made possible to use every renewable source at maximal energy efficiency level, especially wind and sun two mostly represented RES technologies. The problem that is out of range of technology is intermittence of input power of renewable source for instance of wind or sun.

### 2.2. Renewables and CO<sub>2</sub> emissions

As usually presented to public RES are not source of carbon emissions and therefore are ideal solution for solving problems caused by climatic change i.e. increasing CO<sub>2</sub> emission in atmosphere and consequently increasing mean temperature on Earth. Indeed, there no CO<sub>2</sub> emission from RES during operation but there are those indirect as result of gear production and installing activities. On the opposite side of electricity production, no matter from which source, is consumer's side demanding adequate quantity and quality of energy. Depending on share of RES in power system intermittent part of electricity produced will vary. In the case of lack of energy from RES in power system this lack has to be somehow compensated, from hydro power plant for instance, but often from gas turbine power plants or other fossil fuel facilities based on combustion process thus producing CO<sub>2</sub> emission at the same time increasing cost of electricity for end consumers [2]. This is point where CO<sub>2</sub> neutral RES production encounters CO<sub>2</sub> intensive back up facilities.

### 2.3. RES in Croatia

In last decade Croatia raised its RES producing potential in very steep manner (Figure 1.).



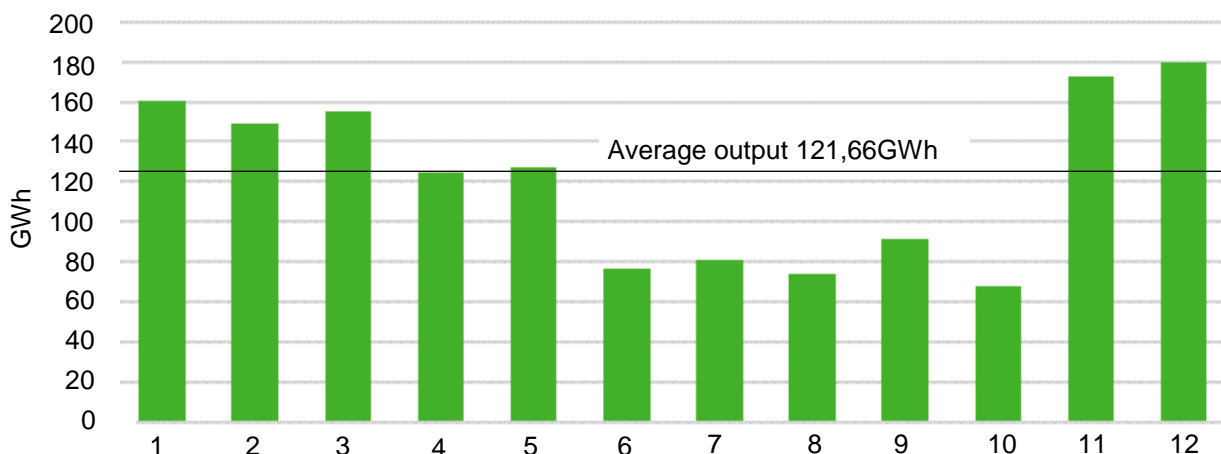
**Figure 1.** Installed RES capacities in Croatia in last decade

Data are collected by Croatian Energy Market Operator (HROTE) and are part of Croatian Energy Regulatory Agency annual report for 2018 [3]. The most significant growth is in WPP

installed capacity reaching respectable 646,2 MW in 2019 [4] with share of 12,8% of total installed capacities in Croatia without nuclear power plant Krško [4, 5].

## 2.4. WPP generation in Croatia

Growth of installed capacity of WPP resulted also in growth of electricity generated in WPP and supplied to Croatian power system. For purposes of this paper monthly output in 2019 of all WPP in Croatia is given on Figure 2. [4].



**Figure 2.** Monthly output of all WPP in Croatia in 2019

During summer period WPP output is well under average value, while during spring and especially during winter is higher. Of course, this can vary from year to year depending on wind. In year 2019 total WPP output was 1459,94 GWh while total capacity was changing during year as new one were installed by the end of 2019 reaching already mentioned 646,2 MW.

## 3. Gas power plant as back up facility for WPP

Further analysis is based on data for WPP generation shown in Figure 2. It is completely theoretical because negative and positive output of Croatian WPP is covered by other available sources such as hydro power plants. For the purpose of this paper it will be assumed that lack of electricity from WPP in system will be covered by gas power plant functioning as back up facility while excess of electricity from WPP will result in lowering output of other non-renewable facilities. In this moment gas power plant built up solely as back up facility for WPP does not exist in Croatia.

As mentioned before in gas power plant natural gas is used for combustion resulting by carbon dioxide emission. Values necessary to fulfill further calculation are given Table 1.

**Table 1.** Properties of natural gas and carbon dioxide CO<sub>2</sub>

Natural gas				CO <sub>2</sub>	
Content, %		Net calorific value		Density	Volume
Methane	Other	kJ/m <sup>3</sup>	KWh/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> natural gas
93	neglected	33415	9,28	1,96	0,93

It is assumed that natural gas consists of 93% of methane while other ingredients are neglected. For that value net calorific value  $H_{net}$  of natural gas as well as volume  $V_{CO_2}$  i.e. emission of  $CO_2$  in flue gases using appropriate relations can be calculated [6]. Density  $\rho_{CO_2}$  of  $CO_2$  is calculated according to ideal gas law for standard condition [7]. All approximation made do not affect significantly to accuracy.

#### 4. $CO_2$ emission from back up facility for WPP

$CO_2$  emission will be calculated based on available data for WPP annual output for year 2019 shown on Figure 2. As referent value is taken average month output of 121,66 GWh [4]. WPP output lower than this value is considered to be covered by turning on back up facility to cover lack of electricity. Why is this value chosen this way or could it be different is subject of discussion.

Emission will be calculated using following equation to express specific emission  $g_{CO_2}$  i.e. unit mass of  $CO_2$  per unit of electricity (subscript "e") generated in gas power plant i.e.  $kg_{CO_2}/kWh_e$

$$g_{CO_2,e} = \frac{V_{CO_2} \cdot \rho_{CO_2}}{H_{net} \cdot \eta} \left[ \frac{kg_{CO_2}}{kWh_e} \right]. \quad (1)$$

Meanings of all terms in equation, except efficiency  $\eta$ , are given before including values and units from Table 1.

Efficiency  $\eta$  is efficiency of conversion of natural gas during combustion process through gas turbine into electricity. For this purpose two values of efficiency are taken into account 40% and 50% depending of source. Efficiency of gas turbines is considered to be modest especially in part load [7]. Inserting these two values into equation (1) two values of specific emission are derived to get more or less optimistic scenario

$$g_{CO_2,e(\eta=0,4)} = 0,490956 \frac{kg_{CO_2}}{kWh_e}, \quad (2a),$$

$$g_{CO_2,e(\eta=0,5)} = 0,392764 \frac{kg_{CO_2}}{kWh_e} \quad (2b).$$

In Table 2  $CO_2$  emission from gas power plant serving as back up facility for WPP are given. Results are based on monthly and yearly output of Croatian WPP for year 2019. also including values from equations (2a) and (2b).

**Table 2.**  $CO_2$  emissions from gas power plant covering variable output of WPP

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Output, GWh	160	150	157	124	126	76	80	75	93	66	174	179	1460
121,66 - Output	-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
Emission, $10^3$ tCO <sub>2</sub>													
$\eta=0,4$	-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
$\eta=0,5$	-15,1	-11,1	-13,9	-0,91	-1,7	17,9	16,4	18,3	11,3	21,9	-20,6	-22,5	-0,03

Some further explanations are required considering Table 2.. Values of monthly output in second row are estimated from diagram shown on Figure 2. Values in third row are derived

by distracting monthly WPP output from average value of monthly output i.e. 121,66 MW. They are positive or negative meaning output is higher than average (negative) or output is lower than average (positive). Negative value leads to negative CO<sub>2</sub> emission representing saving in CO<sub>2</sub> emission and that is desired while positive value leads to positive CO<sub>2</sub> emission representing extra CO<sub>2</sub> emission generated by back up facility. Last two rows are derived by multiplying values in third row by values from expressions (2a) and 2(b) to get cumulative positive or negative emissions of CO<sub>2</sub> for efficiency  $\eta=0,4$  and  $\eta=0,5$  respectively. On yearly basis it can be seen that net value of CO<sub>2</sub> emission is negative meaning that more carbon dioxide is saved than generated. Also, in further research hourly demand and output should be analysed in order to get precise information about intensity of intermittence of both RES and back up facility.

## 5. Conclusions

Previous analysis was concentrated on one small piece of something usually known as low carbon society or CO<sub>2</sub> neutral economy. Achieving these political agendas is strongly dependent on further development of technology. These goals include more intensive integration of RES into energy system and this looks optimistic. On the opposite side there is lot of technical problems to be solved despite strong development of RES technology. As final product of using RES is electricity as most precious product of energy conversion. Basic question is, when relying to RES, how to deal with excess of electricity and how to cover its lack caused by wind or sun variability, two most common renewable sources. First is yet to be solved and second is more or less easy to cover by back up facilities. Among them are conventional power plants, hydro or thermal, that can be quickly started to desired power level. If thermal option is chosen carbon dioxide emission is faced up that is opposite to RES philosophy. Methodology presented in this paper can be reckoned as rule of thumb but inevitably point fact that functioning of RES is dependent on fossil fuels. Also, we have to keep in mind that low carbon future is difficult if not impossible to be reached only by using renewable energy sources.

## 6. References

- [1] BP Statistical Review of World Energy 2017.
- [2] Woolard, John: Beyond Renewables: How to Reduce Energy Related Emissions Measuring What Matters, on <https://www.wri.org/news/beyond-renewables-how-reduce-energy-related-emissions-measuring-what-matters>, accessed 28.7.2020.
- [3] Croatian Energy Regulatory Agency, Annual Report 2018, 2018.
- [4] Croatian Transmission System Operator Ltd., Annual report on wind power plant generation in Croatia 2019, 2019.
- [5] Energy institute Hrvoje Požar, Energy in Croatia 2018, 2018.
- [6] Khartchenko, Nikolai V. Umweltschonende Energietechnik. Würzburg, Kamprath-Reihe, 1997. (ISBN 3\*8023-1587-1)
- [7] Budin, Rajka; Mihelić-Bogdanić, Alka. Fundamentals of Technical Thermodynamics (in Croatian). Zagreb, Školska knjiga, 2001, (ISBN 953-0-31688-7)



**Analiza utjecaja sustava fotonaponske pretvorbe i tipa dizalice topline na energetska učinkovitost zgrade SFSB-a u svjetlu nZEB-a**  
***Analysis of the impact of photovoltaic conversion systems and heat pump system performance on the energy efficiency of the MEFBS building in the light of nZEB***

**Ž. Zmaić<sup>1,\*</sup>, A. Barac<sup>1</sup>, M. Holik<sup>1</sup>, M. Stojkov<sup>1</sup>, M. Živić<sup>1</sup>,  
D. Šljivac<sup>2</sup>, A. Čikić<sup>3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [zeljko.zmaic@sfsb.hr](mailto:zeljko.zmaic@sfsb.hr)

### **Sažetak**

Osnovna intencija istraživanja provedenih u okviru ovoga rada je utvrđivanje i odabir optimalnog tehničkog rješenja izvedbe sustava grijanja potpomognutog dizalicama topline, te utvrđivanje utjecaja sustava fotonaponske pretvorbe na ukupnu energetska učinkovitost zgrade SFSB-a (Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu) sa ciljem visokoeffikasnog iskorištavanja obnovljivih izvora energije, a time posredno i dostizanja ideala energetske učinkovitost u vidu zgrade gotovo nulte energije (engl, nearly zero-energy building, nZEB). U tu su svrhu, u okviru ovoga rada, analizom faktora grijanja COP (Coefficient of Performance) i hlađenja EER (Energy Efficiency Ratio) dizalice topline, uspoređene toplinske učinkovitosti malih i velikih dizalica topline u monoblok izvedbi, te malih dizalica topline u split izvedbi. Sve analizirane dizalice topline su zrak-voda pri čemu su male jedinice snage 15 kW, a velike 60 kW. Uz to, dodatno je analiziran i utjecaj klimatskog podneblja na energetska učinkovitost dizalica topline. To je provedeno usporedbom toplinske učinkovitosti odabrane optimalne izvedbe dizalica topline za 3 različita hrvatska grada (Slavonski Brod, Osijek i Zadar) sa različitom godišnjom temperaturnom slikom. Daljnja istraživanja će se provoditi sa ciljem dodatnog povećanja energetske učinkovitosti dotične zgrade SFSB-a i njezinog poboljšanja prema zahtjevima nZEB standarda, a uz ostalo pretpostavljaju izgradnju algoritma i softvera za provedbu istraživanja toplinske efikasnosti (različitih izvedbi sustava grijanja potpomognutih dizalicama topline u ovisnosti o vremenu) baziranog na metodologiji primijenjenoj u okviru ovoga rada.





**Ključne riječi:** COP, EER, monoblok izvedba, split izvedba, dizalica topline, fotonapon

### **Abstract**

The main intention of the research described here is to determine and select the optimal technical solution for heat pump-assisted heating systems, and to determine the impact of photovoltaic conversion systems on the overall energy efficiency of energy sources planned to install on the Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (MEFSB) and thus indirectly achieving optimal design solution in the direction of nearly zero-energy building (nearly zero-energy building, nZEB). For this purpose, in the framework of this paper, the analysis of the heating factors COP (Coefficient of Performance) and cooling factors EER (Energy Efficiency Ratio) of the heat pump are performed with comparison of the heat efficiency of small and large heat pumps in monoblock design, and small heat pumps in split design. All analysed heat pumps are air-to-water, with small pumps units of 15 kW and large ones of 60 kW. In addition, the impact of climate on the energy efficiency of heat pumps is further analysed. Comparison of the thermal efficiency of the selected optimal design of heat pumps for 3 different Croatian cities (Slavonski Brod, Osijek and Zadar) with different annual temperature picture are performed. Further research will be conducted with the further increasing of the energy efficiency of the building of MEFSB and its improving with the requirements of nZEB standards. Developed algorithms and software are base point for research on thermal efficiency (different versions of heating systems time dependence) based on the methodology applied within this paper.

**Key words:** COP, EER, monoblock design, split design, heat pump, photovoltaics

### **1. Uvod**

Trend dramatičnog globalnog zatopljenja Zemlje uzrokovan neodrživo velikom potrošnjom energije i emisijom stakleničkih plinova u Zemljinu atmosferu je još krajem 80-ih godina prošlog stoljeća od strane Ujedinjenih naroda (UN), a na osnovi prve procjene Međuvladinog panela o klimatskim promjenama tzv. IPCC-a (Intergovernmental Panel on Climate Change) [1] iz 1990. godine, prepoznat kao izuzetno ozbiljna globalna prijetnja budućnosti čovječanstva sa mogućim skorim katastrofalnim posljedicama po zdravlje i život ljudi. Kao reakciju na spomenute prijetnje čovječanstvu, uzrokovane dramatičnim klimatskim promjenama, Ujedinjeni narodi 1992. godine iniciraju Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama tzv. UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) [2] kao međunarodni ekološki ugovor od iznimnog značaja za ekološku budućnost Zemlje. Navedena konvencija, nakon potpisivanja od strane 37 zemalja članica, stupa na snagu 1994. (Republika Hrvatska joj se priključuje 1996.). Sa ciljem provedbe obveza UNFCCC-a na globalnoj razini se kontinuirano potpisuju novi međunarodni sporazumi o klimatskim promjenama poput Protokola iz Kyota 2005. [3] (Republika Hrvatska mu se priključuje 2007.) i Pariškog sporazuma iz 2015. [4] (Republika Hrvatska mu se priključuje 2016.), a IPCC kontinuirano izdaje nove izvještaje o sve dramatičnijim globalnim klimatskim promjenama.



Europska unija (EU) preko Europskog parlamenta i Vijeća europske unije kao svojih zakonodavnih i izvršnih tijela, čije su sve članice potpisnice Protokola iz Kyota i Pariškog sporazuma, obveze prihvaćene ovim sporazumima prema svim svojim članicama artikulira kroz svoje direktive. Pri tome zahtjeve Protokola iz Kyota (iz 2005.) artikulira Direktivom Europskog parlamenta i Vijeća 2010/31/EU od 19. svibnja 2010. o energetske učinkovitosti zgrada [5], a zahtjeve Pariškog sporazuma (iz 2015.) artikulira Direktivom Europskog parlamenta i Vijeća (EU) 2018/844 od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 2010/31/EU o energetskim svojstvima zgrada [6] i Direktive 2012/27/EU od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti zgrada [7]. Navedene EU Direktive uz ostalo navode i preciziraju pojam i standard zgrade gotovo nulte energije tzv. nZEB (nearly zero-energy building) kao sinonim za zgrade izuzetno visoke energetske učinkovitosti odnosno svojevrzni ideal energetske učinkovitosti zgrada. Navedene EU Direktive državama članicama ispunjenje zahtjeva nZEB standarda [8] postavljaju kao obvezu za sve zgrade koje će biti izgrađene nakon 31.12.2020. Implementacija zahtjeva navedenih EU Direktiva na nacionalnoj razini u Republici Hrvatskoj se prenosi kroz zakone i pravilnike od kojih su najvažniji Zakon o gradnji NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19 [9] i Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti zgrada NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18 [10].

EU u svojim Direktivama navodi da odgovornost za 40 % (uz trend stalnog porasta) ukupne potrošnje energije, a posljedično i emisije stakleničkih plinova u Europskoj uniji snose zgrade. Obveze EU za smanjenje potrošnje energije na razinu koja će do 2020. godine ograničiti globalni porast temperature za maksimalno 2°C i smanjiti emisiju stakleničkih plinova za minimalno 20 %, koje je EU preuzela, proizlaze iz prethodno navedene Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama, Protokola iz Kyota, te Pariškog sporazuma. Sukladno prethodno rečenome EU Direktive kao osnovnu mjeru za smanjenje potrošnje energije već postojećih zgrada zahtijevaju povećanje kvalitete ovojnice zgrada izborom optimalne debljine izolacije, promjenom vrste ostakljenja i okvira prozora, te smanjenjem zrako-propusnosti prozora brtvljenjem. Kao osnovnu mjeru za smanjenje emisije stakleničkih plinova od 30 %, uz neposredno smanjenje koje je posljedica smanjenja potrošnje energije, EU Direktiva zahtjeva povećanje korištenja obnovljivih izvora energije (OIE) za grijanje i hlađenje zgrada na razinu od minimalno 30 % ukupno utrošene energije. Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu (SFSB) želi na lokalnoj razini aktivno doprinijeti ostvarenju globalnih ciljeva smanjenja potrošnje energije za grijanje i hlađenje svoje zgrade, te smanjenja emisije stakleničkih plinova u atmosferu. Taj doprinos SFSB daje implementacijom obnovljivih izvora energije i to izgradnjom fotonaponske elektrane (Slika 1), te instalacijom dizalica topline (Slika 2), čime se posljedično otvara potreba istraživanja njihovog utjecaja na energetske učinkovitost zgrade SFSB-a što je ujedno i glavni cilj ovoga rada. U tu su svrhu, u okviru ovoga rada, analizom faktora grijanja COP-a i faktora hlađenja EER-a dizalice topline, uspoređene toplinske učinkovitosti malih i velikih jedinica dizalica topline u mono-blok izvedbi, te malih dizalica topline u split izvedbi. Sve analizirane dizalice topline su zrak-voda pri čemu su male jedinice snage 15 kW, a velike snage 60 kW. Uz to, u okviru ovoga rada je dodatno analiziran i utjecaj klimatskog podneblja na energetske učinkovitost dizalica topline. To je provedeno usporedbom toplinske učinkovitosti odabrane



optimalne izvedbe dizalica topline za 3 različita hrvatska grada (Slavonski Brod, Osijek i Zadar) sa različitom godišnjom temperaturnom slikom.



**Slika 1.** Planirana fotonaponska elektrana na južnoj strani krova zgrade SFSB-a

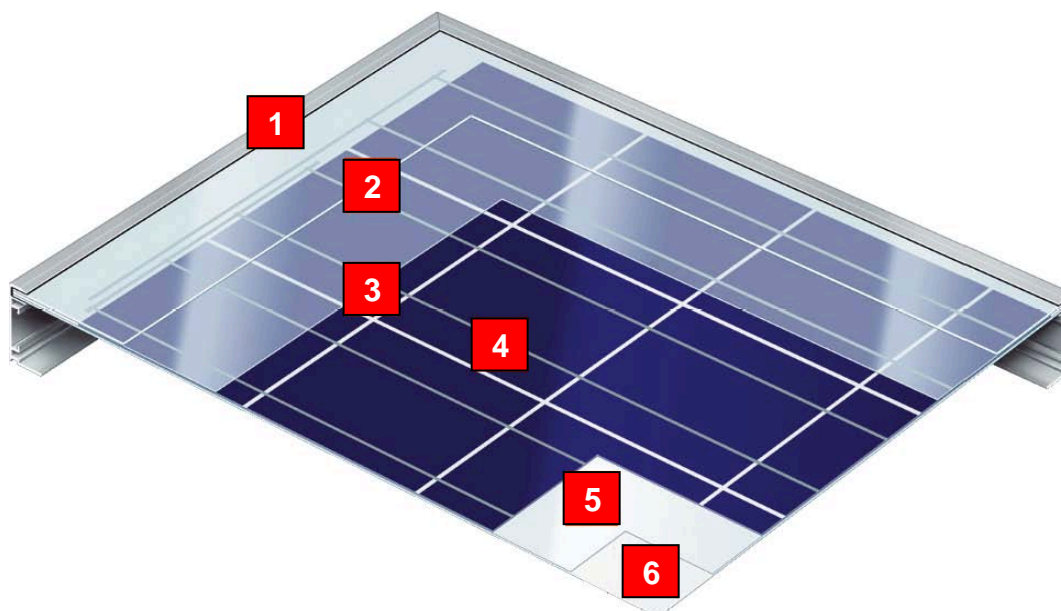


**Slika 2.** Dizalice topline,



## 2. Opis uređaja (osnovni dijelovi, princip rada, karakteristike, tipovi, izvedbe)

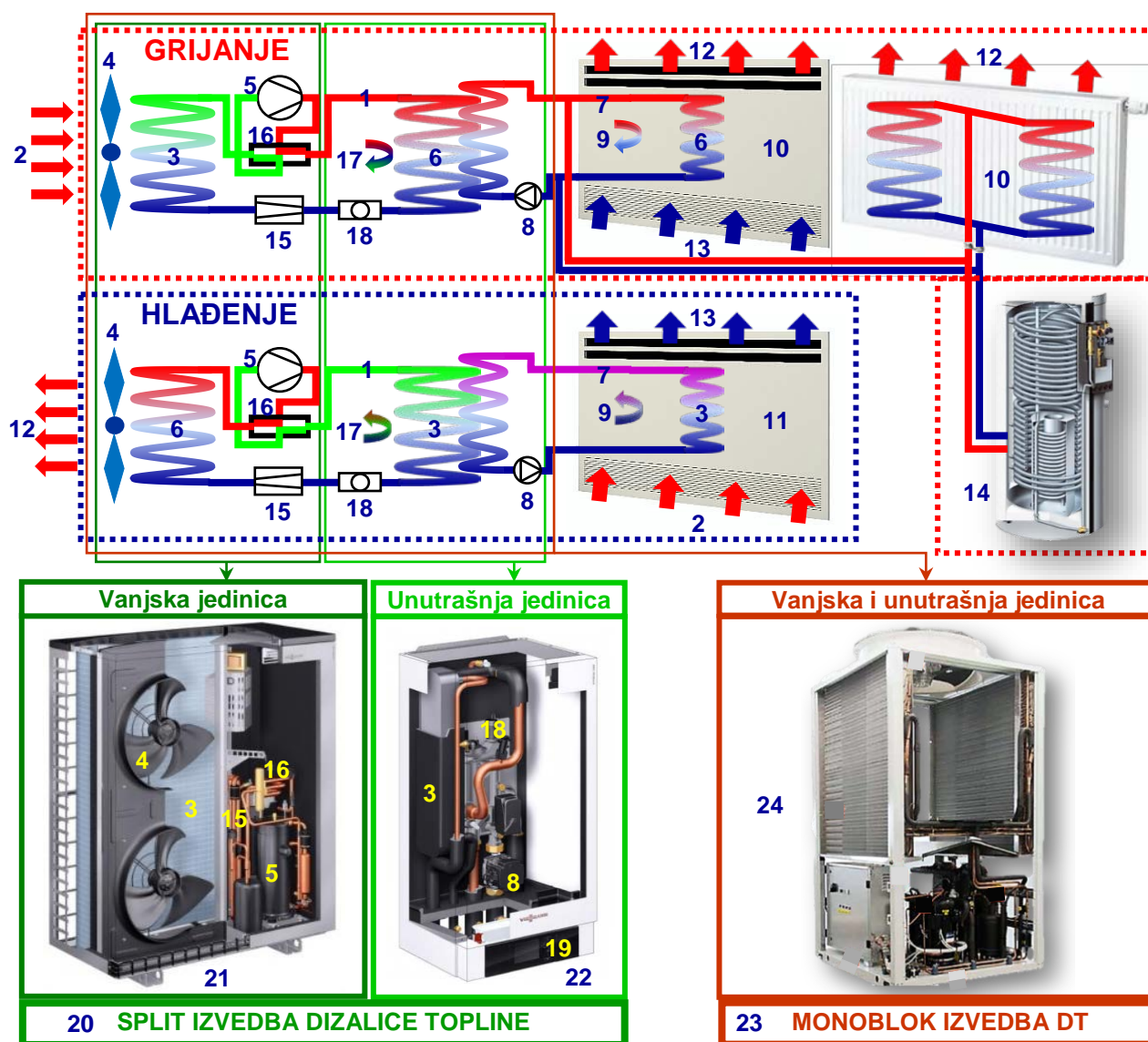
Slika 3 prikazuje osnovne dijelove jednog fotonaponskog modula [11]. Jezgra i osnovna jedinica fotonaponskog modula je solarna ćelija. Solarna ćelija je silicijska pločica čiji atomi imaju takvu energiju ionizacije (karakteristika silicijevih atoma) da im je elektrone moguće izbiti iz atoma energijama reda veličine energije fotona (elektromagnetskih valova) svjetlosnog spektra. Taj efekt izbijanja elektrona fotonima se naziva fotoelektrični efekt. Svjetlošću obasjani atomi silicijske ćelije otpuštaju izbijene elektrone pri čemu negativno nabijeni elektroni na jednom kraju ćelije stvaraju negativan, a preostale pozitivno nabijene jezgre atoma na drugom kraju ćelije pozitivan pol, te tako na krajevima svake ćelije biva generiran napon. Sve silicijske ćelije se međusobno povezuju u mrežu i ugrađuju u fotonaponski modul u čiji su aluminijski okvir (1) uz silicijske ćelije (4) smješteni; pokrovno staklo (2), gornja EVA (Ethylene-Vinyl-Acetat) folija (3), donja EVA folija (5), stražnja folija (6).



**Slika 3.** Fotonaponski modul, [11]

Sve dizalice topline analizirane u ovom radu su tipa zrak-voda i pri radu (grijanju prostorija u zimskom režimu rada ili hlađenju prostorija u ljetnom režimu rada) primjenjuju ljevokretni ciklus sa plinom R410A kao radnim medijem (Slika 4). Istom slikom je prikazan i princip rada dizalice topline, u split i monoblok izvedbi, sa osnovnim dijelovima, u režimima grijanja i hlađenja. Bez obzira na režim rada, radni medij (1) iz ogrjevnog spremnika (vanjski okolišni zrak u slučaju grijanja (2) ili unutrašnji zrak u prostoriji u slučaju hlađenja (2)), isparavanjem u isparivaču topline (3) u koji ga dovodi ventilator (4), na sebe preuzima toplinu. Ispareni radni medij se u scroll kompresoru (5) komprimira pri čemu mu se podiže tlak, te tako pregrijan odlazi u kondenzator (6) u kojem se hladi i pri tome rashladnoj vodi (7) predaje toplinu koju je preuzeo od ogrjevnog spremnika. Nakon toga u kondenzatoru (preuzimanjem topline od radnog medija) ugrijava i cirkulacijskom pumpom sekundarnog kruga (8)

pogonjena topla voda sekundarnim krugom (9) toplinu prenosi do ogrjevnog tijela (radijator ili ventilkonvektor) (10) ili od rashladnog tijela (ventilkonvektor) (11) koje ju predaje rashladnom spremniku (unutrašnji zrak u prostoriji u slučaju grijanja (12) ili vanjski okolišni zrak u slučaju hlađenja (12)). U rashladnom tijelu (ventilkonvektor) (11) rashlađeni zrak se prilikom hlađenja upuhuje u unutrašnjost prostorije (13), a prilikom grijanja se hladni zrak iz unutrašnjosti prostorije (13) upuhuje u ogrjevno tijelo (ventilkonvektor) (10). Višak topline se u oba režima rada pohranjuje u toplinski spremnik odnosno toplinski akumulator (14). Radnom mediju se pri povratku odnosno po izlasku iz kondenzatora, a prije ulaska u isparivač pomoću ekspanzijskog ventila (15) naglim proširenjem odnosno povećanjem volumena smanjuje tlak kako bi sa tako sniženim tlakom u isparivaču što lakše ispario, te na taj način osigurao kružnost procesa odnosno ciklusa. Iz rečenoga je evidentno da ogrjevni i rashladni spremnik, te isparivač i kondenzator mijenjaju svoje uloge u režimima grijanja i hlađenja.



Slika 4. Princip rada dizalice topline u split izvedbi i monoblok izvedbi, [13], [14] i [15]

Konkretno, u slučaju grijanja ogrjevni spremnik je vanjski okolišni zrak, a rashladni unutrašnji zrak u prostoriji, a u slučaju hlađenja obrnuto. Isto tako u režimu grijanja na strani vanjskog okolišnog zraka je isparivač, a na strani unutrašnjeg zraka u prostoriji je kondenzator, dok je u režimu hlađenja na strani unutrašnjeg zraka u prostoriji isparivač, a na strani vanjskog okolišnog zraka kondenzator. U realnosti, to su sve vrijeme isti uređaji (izmjenjivači topline) na obadvije strane, samo što u različitim režimima rada ti uređaji preuzimaju i obavljaju različite uloge. Prekretanje procesa, radi promjene režima rada, sa grijanja na hlađenje ili obratno, omogućuje 4–putni prekretni ventil (16). Ovaj ventil smjer prijenosa topline, a time i režim rada (grijanje ili hlađenje), mijenja promjenom smjerova strujanja radnog medija u sustavu (17). Finu elektronsku regulaciju procesa u sustavu na osnovi, mjerачem protoka (18) izmjerene vrijednosti protoka radnog medija kroz sustav, obavlja sustav elektroničke regulacije (19).

Ovdje je važno još jednom naglasiti da dizalice topline, s obzirom na smještaj svojih konstrukcijskih komponenti (ventilator, isparivač, kondenzator, ekspanzijski ventil, mjerач protoka i dr.), mogu biti izvedene na 2 načina i to u split i monoblok izvedbi. Osnovna razlika između ove dvije izvedbe je u tome što dizalice topline u split izvedbi (20) imaju dvije jedinice od kojih je jedna vanjska (21) u koju su, uz ostalo, smještene i sve komponente koje stvaraju buku odnosno ventilator (4), isparivač (kondenzator u slučaju hlađenja) (3), scroll kompresor (5), 4–putni prekretni ventil (16) i elektronički ekspanzijski ventil (15), a druga unutrašnja (22) u koju su smještene sve komponente čiji je rad tih ili potpuno nečujan poput kondenzatora (isparivač u slučaju hlađenja) (3), mjerачa protoka (18), cirkulacijske pumpe sekundarnog kruga (8) i sustava elektroničke regulacije (19), dok dizalica topline u monoblok izvedbi (23) ima samo jednu i to vanjsku jedinicu (24) u koju su smještene sve komponente i koja istovremeno obavlja sve funkcije u svim režimima rada.

Iz prethodno rečenoga se može zaključiti da su prednosti i nedostaci pojedinih tipova dizalica topline direktna posljedica njihove konstrukcijske izvedbe. Analiza efikasnosti pojedinih tipova dizalica topline će u daljnjem tijeku ovoga rada pokazati da je najveća prednost split izvedbe u odnosu na monoblok izvedbu upravo njezina veća energetska efikasnost odnosno učinkovitost, dok je najveća prednost monoblok izvedbe u odnosu na split izvedbu kompaktnija konstrukcija jer su obadvije jedinice na istom mjestu (i to vani) što daje puno veći komfor pri projektiranju mreže unutar zgrade i njezinih prostorija. Uz to, dizalice topline u split izvedbi su znatno jeftinije u odnosu na dizalice topline u monoblok izvedbi po jedinici ogrjevnog i rashladnog učinka.

### 3. Metodologija istraživanja i matematički model

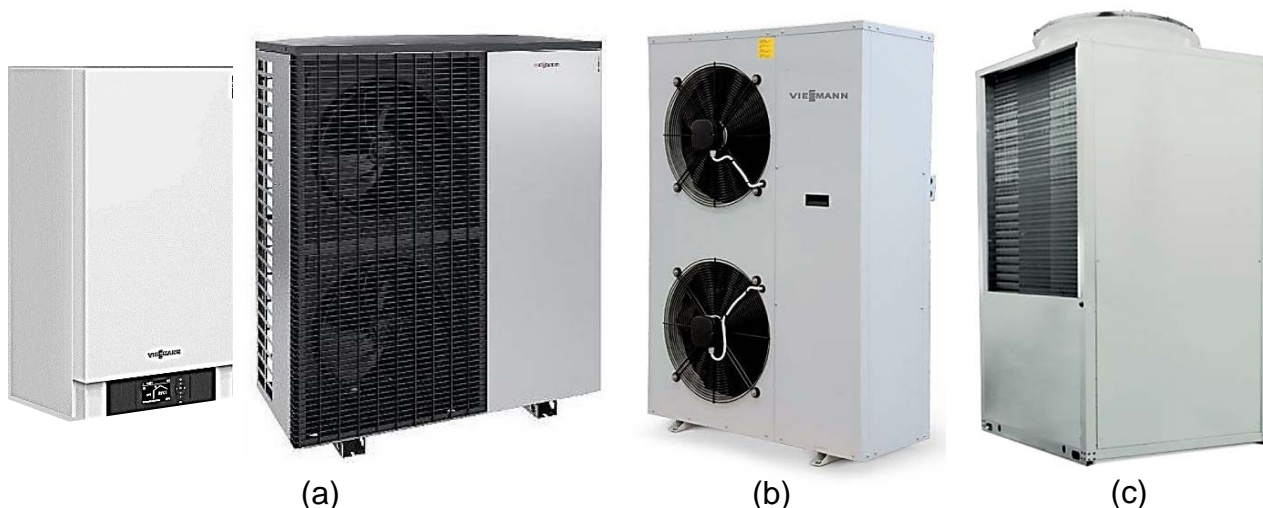
Ključan korak za postizanje visokoefikasnog sustava opskrbe električnom energijom potpomognutog obnovljivim izvorima energije, a napose fotonaponskom elektranom, je procjena mogućnosti proizvodnje električne energije iz fotonaponskog sustava s obzirom na geografski položaj fotonaponskog sustava primjenom PVGIS (PhotoVoltaic Geographical Information System) [12] metodologije. U tu su svrhu iz navedenog sustava direktno preuzete karakteristike planirane fotonaponske elektrane odnosno očekivani dobitci električne energije po 1 m<sup>2</sup> površine fotonaponske elektrane.





Ključan korak za postizanje visokoefikasnog sustava grijanja potpomognutog obnovljivim izvorima energije, a napose dizalicama topline, je izbor samog tipa dizalica topline koja će, u danim radnim uvjetima, osigurati maksimalnu energetska učinkovitost. Iz navedenog razloga je provedena usporedba i analiza energetske efikasnosti 3 različita tipa dizalica topline.

1. Tip: 4 dizalice topline VITOCAL 200-S AWB-M 201.D16 400 V~ 50 Hz u split izvedbi (Slika 5) sa maksimalnim toplinskim učinkom od 15 kW pri temperaturi polaznog voda (temperatura vode na izlazu iz kondenzatora dizalice topline) od 35°C, te maksimalnim rashladnim učinkom od 10 kW pri temperaturi polaznog voda (temperatura vode na izlazu iz isparivača dizalice topline) od 18°C.
2. Tip: 4 dizalice topline ENERGYCAL AW PRO AT 13 400 V~ 50 Hz u mono-blok izvedbi (Slika 5) sa maksimalnim toplinskim učinkom od 15 kW pri temperaturi polaznog voda (temperatura vode na izlazu iz kondenzatora dizalice topline) od 35°C, te maksimalnim rashladnim učinkom od 15 kW pri temperaturi polaznog voda (temperatura vode na izlazu iz isparivača dizalice topline) od 18°C.
3. Tip: 1 dizalica topline ENERGYCAL AW PRO AT 60 400 V~ 50 Hz u mono-blok izvedbi (Slika 5) sa maksimalnim toplinskim učinkom od 60 kW pri temperaturi polaznog voda (temperatura vode na izlazu iz kondenzatora dizalice topline) od 35°C, te maksimalnim rashladnim učinkom od 60 kW pri temperaturi polaznog voda (temperatura vode na izlazu iz isparivača dizalice topline) od 18 °C.



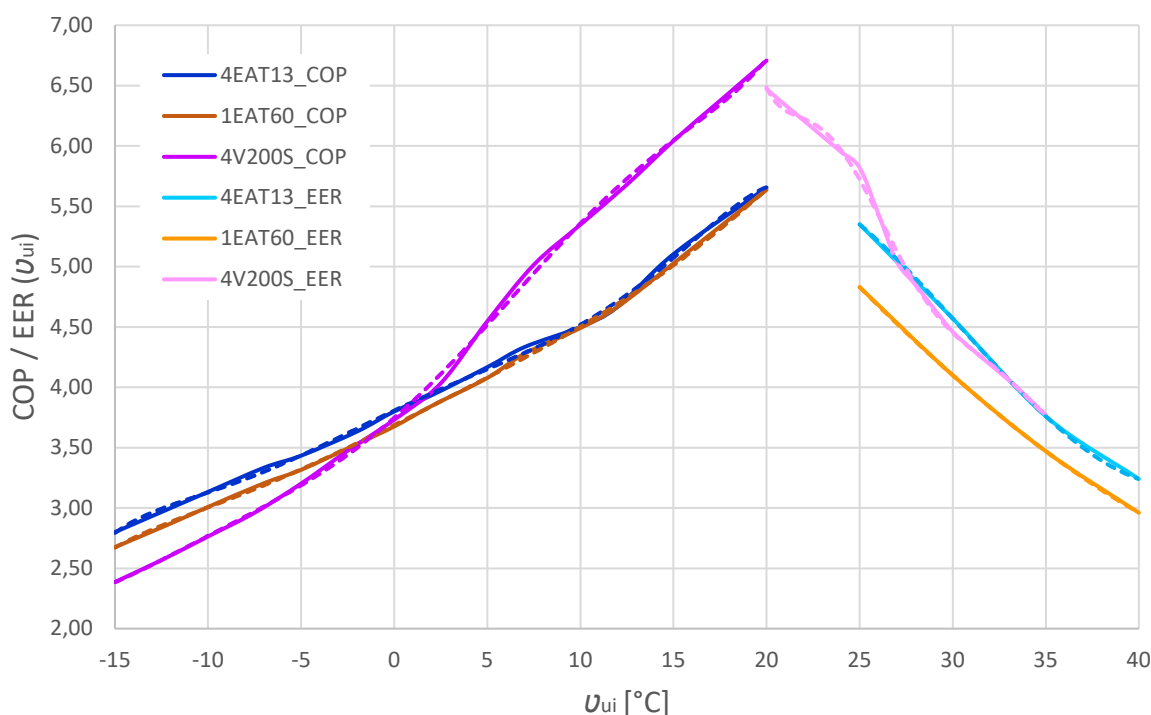
**Slika 5.** Tipovi dizalica topline: (a) VITOCAL 200-S AWB-M 201.D16 u split, te (b) ENERGYCAL AW PRO AT 13 i (c) ENERGYCAL AW PRO AT 60 u monoblok izvedbi, [13], [14] i [15]

Sve 3 navedene dizalice topline su tipa zrak-voda i predviđene su za izmjenično napajanje napona 400 V~ i 50 Hz. Analiza energetske efikasnosti ova 3 tipa dizalica topline je, kao što je prethodno (u 1. poglavlju) spomenuto, provedena usporedbom njihovih apsolutnih vrijednosti po mjesecima i prosječnih vrijednosti kroz godinu COP-ova i EER-ova s obzirom na temperaturnu sliku triju hrvatskih gradova (Slavonski Brod, Osijek i Zadar) u 2018. godini.

$$COP = \frac{P_g}{P_e} = \frac{\text{Ogrijevni učinak (Toplinska snaga dobivena dizalicom topline iz zraka)}}{\text{Primljena električna snaga (Električna snaga potrošena u dizalici topline)}}$$

$$EER = \frac{P_h}{P_e} = \frac{\text{Rashladni učinak (Toplinska snaga odvedena zraku dizalicom topline)}}{\text{Primljena električna snaga (Električna snaga potrošena u dizalici topline)}}$$

U tu su svrhu iz uputa za projektiranje dizalica topline (Vitocal 200-S AWB-M 201.D16 u split izvedbi [13], te Energycal AW PRO AT 13 [14] i Energycal AW PRO AT 60 u monoblok izvedbi [15]) prvo preuzete karakteristike svake od ovih dizalica topline. Karakteristike pojedinih tipova dizalica topline su dane dijagramski krivuljama ovisnosti COP-a i EER-a o temperaturi ulaznog zraka u isparivač dizalice topline odnosno temperaturi vanjskog zraka  $\nu_{ui}$  u obliku  $COP(\nu_{ui})$  i  $EER(\nu_{ui})$  i prikazane su punim linijama (Slika 6).



**Slika 6.** Aproksimacija karakteristika (faktora grijanja COP i faktora hlađenja EER) 3 tipa dizalica topline polinomima n-tog stupnja

Tako, dijagramski definirane, karakteristike su aproksimirane linijama trenda i prikazane su isprekidanim linijama i za njih su izvedene sljedeće analitičke funkcije u vidu polinoma 3. i 6. stupnja i to za sve COP-ove i sve EER-ove svakog od 3 tipa dizalica topline.

Opći oblik izvedenih funkcija sa koeficijentima i eksponentima polinoma je,

$$\text{COP(Tip dizalice topline)}=A \cdot v_{ui}^6 + B \cdot v_{ui}^5 + C \cdot v_{ui}^4 + D \cdot v_{ui}^3 + E \cdot v_{ui}^2 + F \cdot v_{ui} + G$$

$$\text{EER(Tip dizalice topline)}=A \cdot v_{ui}^6 + B \cdot v_{ui}^5 + C \cdot v_{ui}^4 + D \cdot v_{ui}^3 + E \cdot v_{ui}^2 + F \cdot v_{ui} + G$$

pri čemu su vrijednosti svih koeficijenata predmetnih polinoma dane tablično (Tablica 1).

**Tablica 1.** Koeficijenti aproksimacijskih funkcija COP-a i EER-a

Koeficijenti	TIP DIZALICE TOPLINE					
	Vitocal 200-S AWB-M 201.D16		Energycal AW PRO AT 13		Energycal AW PRO AT 60	
	Faktor					
	COP	EER	COP	EER	COP	EER
A	0,0000000273	0,0000070240	-0,0000000331	0,0000000000	-0,0000000088	0,0000000000
B	-0,0000000613	-0,0011953218	0,0000003871	0,0000000000	0,0000001968	0,0000000000
C	-0,0000175113	0,0839634287	0,0000138963	0,0000000000	0,0000030291	0,0000000000
D	-0,0000396200	-3,1141669004	-0,0000744691	0,0004266667	-0,0000398128	0,0000266667
E	0,0046365714	64,2880245357	-0,0008899815	-0,0390000000	0,0004412590	-0,0004000000
F	0,1340452587	-700,2769217074	0,0731075468	1,0183333333	0,0769353443	-0,1846666666
G	3,7472685323	3151,4940222375	3,8068441086	-2,4000000000	3,6879436366	9,2800000000

Ovako dobiveni aproksimacijski izrazi su primijenjeni na (od DHMZ-a dobivene) temperaturne slike u 2018. godini za gradove Slavonski Brod, Osijek i Zadar [16] sa ciljem određivanja funkcijske ovisnosti COP-a u periodu grijanja zgrade (od 1. do 5. i od 9. do 12. mjeseca) i EER-a u periodu hlađenja (od 5. do 9. mjeseca) zgrade (u skladu sa općim uvjetima za opskrbu toplinskom energijom [17]) o prosječnim mjesečnim i godišnjim temperaturama COP( $v_{MSB2018}$ ,  $v_{MOS2018}$ ,  $v_{MZD2018}$ ) i EER( $v_{MSB2018}$ ,  $v_{MOS2018}$ ,  $v_{MZD2018}$ ) koji su u konačnici osnova za analizu utjecaja izvedbe dizalice topline na energetska učinkovitost zgrade SFSB-a. Nakon toga su, analizom COP-a i EER-a, provedene sljedeće usporedbe.

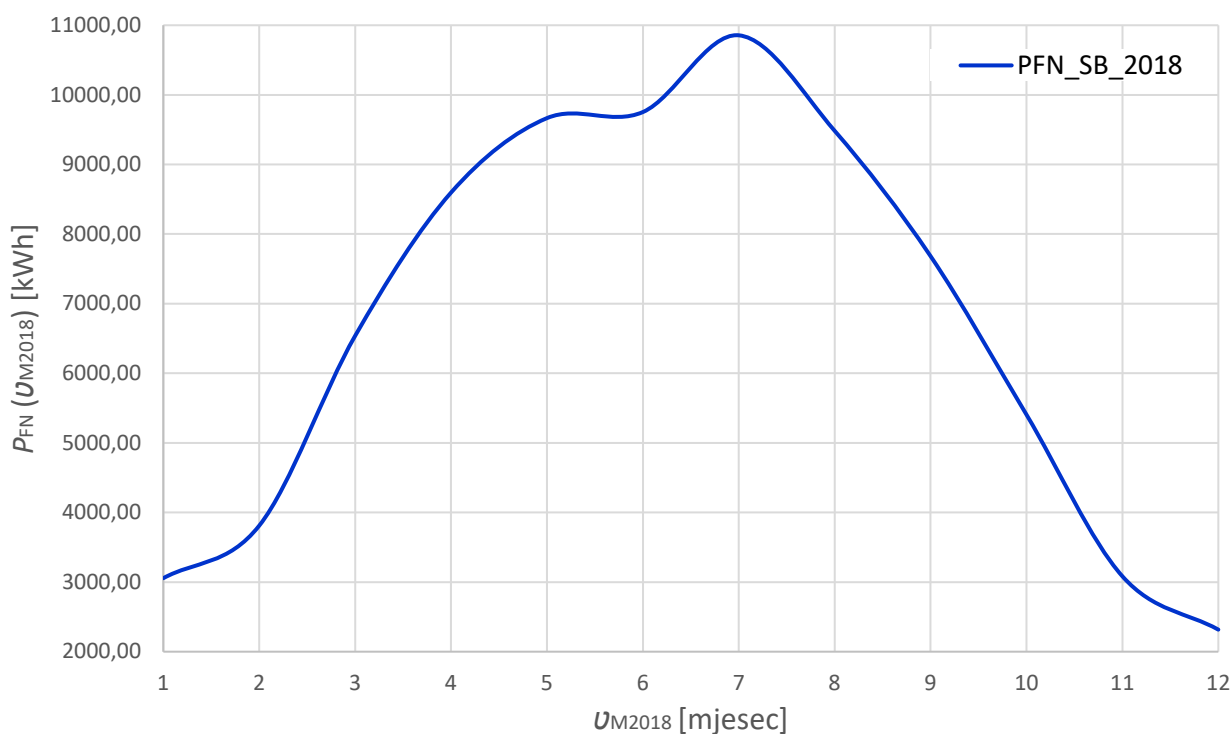
1. Usporedba toplinske učinkovitosti 4 paralelno spojene male monoblok dizalice topline zrak-voda od 15 kW (Energycal AW PRO AT 13) sa 1 velikom također monoblok dizalicom topline zrak-voda od 60 kW (Energycal AW PRO AT 60) snage adekvatne snazi 4-ju, prethodno spomenutih, malih pumpi. Ovom usporedbom se analizira energetska učinkovitost dizalica topline istog tipa (monoblok), a različite veličine i snage odnosno ogrjevnog i rashladnog učinka (15 kW i 60 kW).
2. Usporedba toplinske učinkovitosti 4 paralelno spojene male dizalice topline zrak-voda od 15 kW (Vitocal 200-S AWB-M 201.D16) u split izvedbi sa 4 paralelno spojene male dizalice topline zrak-voda od 15 kW (Energycal AW PRO AT 13) u monoblok izvedbi.

Ovom usporedbom se analizira energetska učinkovitost dizalica topline različitog tipa (split i monoblok), a iste veličine i snage odnosno ogrjevnog i rashladnog učinka (obadvije od 15 kW).

3. Usporedba toplinske efikasnosti, prethodnom analizom (pod točkama 1. i 2.) određene, energetske najučinkovitije dizalica topline za 3 različita grada (Slavonski Brod, Osijek i Zadar) sa različitom godišnjom temperaturnom slikom. Ovom usporedbom je analiziran utjecaj klimatskog podneblja na energetska učinkovitost dizalice topline istog tipa i istog ogrjevnog i rashladnog učinka.

#### 4. Analiza rezultata

Kao što je naznačeno na početku prethodnog poglavlja, procjena mjesečnih dobitaka električne energije iz planirane fotonaponske elektrane instalirane na krovu zgrade SFSB-a je provedena na bazi podataka dobivenih iz sustava PVGIS [18] s obzirom na intenzitet sunčevog zračenja tijekom mjeseci 2018. godine za geografske koordinate (45,155 / 18,022) lokacije na kojoj se nalazi zgrada SFSB-a (Slika 7).



**Slika 7.** Procijenjeni mjesečni dobitci električne energije iz planirane fotonaponske elektrane na krovu zgrade SFSB-a tijekom 2018. godine

Procijenjeni ukupno ostvareni godišnji dobitak električne energije, kao zbroj dobitaka ostvarenih po pojedinim mjesecima jedne kalendarske godine, iz fotonaponske elektrane na krovu zgrade SFSB-a je  $P_{FN} = 80245,36$  kWh od čega je 32805,91 kWh ili 40,88 %



ostvareno u periodu od 1. do 5., te od 9. do 12. mjeseca, dok je 47439,45 kWh ili 59,12 % ostvareno u periodu od 5. do 9. mjeseca.

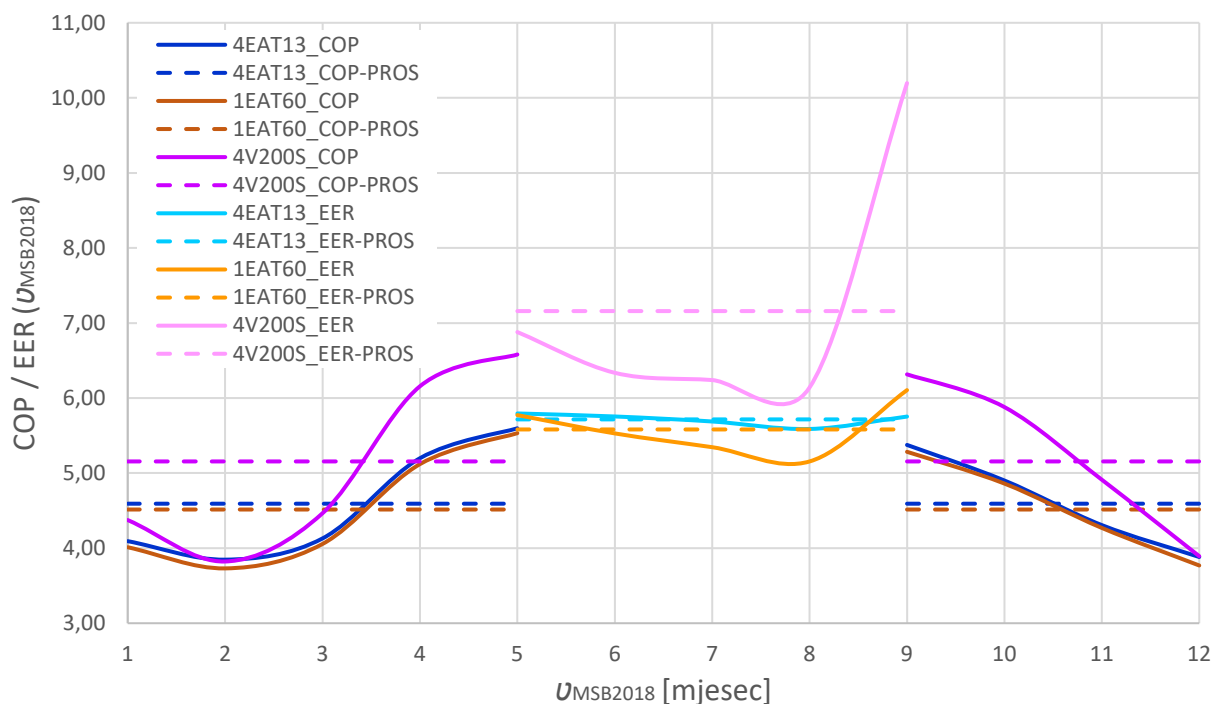
Analiza energetske učinkovitosti triju različitih tipova dizalica topline zrak-voda je bazirana na trima usporedbama navedenim na kraju prethodnog poglavlja, a analizirani će biti podatci koji se nalaze u dijagramima (Slika 8) i (Slika 9). Pune linije u navedenim dijagrama predstavljaju apsolutne mjesečne, a crtkane linije prosječne godišnje, vrijednosti COP-ova i EER-ova pojedinih tipova dizalica topline, dok boje pojedinih linija predstavljaju različite tipove dizalica topline u skladu sa danom legendom. Uz to, kao što je u prethodnom poglavlju rečeno, linije koje obuhvaćaju intervale grijanja od 1. do 5., te od 9. do 12. mjeseca predstavljaju vrijednosti COP-ova, a linije koje obuhvaćaju intervale hlađenja od 5. do 9. mjeseca predstavljaju vrijednosti EER-ova.

Usporedba energetske učinkovitosti dizalica topline istoga tipa (monoblok), a različite veličine i snage odnosno ogrjevnog i rashladnog učinka (15 kW i 60 kW), te dizalica topline različitog tipa (split i monoblok), a iste veličine i snage odnosno ogrjevnog i rashladnog učinka (obadvije od 15 kW) će biti provedene analizom podataka prikazanih dijagramski (Slika 8).

Iz priloženih dijagrama (Slika 8) se može vidjeti da sama veličina odnosno snaga dizalice topline pri usporedbi dizalica topline istoga tipa (obadvije su monoblok), a različite veličine odnosno ogrjevnog i rashladnog učinka (mala od 15 kW i velika od 60 kW) kao što su Energycal AW PRO AT 13 (4EAT13 / Tamno plava za COP, te 4EAT13 / Svjetlo plava za EER) i Energycal AW PRO AT 60 (1EAT60 / Tamno smeđa za COP, te 1EAT60 / Svjetlo smeđa za EER) nema velik utjecaj na energetske učinkovitost niti u periodu grijanja niti u periodu hlađenja. Prosječna godišnja vrijednost COP-a male monoblok dizalice topline je 4,59, a velike 4,52, što daje malu prednost od samo 1,55 % manjoj dizalici topline. Slična je situacija i u periodu hlađenja kod kojeg je prosječna vrijednost EER-a male dizalice 5,72, a velike 5,58, što opet daje vrlo malu prednost od 2,51 % manjoj dizalici topline. Uz to, može se vidjeti i da je mala dizalica topline u prednosti tijekom cijelog perioda grijanja, te u periodu hlađenja tijekom cijelog 5., 6., 7. i 8. mjeseca, a velika dizalica topline preuzima blagu prednost samo u prvoj polovici 9. mjeseca.

Sa druge strane, iz dijagrama (Slika 8), se već na prvi pogled može zaključiti da tip dizalice topline pri usporedbi dizalica topline različitog tipa (split i monoblok), a iste veličine odnosno ogrjevnog i rashladnog učinka (obadvije od 15 kW) kao što su Vitocal 200-S AWB-M 201.D16 (4V200S / Tamno ljubičasta za COP, te 4V200S / Svjetlo ljubičasta za EER) i Energycal AW PRO AT 13 (4EAT13 / Tamno plava za COP, te 1EAT60 / Svjetlo plava za EER) ima vrlo velik utjecaj na energetske učinkovitost i u periodu grijanja i u periodu hlađenja. Prosječna godišnja vrijednost COP-a split dizalice topline je 5,16, a monoblok 4,59, što daje veliku prednost od 12,42 % dizalici topline u split izvedbi. Još je povoljnija situacija u periodu hlađenja kod kojeg je prosječna vrijednost EER-a split dizalice 7,16, a monoblok 5,72, što opet daje veliku prednost od 25,17 % split dizalici topline. Uz već rečeno, može se vidjeti i da je split dizalica topline u prednosti i tijekom cijelog perioda grijanja i tijekom cijelog perioda hlađenja.

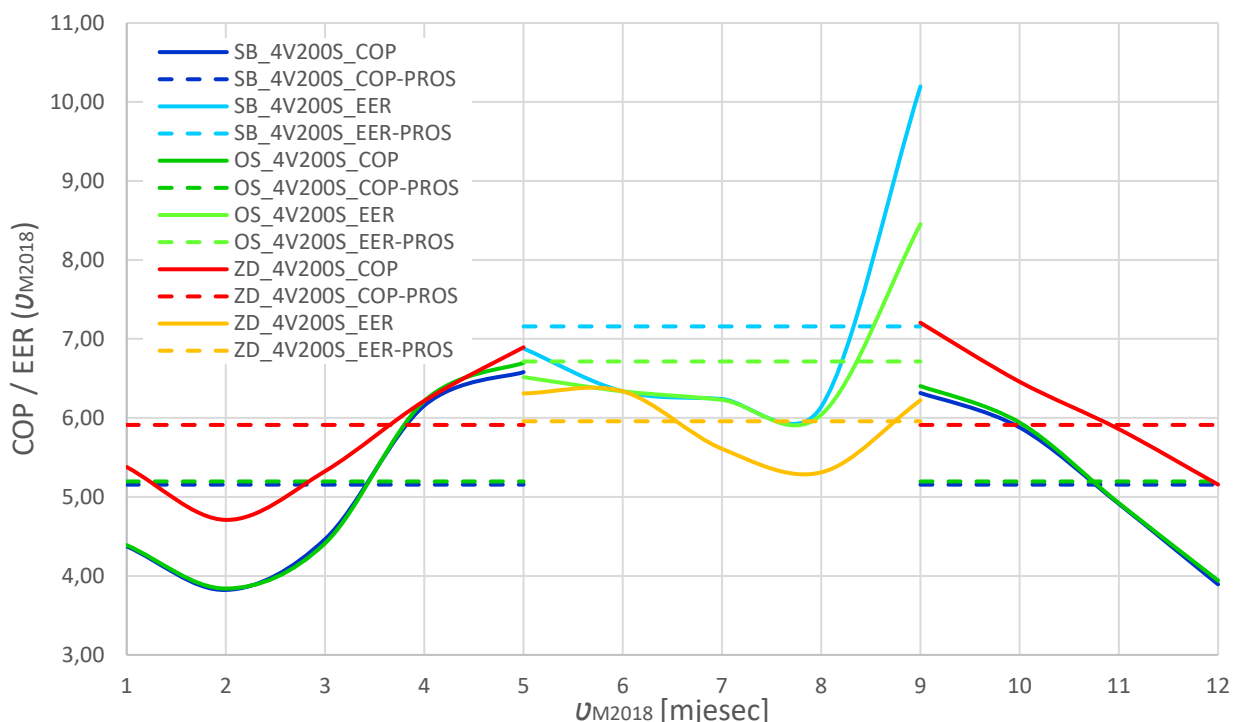




**Slika 8.** Apsolutne vrijednosti po mjesecima 2018. godine i prosječne vrijednosti u 2018. godini COP-a i EER-a za 3 različita tipa dizalice topline u gradu Slavenskom Brodu

Analiza utjecaja klimatskog podneblja (kontinentalna i mediteranska klima) na energetske učinkovitosti odabrane optimalne izvedbe dizalice topline je provedena analizom podataka prikazanih dijagramima (Slika 9). Prethodno provedene analize su pokazale da je za optimalnu izvedbu dizalice topline opravdano uzeti dizalicu topline split tipa Vitocal 200-S AWB-M 201.D16, što je za potrebe ove analize i učinjeno. Provedena je analiza energetske efikasnosti navedene, odabrane dizalice topline u različitim klimatskim podnebljima i to sjever Slavonije (Osijek), jug Slavonije (Slavonski Brod) i srednja Dalmacija (Zadar). Iz priloženih dijagrama (Slika 9) se može vidjeti da lokacija unutar istog kontinentalnog podneblja (Kontinent / Kontinent), Osijek na sjeveru (Tamno zelena linija) i Slavonski Brod (Tamno plava linija) na jugu Slavonije, u periodu grijanja gotovo uopće ne utječe na energetske učinkovitosti ove dizalice topline dok u periodu hlađenja (Osijek / Svjetlo zelena linija, a Slavonski Brod / Svjetlo plava linija) taj utjecaj baš i nije zanemariv. Prosječna godišnja vrijednost COP-a za Osijek je 5,20, a za Slavonski Brod 5,16, što daje neznatnu prednost, od samo 0,08 %, energetske učinkovitosti ove dizalice topline pri njezinoj eksploataciji u Osijeku u odnosu na njezinu eksploataciju u Slavenskom Brodu tijekom perioda grijanja, dok je prosječna godišnja vrijednost EER-a za Osijek 6,71, a za Slavonski Brod 7,16, što daje znatnu prednost, od 6,71 %, energetske učinkovitosti ove dizalice topline pri njezinoj eksploataciji u Slavenskom Brodu u odnosu na njezinu eksploataciju u Osijeku tijekom perioda hlađenja. Uz navedeno, može se vidjeti i da je energetska efikasnost pri eksploataciji ove dizalice topline u neznatnoj prednosti u Osijeku tijekom cijelog perioda grijanja, a u znatnoj prednosti u Slavenskom Brodu tijekom cijelog perioda hlađenja.

Sa druge strane, iz dijagrama (Slika 9), se može vidjeti da lokacija u različitim kontinentalnim podneblja (Kontinent / Mediteran), Slavonski Brod (Tamno plava linija) na jugu Slavonije i Zadar (Crvena linija) u srednjoj Dalmaciji, i u periodu grijanja i u periodu hlađenja (Slavonski Brod / Svjetlo plava linija, a Zadar / narančasta linija) ima izuzetno velik utjecaj na energetska učinkovitost ove dizalice topline. Prosječna godišnja vrijednost COP-a za Slavonski Brod je 5,16, a za Zadar 5,91, što daje veliku prednost, od 14,53 %, energetska učinkovitosti ove dizalice topline pri njezinoj eksploataciji u Zadru u odnosu na njezinu eksploataciju u Slavonskom Brodu tijekom perioda grijanja, dok je prosječna godišnja vrijednost EER-a za Slavonski Brod 7,16, a za Zadar 5,96, što daje ogromnu prednost, od 20,13 %, energetska učinkovitosti ove dizalice topline pri njezinoj eksploataciji u Slavonskom Brodu u odnosu na njezinu eksploataciju u Zadru tijekom perioda hlađenja. Uz navedeno, može se vidjeti i da je energetska efikasnost pri eksploataciji ove dizalice topline u velikoj prednosti u Zadru tijekom cijelog perioda grijanja, a u ogromnoj prednosti u Slavonskom Brodu tijekom cijelog perioda hlađenja.



**Slika 9.** Apsolutne vrijednosti po mjesecima 2018. godine i prosječne vrijednosti u 2018. godini COP-a i EER-a za optimalnu izvedbu dizalice topline (split izvedba VITOCAL 200-S AWB-M 201.D16) za 3 različita grada Slavonski Brod, Osijek i Zadar

## 5. Zaključak

Analizama provedenim u okviru ovoga rada je, sa ciljem što efikasnijeg ispunjenja zahtjeva nZEB standarda kao svojevrsnog ideala energetske učinkovitosti, procijenjen utjecaj sustava fotonaponske pretvorbe na ukupnu energetska učinkovitost zgrade SFSB-a i određeno optimalno tehničko rješenje izvedbe sustava grijanja potpomognutog dizalicama topline za istu zgradu.



Procijenjeni ukupno ostvareni godišnji dobitak električne energije iz fotonaponske elektrane na krovu zgrade SFSB-a je  $P_{FN} = 80245,36$  kWh od čega je 32805,91 kWh ili 40,88 % ostvareno u periodu od 1. do 5., te od 9. do 12. mjeseca, dok je 47439,45 kWh ili 59,12 % ostvareno u periodu od 5. do 9. mjeseca.

Analizom energetske učinkovitosti triju različitih tipova dizalica topline je utvrđeno da najveći utjecaj na energetske učinkovitost, i u periodu grijanja i u periodu hlađenja, ima tip odnosno vrsta dizalice topline. Pri tome, s obzirom na energetske učinkovitost, dizalice topline u split izvedbi (Vitocal 200-S AWB-M 201.D16) prednjače u odnosu na dizalice topline u monoblok izvedbi za isti ogrjevni i rashladni učinak, čemu u prilog govore sljedeći podaci. Prosječna godišnja vrijednost COP-a ove split dizalice topline je 5,16, a monoblok 4,59, što daje veliku prednost od 12,42 % dizalici topline u split izvedbi. Još je povoljnija situacija u periodu hlađenja kod kojeg je prosječna vrijednost EER-a split dizalice 7,16, a monoblok 5,72, što opet daje veliku prednost od 25,17 % split dizalici topline. Ovome se još može dodati i da su dizalice topline u split izvedbi za oko 40 do 50 % jeftinije od dizalica topline u monoblok izvedbi istog ogrjevnog i rashladnog učinka.

Analizom utjecaja klimatskog podneblja (kontinentalna i mediteranska klima) na energetske učinkovitost odabrane optimalne split izvedbe dizalice topline je ustanovljeno da lokacija unutar istog kontinentalnog podneblja (Kontinent-Osijek / Kontinent-Slavonski Brod) nema velik utjecaj na energetske učinkovitost ove dizalice topline, dok lokacija u različitim kontinentalnim podneblja (Kontinent-Slavonski Brod / Mediteran-Zadar) ima izuzetno velik utjecaj na energetske učinkovitost ove dizalice topline i tijekom perioda grijanja i tijekom perioda hlađenja. Tome u prilog svjedoče sljedeći podaci. Prosječna godišnja vrijednost COP-a za Slavonski Brod je 5,16, a za Zadar 5,91, što daje veliku prednost, od 14,53 %, energetske učinkovitosti ove dizalice topline pri njezinoj eksploataciji u Zadru u odnosu na njezinu eksploataciju u Slavonskom Brodu tijekom perioda grijanja, dok je prosječna godišnja vrijednost EER-a za Slavonski Brod 7,16, a za Zadar 5,96, što daje ogromnu prednost, od 20,13 %, energetske učinkovitosti ove dizalice topline pri njezinoj eksploataciji u Slavonskom Brodu u odnosu na njezinu eksploataciju u Zadru tijekom perioda hlađenja.

## 6. Priznanje

Ovo istraživanje je podržano interdisciplinarnim istraživačkim projektom „*Uspostava interdisciplinarne istraživačke grupe u području obnovljivih izvora energije i njihove integracije u buduće napredne energetske sustave*“, Sveučilišta J.J. Strossmayer iz Osijeka. Uz to, ovaj rad predstavlja i svojevrsni doprinos razvoju objekta SFSB prema nZEB planiranog unutar Interreg-IPA CBC RESCUE (Renewable Energy Sources for smart sustainable health Centers, University Education and other public buildings) projekta [19] kojeg je voditelj Fakultet tehničkih nauka iz Novog sada, a partneri su Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Klinički centar Vojvodine i Klinički bolnički centar Osijek.

## 7. Literatura

[1] Ujedinjeni narodi. Prvo izvješće IPCC-a (Intergovernmental Panel on Climate Change) o klimatskim promjenama, Geneve, 1990.



- [2] Ujedinjeni narodi. Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o klimatskim promjenama UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), New York, 1992.
- [3] Ujedinjeni narodi. Protokol iz Kyota, Kyoto, 2005.
- [4] Ujedinjeni narodi. Pariški sporazum, Pariz, 2015.
- [5] Europski parlament i Vijeće. Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća (EU) 2010/31/EU od 19. svibnja 2010. o energetske učinkovitosti zgrada, 2010.
- [6] Europski parlament i Vijeće. Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća (EU) 2018/844 od 30. svibnja 2018. o izmjeni Direktive 2010/31/EU o energetske svojstvima zgrada, 2018.
- [7] Europski parlament i Vijeće. Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća (EU) 2012/27/EU od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti zgrada, 2012.
- [8] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske. Smjernice za zgrade gotovo nulte energije, Zagreb, 2019.
- [9] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske. Zakon o gradnji NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19, Zagreb, 2019.
- [10] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja Republike Hrvatske. Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinske zaštiti zgrada NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18, Zagreb, 2018.
- [11] Viessmann d.o.o. Hrvatska. Katalog fotonaponskih modula Vitovolt 300, Zagreb, 2020., Stranica 3.
- [12] European Commission (EU SCIENCE HUB). PVGIS (PhotoVoltaic Geographical Information System), 2020.
- [13] Viessmann d.o.o. Hrvatska. Upute za projektiranje dizalice topline Vitocal 200-S AWB-M 201.D16 400 V~ i 50 Hz, Zagreb, 2019., Stranice 8., 29., 54-56.
- [14] Viessmann d.o.o. Hrvatska. Upute za projektiranje dizalice topline Energycal AW PRO AT 13 400 V~ i 50 Hz, Zagreb, 2018., Stranice od 33. do 37.
- [15] Viessmann d.o.o. Hrvatska. Upute za projektiranje dizalice topline Energycal AW PRO AT 60 400 V~ i 50 Hz, Zagreb, 2016., Stranice od 31 do 33.
- [16] DHMZ / Državni Hidrometeorološki Zavod. Temperaturne slike (tablično po satima) u 2018. godini za gradove Slavonski Brod, Osijek i Zadar, Zagreb, 2020.
- [17] Hrvatska energetska regulatorna agencija. Opći uvjeti za opskrbu toplinskom energijom, Zagreb, 2014.
- [18] European Commission (EU SCIENCE HUB). PVGIS Performance of grid-connected PV / Procijenjeni mjesečni dobitci električne energije iz fotonaponske elektrane na krovu zgrade SFSB-a, 2020.
- [19] Interreg-IPA CBC RESCUE (Renewable Energy Sources for smart sustainable health Centers, University Education and other public buildings) project number HR-RS303, 2019.



**Procjena uštede u potrošnji plina i električne energije u zgradi SFBSB-a zbog doprinosa obnovljive energije iz dizalica topline i fotonaponske elektrane**  
***Estimation of savings in gas and electricity consumption in the MEFS building due to the contribution of renewable energy from heat pumps and photovoltaic power plants***

**Ž. Zmaić<sup>1,\*</sup>, A. Barac<sup>1</sup>, M. Holik<sup>1</sup>, M. Stojkov<sup>1</sup>, M. Živić<sup>1</sup>,  
D. Šljivac<sup>2</sup>, A. Čikić<sup>3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [zeljko.zmaic@sfsb.hr](mailto:zeljko.zmaic@sfsb.hr)

**Sažetak**

Osnova visokoefikasnog iskorištavanja obnovljivih izvora energije (OIE), u cilju postizanja što veće razine sukladnosti sa zahtjevima standarda zgrade gotovo nulte energije (engl, nearly zero-energy building, nZEB), leži (uz ostalo) u razvoju i primjeni novih inovativnih tehničkih rješenja izvedbe sustava grijanja potpomognutih dizalicama topline (DT) kao i primjeni sustava fotonaponske pretvorbe u vidu fotonaponskih elektrana (FNE). Nadogradnja postojećeg sustava plinskog grijanja dizalicama topline, te izgradnja fotonaponskog sustava, u konačnici rezultiraju uštedama u potrošnji goriva za grijanje (plina) i električne energije. Implementacija prethodno navedenih tehničkih rješenja u zgradu Strojarskog fakulteta u Slavonskom Brodu (SFBSB-a) nameće potrebu procjene potencijalne uštede u potrošnji plina i električne energije. Stoga su u okviru ovoga rada procijenjene: mjesečne i godišnja ušteda u potrošnji plina za grijanje uzrokovana zamjenom topline dobivene izgaranjem plina u plinskom kotlu (PK) sa toplinom dobivenom iz DT zrak-voda, ušteda u potrošnji električne energije (EE) zbog doprinosa iz FNE, te ukupna novčana ušteda na plinu i električnoj energiji u zgradi SFBSB-a zajedno. Daljnja istraživanja pretpostavljaju procjenu uštede na električnoj energiji pri hlađenju, te izgradnju algoritma i softvera, za provedbu brže i efikasnije procjene ušteda na utrošenom plinu i električnoj energiji u okolnostima primjene novih visokoefikasnih tehničkih rješenja za energetski učinkovitije iskorištavanje obnovljivih izvora energije, baziranog na metodologiji primijenjenoj u okviru ovoga rada.





**Ključne riječi:** obnovljivi izvor energije (OIE), nZEB standard, dizalica topline (DT), fotonaponska elektrana (FNE), energetska učinkovitost

### Abstract

The basis of highly efficient use of renewable energy sources (RES), in order to achieve the highest level of compliance with the requirements of nZEB (nearly zero-energy building) towards near zero energy consumption of building supplied by gas or electricity, lies in the development and application of new innovative technical solutions for heating systems designed with integration of heat pumps (HP) as well as the application of photovoltaic conversion systems in the form of photovoltaic power plants (PVPP). Upgrading the existing heating system with heat pumps, and installing of photovoltaic power plant, ultimately results in savings in heating fuel (gas) and electricity consumption. The implementation of the aforementioned technical solutions in the building of the Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod (MEFSB) imposes the need to assess the savings in gas and electricity consumption. Therefore, monthly and annual energy consumption are estimated in this paper: savings in heating gas consumption caused by replacing heat energy obtained by combustion of gas in a gas boiler (GB) with heat obtained from air-to-water HP, savings in electricity consumption in a building due to PVPP contributions, and the total cash savings on gas and electricity in the MEFSB building together. Further research assumes the estimation of savings in electricity consumption for cooling and the developing of algorithms and software to perform faster and more efficient assessment of savings on gas and electricity consumption in the circumstances of applying new highly efficient technical solutions for more efficient use of renewable energy sources, based on the methodology applied in this paper.

**Key words:** renewable energy source (RES), nZEB standard, heat pump (HP), photovoltaic power plant (PVPP), energy efficiency

### 1. Uvod

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu svoj doprinos ostvarenju globalnih ciljeva smanjenja potrošnje energije za grijanje i hlađenje svoje zgrade iz obnovljivih izvora energije, a time i smanjenja emisije stakleničkih plinova u atmosferu, daje instalacijom dizalica topline, te izgradnjom fotonaponske elektrane kao obnovljivih izvora energije. Nadogradnja postojećeg sustava plinskog grijanja dizalicama topline rezultira smanjenjem potrošnje fosilnih goriva za grijanje, u ovom slučaju plina, kao obnovljivog izvora energije, dok se izgradnjom fotonaponske elektrane smanjuje ovisnost o javnom elektrodistribucijskom sustavu (JEDS) što rezultira smanjenjem potrošnje svih vrsta goriva iz obnovljivih izvora energije (ugljena i plina u termoelektranama na fosilna goriva, te radioaktivnih materijala u nuklearnim elektranama). Uz to, u konačnici smanjenje potrošnje bilo kojeg od ovih skupih goriva iz obnovljivih izvora energije i njihova zamjena besplatnom energijom iz obnovljivih izvora energije rezultira i velikim financijskim uštedama. Ovime se posljedično otvara potreba istraživanja, kako utjecaja obnovljivih izvora energije na energetska učinkovitost zgrade SFSB-a, tako i financijskih ušteda zbog zamjene skupih obnovljivih izvora energije



besplatnim obnovljivim izvorima energije (s aspekta goriva). Upravo to i je glavni cilj i svrha istraživanja provedenog u okviru ovoga rada.

U tu je svrhu prvo izrađena energijska bilanca kojom su određeni i prikazani svi uvozi i svi izvozi toplinske i električne energije u zgradu SFSB-a generirani obnovljivim izvorima energije (DT i FNE čija je izgradnja u planu) u već postojeći sustav grijanja plinom i opskrbe električnom energijom (JEDS). Nakon toga je izrađena financijska bilanca kojom su određene i prikazane financijske uštede na uvezenoj odnosno kupljenoj energiji iz neobnovljivih izvora energije, a koje su direktna posljedica zamjene te energije energijom iz obnovljivih izvora energije.

## 2. Osnovne karakteristike starog i novog sustava grijanja i sustava opskrbe EE

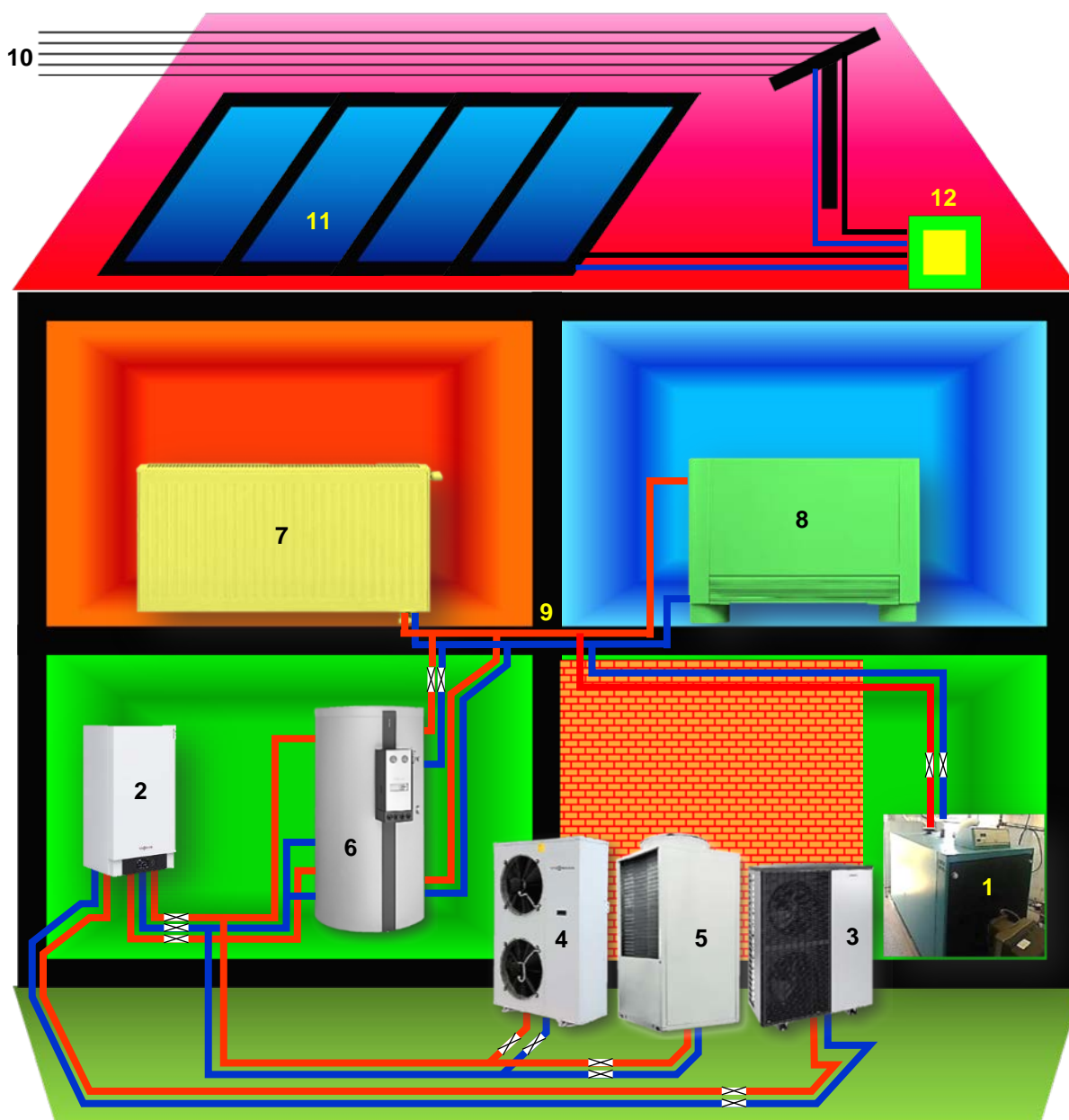
Dosadašnji, stari sustav grijanja zgrade SFSB-a je baziran isključivo na grijanju ogrjevnog vode plinom u plinskom kotlu nazivne snage 320 kW sa maksimalnim radnim tlakom od 3 bara, maksimalnom radnom temperaturom vode od 90°C i maksimalnom količinom vode u kotlu od 360 l (Slika 1). Dosadašnja opskrba električnom energijom je bazirana isključivo na uvozu električne energije iz HEP-ovog javnog elektrodistribucijskog sustava.



**Slika 10.** Plinski kotao u kotlovnici zgrade SFSB-a

Osnovni dijelovi novog sustava grijanja i opskrbe električnom energijom (Slika 2) su: plinski kotao (1), unutrašnja jedinica dizalice topline u split izvedbi (2), vanjska jedinica dizalice topline u split izvedbi (3), dizalica topline u monoblok izvedbi 1. tipa (4), dizalica topline u monoblok izvedbi 2. tipa (5), spremnik tople ogrjevnog vode (TOV) i protočne tople vode (PTV) (6), radiator kao ogrjevno tijelo (7), ventilkonvektor kao ogrjevno i rashladno tijelo (8),

sustav razvoda tople i hladne vode (cijevi i ventili) (9), HEP-ova javna elektrodistribucijska mreža (JEDM) (10), vlastita fotonaponska elektrana (11) i elektroregulacijski sustav (12). Glavni dio novog sustava grijanja je dizalica topline, a novog sustava opskrbe električnom energijom vlastita fotonaponska elektrana, pri čemu su njihovi osnovni dijelovi, princip njihovog rada, te vrsta odnosno odabrani optimalni tip dizalice topline, koji će u ovome radu biti analiziran, detaljno opisani i objašnjeni u okviru jednog prijašnjeg istraživanja. Odabrana optimalna izvedba dizalice topline koja će biti detaljno analizirana u ovome radu je dizalica topline u split izvedbi tipa Vitocal 200-S AWB-M 201.D16 400 V~ 50 Hz (2) i (3), dok su dizalice topline u monoblok izvedbi Energycal AW PRO AT 13 (4) i Energycal AW PRO AT 60 (5) navedene samo kao moguća alternativna rješenja, ali u okviru ovoga rada nisu analizirane.



**Slika 11.** Novi sustav grijanja plinom potpomognut DT i sustav opskrbe električnom energijom potpomognut vlastitom FNE

### 3. Metodologija istraživanja i matematički model

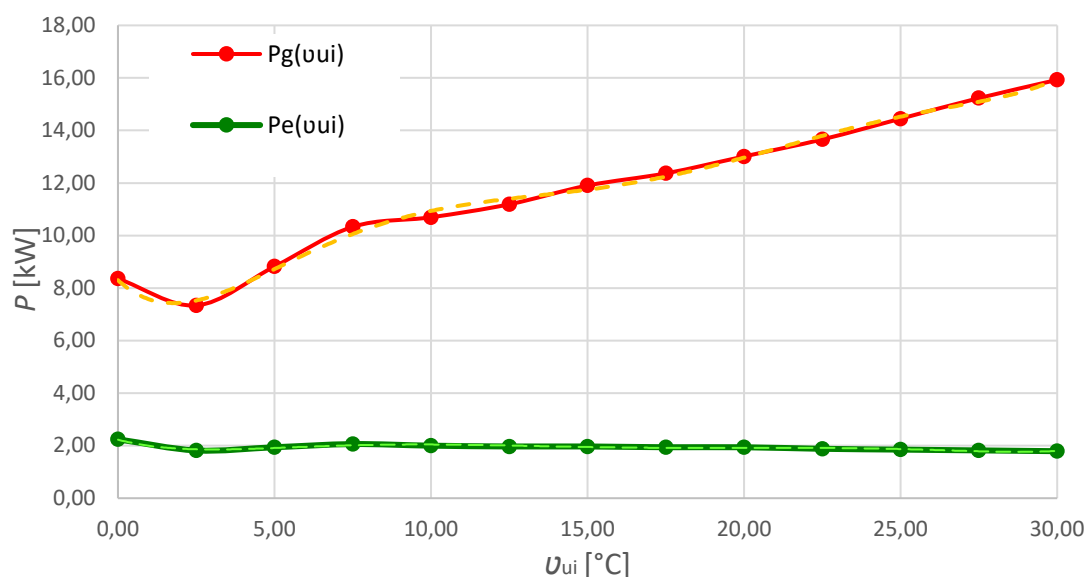
Sa ciljem procjene uštede u potrošnji plina, uslijed potpore dizalica topline plinskom kotlu, te procjene uštede u potrošnji električne energije uslijed potpore fotonaponske elektrane javnoj elektrodistribucijskoj mreži, prvo je izrađena energijska bilanca kojom su određeni svi ulazi i izlazi odnosno preuzete i predane energije s obzirom na njihovog dobavljača i na njihov izvor, a potom su, na osnovi izračunate energetske potrošnje, određeni odnosno izračunati svi financijski troškovi i dobiti, te u konačnici i pojedinačne uštede na plinu, električnoj energiji i na njima zajedno.

Prethodnim istraživanjima, usporedbom energetske učinkovitosti različitih tipova dizalica topline, je utvrđeno da najveću energetska učinkovitost među dizalicama topline, u danim radnim uvjetima (zgrada SFSB-a u Slavonskom Brodu), osiguravaju dizalice topline u split izvedbi Vitocal 200-S AWB-M 201.D16, 400 V~ 50 Hz sa maksimalnim toplinskim učinkom od 15 kW pri temperaturi polaznog voda (temperatura vode na izlazu iz kondenzatora dizalica topline) od 35°C (4 jedinice).

Temeljna veličina energetske bilance plina je toplinski učinak  $P_g$ , a električne energije, primljena električna snaga  $P_e$  kod grijanja pri temperaturi polaznog voda od 35°C dizalica topline Vitocal 200-S AWB-M 201.D16 400 V~ 50 Hz.

U svrhu njihovog određivanja su, iz uputa za projektiranje dizalica topline Vitocal 200-S AWB-M 201.D16 400 V~ 50 Hz [1] u split izvedbi, preuzete njezine karakteristike. Karakteristike ove dizalica topline su dane dijagramski krivuljama ovisnosti  $P_g$  i  $P_e$  o temperaturi ulaznog zraka na ulazu u isparivač dizalica topline odnosno temperaturi vanjskog zraka  $\nu_{ui}$  u obliku  $P_g(\nu_{ui})$  i  $P_e(\nu_{ui})$  i prikazane su punim linijama (Slika 3).

Tako, dijagramski definirane, karakteristike su aproksimirane linijama trenda i prikazane isprekidanim linijama, te su za njih izvedene sljedeće analitičke funkcije u vidu polinoma 6. stupnja.



**Slika 12.** Aproksimacija karakteristika (toplinskog učinka  $P_g$ , i primljene električne snage  $P_e$ ) DT Vitocal 200-S AWG-M 201.D16 400 V~ 50 Hz polinomima 6-tog stupnja

Opći oblik izvedenih funkcija sa koeficijentima i eksponentima polinoma je,

$$P_g(u_{ui}) = A \cdot u_{ui}^6 + B \cdot u_{ui}^5 + C \cdot u_{ui}^4 + D \cdot u_{ui}^3 + E \cdot u_{ui}^2 + F \cdot u_{ui} + G$$

$$P_e(u_{ui}) = A \cdot u_{ui}^6 + B \cdot u_{ui}^5 + C \cdot u_{ui}^4 + D \cdot u_{ui}^3 + E \cdot u_{ui}^2 + F \cdot u_{ui} + G$$

pri čemu su vrijednosti svih koeficijenata predmetnih polinoma dane tablično (Tablica 1).

**Tablica 1.** Koeficijenti aproksimacijskih funkcija za  $P_g$  i  $P_e$

Snaga	DT VISSMANN VITOCAL 200-S-AWB-M 201.D16 400 V~ 50 Hz						
	Koeficijent						
	A	B	C	D	E	F	G
$P_g$	0,0000007471	-0,0000744597	0,0028440071	-0,0514699695	0,4355839019	-1,1198467159	8,3042233215
$P_e$	0,0000001575	-0,0000153751	0,0005773024	-0,0103846706	0,0895110451	-0,3143914758	2,2285877618

Ovako dobiveni aproksimacijski izrazi su primijenjeni na (od DHMZ-a dobivene) temperaturne slike u 2018. godini za grad Slavonski Brod [2] sa ciljem određivanja funkcijske ovisnosti  $P_g(u_{M2018})$  i  $P_e(u_{M2018})$  o prosječnim mjesečnim temperaturama koje su u konačnici osnova za analizu uštede na plinu i električnoj energiji pri planiranoj primjeni navedenih dizalica topline i fotonaponske elektrane. Nakon toga su, analizom sljedećih veličina, izrađene energijske i financijske bilance plina i električne energije.

Osnovne veličine energijske bilance plina su:

1.  $E_{PSi}$  i  $E_{PS}$  (1) stari mjesečni i godišnji dobitci toplinske energije samo iz plina prije instalacije dizalica topline u kWh,
2.  $E_{DTi}$  i  $E_{DT}$ , te  $E_{UŠPi}$  i  $E_{UŠP}$  (2) mjesečni i godišnji dobitci toplinske energije samo iz instaliranih dizalica topline, odnosno mjesečna i godišnja ušteda toplinske energije iz plina zbog dobitaka topline iz dizalica topline u kWh,
3.  $E_{PNi}$  i  $E_{PN}$  (3) preostala nova mjesečna i godišnja potreba za toplinskom energijom iz plina nakon instaliranja dizalica topline u kWh.

Pri čemu je:

$$E_{PS} = \sum_{i=1}^{12} E_{PSi} \quad (1),$$

$$E_{DT} = E_{UŠP} = \sum_{i=1}^{12} E_{DTi} = \sum_{i=1}^{12} E_{UŠPi} = \sum_{i=1}^{12} 12 \cdot z \cdot n \cdot P_{gi} \quad (2),$$





$$E_{PN} = E_{PS} - E_{DT} = \sum_{i=1}^{12} E_{PNi} = \sum_{i=1}^{12} (E_{PSi} - E_{DTi}) \quad (3),$$

gdje je  $i=1$  do 12 redni broj mjeseca,  $z=28, 30$  ili  $31$  broj dana u  $i$ -tom mjesecu,  $n=4$  broj ukupno instaliranih dizalica topline, a  $P_{gi}$  toplinski učinak jedne dizalice topline u promatranom mjesecu u kW, prema njezinoj karakteristiki.

Osnovne veličine financijske bilance plina su:

1.  $T_{PSi}$  i  $T_{PS}$  (4) stari mjesečni i godišnji financijski troškovi za toplinsku energiju samo iz plina prije instalacije dizalica topline u kn/mjesečno i kn,
2.  $D_{DTi}$  i  $D_{DT}$ , te  $D_{UŠPi}$  i  $D_{UŠP}$  (5) mjesečno i godišnje smanjenje financijskih troškova odnosno ušteda na toplinskoj energiji iz plina zbog dobitaka topline iz dizalica topline u kn/ mjesčno i kn,
3.  $T_{PNi}$  i  $T_{PN}$  (6) preostali novi mjesečni i godišnji financijski troškovi zbog preostale potrebe za toplinskom energijom iz plina nakon instaliranja dizalica topline u kn/mjesečno i kn.

Pri čemu je:

$$T_{PS} = E_{PS} \cdot (C_P + C_T) = \sum_{i=1}^{12} T_{PSi} = \sum_{i=1}^{12} E_{PSi} \cdot (C_P + C_T) \quad (4),$$

$$D_{DT} = E_{DTi} \cdot (C_P + C_T) = D_{UŠP} = E_{UŠP} \cdot (C_P + C_T) = \sum_{i=1}^{12} D_{DTi} = \sum_{i=1}^{12} D_{UŠPi} = \sum_{i=1}^{12} 24 \cdot i \cdot n \cdot P_{gi} \cdot (C_P + C_T) \quad (5),$$

$$T_{PN} = E_{PN} \cdot (C_P) = \sum_{i=1}^{12} T_{PNi} = \sum_{i=1}^{12} (T_{PSi} - D_{DTi}) \quad (6),$$

gdje je  $C_P$  od 0,2473 kn/kWh jedinična cijena iz plina dobivene toplinske energije, a  $C_T$  od 0,0081 kn/kWh trošarina. Svi iznosi toplinskih energija su u kWh, a svi troškovi, dobitci i uštede toplinske energije u kn.

Ključan korak za postizanje visokoefikasnog sustava opskrbe električnom energijom, potpomognutog fotonaponskom elektranom, je procjena mogućnosti proizvodnje električne energije iz fotonaponskog sustava s obzirom na geografski položaj fotonaponskog sustava primjenom PVGIS (PhotoVoltaic Geographical Information System) metodologije [3] i [4]. U tu su svrhu iz navedenog sustava direktno preuzete karakteristike fotonaponske elektrane instalirane na krovu zgrade SFSB-a odnosno očekivani dobitci (proizvodnja) električne energije po 1 m<sup>2</sup> površine fotonaponske elektrane iz kojih su izračunati ukupni dobitci odnosno proizvodnja električne energije.

Osnovne veličine energijske bilance električne energije su:

1.  $E_{PI1OR}$  od 19558,89 kWh (7) ukupna električna energija preuzeta iz mreže HEP-a od strane SFSB-a tijekom 1. obračunskog razdoblja (1OR) od 01.01.2018. do 31.03.2018., te od 01.10.2018. do 31.12.2018. nakon instalacije DT i FNE,
2.  $E_{FNI1OR}$  od 1264,96 kWh (8) ukupna električna energija predane u mrežu HEP-a od strane SFSB-a tijekom 1OR nakon instalacije DT i FNE,
3.  $E_{PI2OR}$  od 7136,00 kWh (9) ukupna električna energija preuzeta iz mreže HEP-a od strane SFSB-a tijekom 2. obračunskog razdoblja (2OR) od 01.04.2018. do 30.09.2018. nakon instalacije DT i FNE,
4.  $E_{FNI2OR}$  od 40597,39 kWh (10) ukupna električna energija predane u mrežu HEP-a od strane SFSB-a tijekom 2OR nakon instalacije DT i FNE,
5.  $E_{HEPSS}$  (11) stara potreba odnosno potrošnja električne energije sa višom tarifom iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu prije instalacije DT i FNE,
6.  $E_{HEPSJ}$  (12) stara potreba odnosno potrošnja električne energije sa nižom tarifom iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu prije instalacije DT i FNE,
7.  $E_{HEPSU}$  (13) stara ukupna potreba odnosno potrošnja električne energije iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu prije instalacije DT i FNE,
8.  $E_{DTES}$  (14) dodatna nova potreba odnosno potrošnja električne energije sa višom tarifom samo u DT nakon njihove instalacije, određena iz karakteristike DT,
9.  $E_{ENS}$  (15) ukupna nova potreba odnosno potrošnja električne energije samo sa starom višom tarifom iz HEP-ove mreže uvećana za dodatnu novu potrošnju u DT,
10.  $E_{ENS1}$  (19) nova potreba odnosno potrošnja električne energije samo sa starom višom tarifom iz HEP-ove mreže uvećana za dodatnu novu potrošnju u DT u 1. vremenskom periodu (1VP) za koji vrijedi da je  $E_{FND1} \leq E_{ENS1}$ ,
11.  $E_{ENS2}$  (23) nova potreba odnosno potrošnja električne energije samo sa starom višom tarifom iz HEP-ove mreže uvećana za dodatnu novu potrošnju u DT u 2. vremenskom periodu (2VP) za koji vrijedi da je  $E_{FND2} > E_{ENS2}$ ,
12.  $E_{FND}$  (16) ukupni dobitak odnosno proizvodnja električne energije iz FNE sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE, određen primjenom PVGIS-a,
13.  $E_{FND1}$  (20) dobitak odnosno proizvodnja električne energije iz FNE sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE, određen primjenom PVGIS metodologije u 1VP za koji vrijedi da je  $E_{FND1} \leq E_{ENS1}$ ,
14.  $E_{FND2}$  (24) dobitak odnosno proizvodnja električne energije iz FNE sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE, određen primjenom PVGIS metodologije u 2VP za koji vrijedi da je  $E_{FND2} > E_{ENS2}$ ,
15.  $E_{FNDVP}$  (17) ukupni dobitak odnosno proizvodnja električne energije iz FNE sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE, određen primjenom PVGIS metodologije, iskorišten za vlastite potrebe odnosno za zamjenu energije iz JEDS-a,
16.  $E_{FNDVP1}$  (21) ukupna proizvodnja električne energije iz FNE sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE u 1VP, određen primjenom PVGIS metodologije, iskorišten za vlastite potrebe odnosno za zamjenu energije iz JEDS-a,



17.  $E_{FNDVP2}$  (25) ukupni dobitak odnosno proizvodnja električne energije iz FNE sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE u 2VP, određen primjenom PVGIS metodologije, iskorišten za vlastite potrebe odnosno za zamjenu energije iz JEDS-a,
18.  $E_{FNDIZV}$  (29) dobitak odnosno proizvodnja električne energije iz FNE sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE, određen primjenom PVGIS metodologije, predan u mrežu HEP-ovog JEDS,
19.  $E_{HEPNS}$  (18) nova, iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a, preuzeta električna energija sa višom tarifom u periodu nakon instalacije DT i FNE,
20.  $E_{HEPNS1}$  (22) nova, iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a, preuzeta električna energija sa višom tarifom tijekom 1OR, nakon instalacije DT i FNE,
21.  $E_{HEPNS2}$  (26) nova, iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a, preuzeta električna energija sa višom tarifom tijekom 2OR, nakon instalacije DT i FNE,
22.  $E_{HEPNJ}$  (27) nova, iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a, preuzeta električna energija sa nižom tarifom u periodu nakon instalacije DT i FNE,
23.  $E_{HEPNU}$  (28) nova, iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a, ukupno preuzeta električna energija u periodu nakon instalacije DT i FNE,
24.  $E_{SFSBCi}$  (30) ukupno predana električna energija iz FNE u HEP-ovu mrežu od strane SFSB-a sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE elektrane u periodu nakon instalacije DT i FNE,
25.  $E_{UŠS}$  (31) ukupna ušteđena količina električne energije iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu nakon instalacije DT i FNE,
26.  $E_{AKC}$  (32) uvjetno rečeno (u financijskom smislu) akumulirana električna energija jer u stvari od strane HEP-a nije plaćena nego samo odbijena od cijene njihove energije sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE elektrane u periodu nakon instalacije DT i FNE.

Pri čemu je:

$$E_{Pi1OR} = \sum_{j=1}^3 E_{Pi1ORj} + \sum_{j=10}^{12} E_{Pi1ORj} \quad (7),$$

$$E_{FNI1OR} = \sum_{j=1}^3 E_{FNI1ORj} + \sum_{j=10}^{12} E_{FNI1ORj} \quad (8),$$

$$E_{Pi2OR} = \sum_{j=4}^9 E_{Pi2ORj} \quad (9),$$

$$E_{FNI2OR} = \sum_{j=4}^9 E_{FNI2ORj} \quad (10),$$

$$E_{HEPSS} = \sum_{j=1}^{12} E_{HEPSSj} \quad (11),$$

$$E_{HEPSJ} = \sum_{j=1}^{12} E_{HEPSJj} \quad (12),$$



$$E_{HEPSU} = \sum_{j=1}^{12} E_{HEPSUj} = \sum_{j=1}^{12} E_{HEPSSj} + \sum_{j=1}^{12} E_{HEPSJj} \quad (13),$$

$$E_{DTES} = \sum_{j=1}^{12} E_{DTESi} = \sum_{j=1}^{12} 12 \cdot z \cdot n \cdot P_{ei} \quad (14),$$

$$E_{ENS} = E_{ENS1} + E_{ENS2} = E_{HEPSS} + E_{DTES} = \sum_{j=1}^{12} E_{ENSj} = \sum_{j=1}^{12} (E_{HEPSSj} + E_{DTESj}) \quad (15),$$

$$E_{FND} = E_{FND1} + E_{FND2} = E_{FNDVP1} + E_{FNDVP2} + E_{FNDIZV} = \sum_{j=1}^{12} E_{FNDj} \quad (16),$$

$$E_{FNDVP} = E_{FNDVP1} + E_{FNDVP2} \quad (17),$$

$$E_{HEPNS} = E_{HEPNS1} + E_{HEPNS2} \quad (18),$$

za  $E_{FND1} \leq E_{ENS1}$  je

$$E_{ENS1} = \sum_{j=1}^2 E_{ENSj} + \sum_{j=11}^{12} E_{ENSj} \quad (19),$$

$$E_{FND1} = \sum_{j=1}^2 E_{FNDj} + \sum_{j=11}^{12} E_{FNDj} \quad (20),$$

$$E_{FNDVP1} = E_{FND1} \quad (21),$$

$$\begin{aligned} E_{HEPNS1} &= E_{ENS1} - E_{FNDVP1} = \sum_{j=1}^2 E_{HEPNS1j} + \sum_{j=11}^{12} E_{HEPNS1j} \\ &= \sum_{j=1}^2 (E_{HEPSS1j} + 12 \cdot z \cdot n \cdot P_{ej} - E_{FNDVP1j}) + \sum_{j=11}^{12} (E_{HEPSS1j} + 12 \cdot z \cdot n \cdot P_{ej} - E_{FNDVP1j}) \end{aligned} \quad (22),$$

za  $E_{FND2} > E_{ENS2}$  je

$$E_{ENS2} = \sum_{j=3}^{10} E_{ENSj} \quad (23),$$

$$E_{FND2} = \sum_{j=3}^{10} E_{FNDj} \quad (24),$$

$$E_{FNDVP2} = E_{ENS2} \quad (25),$$

$$E_{HEPNS2} = E_{FNDVP2} - E_{ENS2} = \sum_{j=3}^{10} E_{HEPNS2j} = \sum_{j=3}^{10} (E_{FNDVP2j} - E_{HEPSS2j} - 12 \cdot z \cdot n \cdot P_{ej}) \quad (26),$$

$$E_{HEPNJ} = E_{HEPSJ} \quad (27),$$

$$E_{HEPNU} = E_{HEPNS} + E_{HEPNJ} = \sum_{j=1}^{12} E_{HEPNUj} = \sum_{j=1}^{12} E_{HEPNSj} + \sum_{j=1}^{12} E_{HEPNJj} \quad (28),$$

$$E_{FNDIZV} = E_{FND} - E_{ENS} \quad (29),$$

$$E_{SFSBCi} = E_{FNDIZV} \quad (30),$$

$$E_{UŠS} = E_{HEPSS} - E_{HEPNS} = \sum_{j=1}^{12} E_{UŠSj} = \sum_{j=1}^{12} (E_{HEPSSj} - E_{HEPNSj}) \quad (31),$$

$$E_{AKC} = E_{SFSBCi} = E_{FNDIZV} \quad (32),$$

gdje je  $j=1$  do 12 redni broj mjeseca,  $z=28, 30$  ili  $31$  broj dana u  $j$ -tom mjesecu,  $n=4$  broj ukupno instaliranih dizalica topline,  $P_{ej}$  primljena odnosno potrošena električna snaga u jednoj dizalici topline u kW, prema njezinoj karakteristici, a sve veličine sa indeksom  $j$  predstavljaju mjesečne iznose pripadajućih navedenih godišnjih iznosa električne energije.

Osnovne veličine financijske bilance električne energije su:

1.  $P_{KCi1OR}$  (od 0,3682 kn/kWh) (33) prosječna jedinična cijena električne energije preuzete iz mreže HEP-a tijekom 1OR, nakon instalacije DT i FNE,
2.  $G_{1OR}$  (od 0,3313 kn/kWh) (34) minimalna vrijednost električne energije predane u mrežu HEP-a tijekom 1OR, nakon instalacije DT i FNE,
3.  $P_{KCi2OR}$  (od 0,2466 kn/kWh) (35) prosječna jedinična cijena električne energije preuzete iz mreže HEP-a tijekom 2OR, nakon instalacije DT i FNE,
4.  $G_{2OR}$  (od 0,0390 kn/kWh) (36) minimalna vrijednost električne energije predane u mrežu HEP-a tijekom 2OR, nakon instalacije DT i FNE,
5.  $T_{UVZSS}$  i  $T_{HEPSS}$  (37) stari trošak potrošene (preuzete) električne energije sa višom tarifom iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu prije instalacije DT i FNE,
6.  $T_{UVZSJ}$  i  $T_{HEPSJ}$  (38) stari trošak potrošene (preuzete) električne energije sa nižom tarifom iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu prije instalacije DT i FNE,
7.  $T_{UVZSU}$  i  $T_{HEPSU}$  (39) stari trošak ukupno potrošene (preuzete) električne energije iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu prije instalacije DT i FNE,
8.  $T_{UVZNS}$  i  $T_{HEPNS}$  (40) novi trošak potrošene (preuzete) električne energije sa višom tarifom iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu nakon instalacije DT i FNE,
9.  $T_{UVZNJ}$  i  $T_{HEPNS}$  (41) novi trošak potrošene (preuzete) električne energije sa nižom tarifom iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu nakon instalacije DT i FNE,
10.  $T_{UVZNU}$  i  $T_{HEPNS}$  (42) novi ukupni trošak potrošene (preuzete) električne energije iz HEP-ove mreže od strane SFSB-a u periodu nakon instalacije DT i FNE,
11.  $D_{UŠEESBFN}$  (43) financijska ušteda na električnoj energiji sa skupom tarifom bez financijskog dobitka ostvarenog izvozom električne energije iz FNE,





12.  $D_{U\check{S}EEBFN}$  (44) financijska ušteda na svoj električnoj energiji bez financijskog dobitka ostvarenog izvozom električne energije iz FNE,
13.  $D_{IZVC1}$  (45) ostvareni financijski dobitak za predanu električnu energiju iz FNE u HEP-ovu mrežu sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE za 1OR,
14.  $D_{IZVC2}$  (46) ostvareni financijski dobitak za predanu električnu energiju iz FNE u HEP-ovu mrežu sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE za 2OR,
15.  $D_{IZVC}$  (47) ukupni godišnji financijski dobitak za predanu električnu energiju iz FNE u HEP-ovu mrežu sa posebnom tarifom za električnu energiju iz FNE,
16.  $T_{UEENSFN}$  (48) ukupni novi trošak preuzete električne energije iz HEP-ove mreže sa skupom tarifom i sa financijskim dobitkom ostvarenim izvozom električne energije iz FNE i naplaćenim HEP-u od strane SFSB-a u periodu nakon instalacije DT i FNE,
17.  $D_{U\check{S}EESFN}$  (49) ukupna financijska ušteda na svoj električnoj energiji sa financijskim dobitcima ostvarenim izvozom električne energije iz FNE,
18.  $D_{U\check{S}PEE}$  (50) ukupna financijska ušteda i na plinu i na električnoj energiji u periodu nakon instalacije DT i FNE.

Pri čemu je:

$$P_{KCi1OR} = \frac{C_{VT} \cdot T_{UVZSS1OR} + C_{NT} \cdot T_{UVZSJ1OR}}{T_{UVZSS1OR} + T_{UVZSJ1OR}} \quad (33),$$

$$C_{i1OR} = 0,9 \cdot P_{KCi1OR} \quad (34),$$

$$P_{KCi2OR} = \frac{C_{VT} \cdot T_{UVZSS2OR} + C_{NT} \cdot T_{UVZSJ2OR}}{T_{UVZSS2OR} + T_{UVZSJ2OR}} \quad (35),$$

$$C_{i2OR} = 0,9 \cdot P_{KCi2OR} \cdot \frac{E_{Pi2OR}}{E_{Fni2OR}} \quad (36),$$

$$T_{UVZSS} = T_{HEPSS} = E_{HEPSS} \cdot C_{VT} \quad (37),$$

$$T_{UVZSJ} = T_{HEPSJ} = E_{HEPSJ} \cdot C_{NT} \quad (38),$$

$$T_{UVZSU} = T_{HEPSS} + T_{HEPSJ} = T_{UVZSS} + T_{UVZSJ} \quad (39),$$

$$T_{UVZNS} = T_{HEPNS} = E_{HEPNS} \cdot C_{VT} \quad (40),$$

$$T_{UVZNJ} = T_{HEPNJ} = E_{HEPNJ} \cdot C_{NT} \quad (41),$$

$$T_{UVZNU} = T_{HEPNS} + T_{HEPNJ} = T_{UVZNS} + T_{UVZNJ} \quad (42),$$

$$D_{U\check{S}EESBFN} = T_{UVZSS} - T_{UVZNS} \quad (43),$$

$$D_{U\check{S}EEBFN} = D_{U\check{S}EESBFN} \quad (44),$$

$$D_{IZVC1} = E_{Fni1OR} \cdot C_{i1OR} \quad (45),$$

$$D_{IZVC2} = E_{Fni2OR} \cdot C_{i2OR} \quad (46),$$

$$D_{IZVC} = D_{IZVC1} + D_{IZVC2} \quad (47),$$

$$T_{UEENSFN} = T_{UVZNU} - T_{IZVC} \quad (48),$$

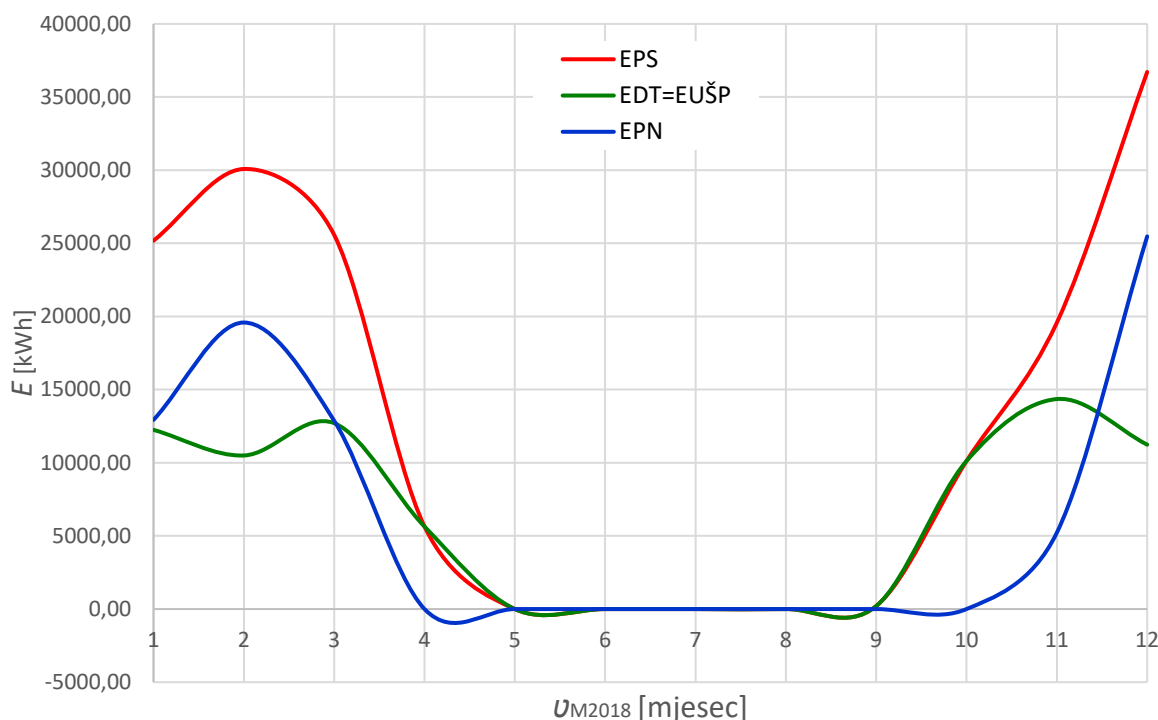
$$D_{U\dot{S}EESFN} = T_{UEESU} - T_{UEENSFN} \quad (49),$$

$$D_{U\dot{S}PEE} = D_{U\dot{S}P} + D_{U\dot{S}EESFN} \quad (50),$$

gdje su  $C_{VT}$  od 0,4481 kn/kWh i  $C_{NT}$  od 0,2466 kn/kWh jedinične cijene električne energije sa visokom i niskom tarifnom stavkom. Sve jedinične cijene električne energije su izražene u kn/kWh, a svi financijski troškovi i dobitci vezani za električnu energiju u kn.

#### 4. Analiza rezultata

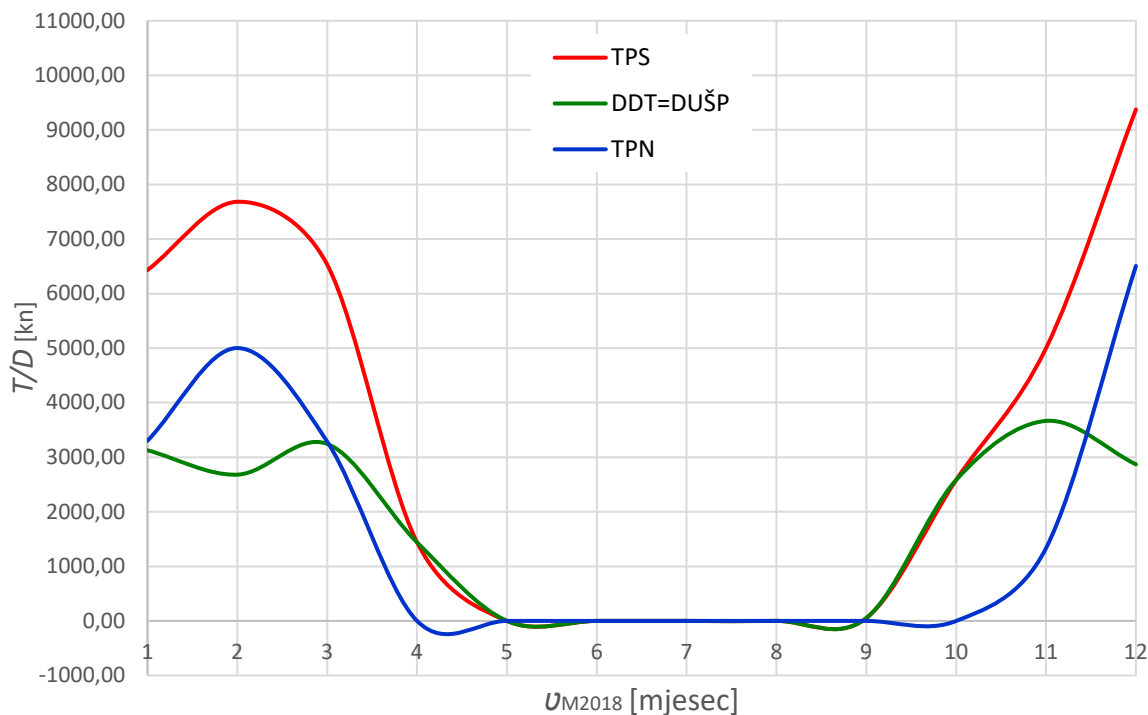
Iz energijske bilance plina (Slika 4) se može vidjeti da je ukupno ostvarena godišnja ušteda u potrošnji toplinske energije dobivene iz plina, a time i samoga plina  $E_{U\dot{S}P}$  (zeleno linija), jednaka količini toplinske energije dobivene dizalicama topline iz okolnog zraka  $E_{DT}$  (zeleno linija) i iznosi 77011,06 kWh. Kad se uzme u obzir stara ukupna potrošnja plina  $E_{PS}$  (crvena linija) u sustavu grijanja u koji nisu bile implementirane dizalice topline od 153091 kWh, može se zaključiti da je nova potrošnja plina  $E_{PN}$  (plava linija) koja iznosi 76079,94 kWh svedena na svega 49,70 % prijašnje (stare) potrošnje plina, te da je ukupno ostvarena ušteda u potrošnji plina 50,30 %.



**Slika 13.** Energijska bilanca plina po mjesecima u 2018. godini

Sukladno rečenome, iz financijske bilance plina (Slika 5), koja pokazuje linearno proporcionalnu zavisnost troškova sa potrošnjom plina, pri čemu je faktor proporcionalnosti zbroj jedinične cijene plina i trošarine ( $C_P=0,2473$  kn/kWh +  $C_T=0,0081$  kn/kWh), se može zaključiti da je ukupni godišnji trošak nove potrošnje plina  $T_{PN}$  (plava linija) koji iznosi 19430,82 kn sveden na svega 49,70 % ukupnog godišnjeg troška prijašnje (stare) potrošnje

plina  $T_{PS}$  (crvena linija) koji iznosi 39099,44 kn, te da je ukupno ostvarena godišnja ušteda na plinu  $D_{UŠP}$  (zelena linija) zbog doprinosa dizalica topline  $D_{DT}$  (zelena linija) od 19668,63 kn odnosno 50,30 %.



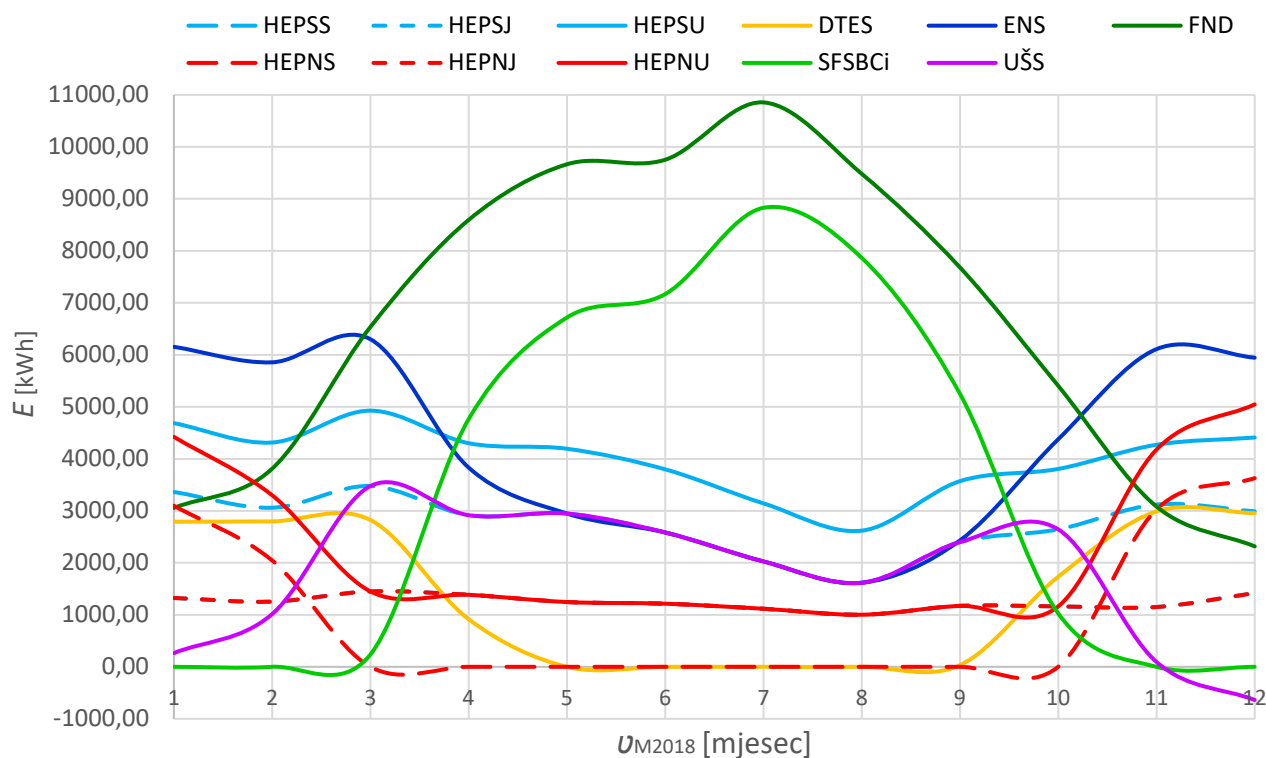
**Slika 14.** Financijska bilanca plina po mjesecima u 2018. godini

Za analizu uštede u potrošnji električne energije ključnu ulogu imaju iznosi potrošnje sa višom tarifnom stavkom zbog činjenice da glavni razlozi za provedbu ove analize leže u dobitcima električne energije proizvedene u fotonaponskoj elektrani i dodatnim gubitcima odnosno potrošnji električne energije u dizalicama topline, a ti se dobitci i gubici generiraju isključivo preko dana (dok postoji svjetlosni fluks sa sunca) odnosno za vrijeme dok je u tijeku potrošnja električne energije sa višom tarifnom stavkom. Kao što je upravo napomenuto, u odnosu na stari sustav opskrbe električnom energijom koji se zasnivao isključivo na preuzimanju električne energije iz javne elektrodistribucijske mreže, u novom sustavu u koji su implementirani obnovljivi izvori energije DT i FNE se uz osnovnu potrošnju javlja dodatna potrošnja električne energije zbog pogona DT i dodatni dobitak električne energije generiran u FNE. Uz to, način obračuna potrošnje i dobitaka električne energije ovisi o vremenskom periodu za koji se obavlja odnosno o tome da li je količina električne energije generirana iz FNE  $E_{FND}$  veća ili manja od potreba odnosno potrošnje električne energije  $E_{ENS}$  u danom trenutku, odnosno da li je ispunjen uvjet  $E_{FND1} \leq E_{ENS1}$  (Slika 6, mjeseci u kojima je tamno zelena linija ispod tamno plave linije, 1., 2., 11. i 12. mjesec) za 1VP ili  $E_{FND2} > E_{ENS2}$  (Slika 6, mjeseci u kojima je tamno zelena linija iznad tamno plave linije, svi mjeseci od 3. do 10.) za 2VP.

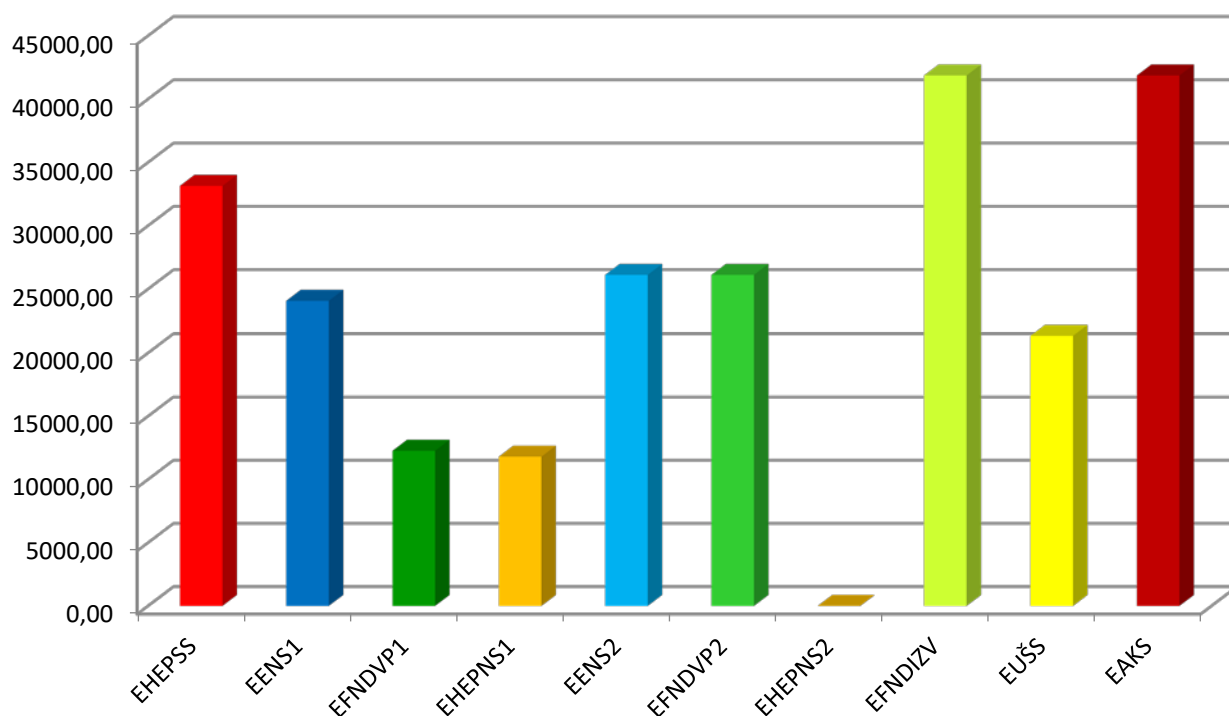
Sukladno dobivenim podacima (Slika 6 i Slika 7) može se zaključiti da će stara potrošnja električne energije sa višom tarifom  $E_{HEPSS}$ , koja je iznosila 33147 kWh, kao i ukupna stara potrošnja  $E_{HEPSU}$ , koja je iznosila 48042 kWh, porasti za iznos potrošnje u dizalicama topline  $E_{DTES}$  od 17035,90 kWh ili 51,4 %, pa će novi ukupni iznos potrošnje električne energije  $E_{ENS}$  (uz nepromijenjenu staru potrošnju sa nižom tarifom  $E_{HEPSJ}$  od 14895 kWh) biti 50182,90 kWh od čega će u 1. vremenskom periodu biti potrošen iznos  $E_{ENS1}$  od 24066,76 kWh, a u 2VP iznos  $E_{ENS2}$  od 26116,15 kWh.

No, ako u ovu kalkulaciju uključimo dobitke električne energije proizvedene u FNE u 1VP za koji vrijedi da je  $E_{FND1} \leq E_{ENS1}$ , cjelokupan iznos dobitaka proizvedenih u fotonaponskoj elektrani  $E_{FND1}$  odnosno  $E_{FNDVP1}$  od 12266,86 kWh će u potpunosti biti iskorišteni za pokrivanje vlastitih potreba za električnom energijom  $E_{ENS1}$  od 24066,76 kWh. S obzirom na to da je u ovom 1VP potrošnja odnosno potreba za električnom energijom veća od vlastite proizvodnje ostatak potrebne električne energije će biti nadoknađen preuzimanjem iz HEP-ovog JEDS-a, te će tako preuzeta električna energija sa višom tarifom biti  $E_{HEPNS1}$  i iznosi 11799,89 kWh. Sa druge strane, ako u ovu kalkulaciju uključimo dobitke električne energije proizvedene u FNE u 2VP za koji vrijedi da je  $E_{FND2} > E_{ENS2}$ , od ukupnih dobitaka proizvedenih u fotonaponskoj elektrani  $E_{FND2}$  koji iznose 67978,49 kWh, iznos  $E_{FNDVP2}$  od 26116,15 kWh će biti iskorišten za pokrivanje vlastitih potreba  $E_{ENS2}$  od 26116,15 kWh. Potrošnja odnosno količina, iz HEP-ovog JEDS-a, preuzete električne energije sa višom tarifom  $E_{HEPNS2}$  će, zbog potpunog nadomjeska potreba za električnom energijom sa energijom iz vlastite proizvodnje, u 2VP biti 0 kWh. Preostali dio od ukupnih dobitaka proizvedenih u fotonaponskoj elektrani  $E_{FNDIZV}$  od 41862,34 kWh će biti predan u javnu elektrodistribucijsku mrežu odnosno prodan HEP-u. Ovaj preostali iznos odnosno višak električne energije iz vlastite proizvodnje se uvjetno zove akumulacijom električne energije  $E_{AKS}$  ili  $E_{SFSBCi}$  i iznosi 41862,34 kWh što je ostatak od, iz FNE proizvedenih, 67978,49 kWh. Kad se kaže „uvjetno akumulacija“ tu se ne misli na to da će ta energija biti stvarno fizički akumulirana, nego se misli na to da će ta energija biti naplaćena prema posebnoj tarifnoj stavci  $C_i$  (način izračuna je ovisan o obračunskom razdoblju i detaljno je objašnjen u 3. poglavlju), a potom će SFSB-u račun za električnu energiju od strane HEP-a biti samo umanjen za ovaj iznos. Ukupno proizvedena električna energija iz FNE  $E_{FND}$  je 80245,36 kWh pri čemu je  $E_{FNDVP}$  od 38383,01 kWh potrošeno na podmirenje vlastitih potreba, a  $E_{FNDIZV}$  od 41862,34 kWh je predano u mrežu JEDS-a.

U konačnici će nova potrošnja odnosno količina preuzete električne energije sa višom tarifom  $E_{HEPNS}$  biti 11799,89 kWh, što će, uz nepromijenjenu novu potrošnju električne energije sa nižom tarifom  $E_{HEPNJ}$  od 14895 kWh, dati novu ukupnu potrošnju odnosno količinu preuzete električne energije  $E_{HEPNU}$  od 26694,89 kWh. Evidentno je da će, zbog znatno većih dobitaka iz FNE  $E_{FND}$  nego gubitaka u DT  $E_{DTES}$ , biti ostvarena ušteda električne energije  $E_{UŠS}$  od 21347,11 kWh što čini 44,43 % od ukupne početne potrošnje električne energije  $E_{HEPSU}$ .



Slika 15. Energijska bilanca električne energije po mjesecima 2018. godine



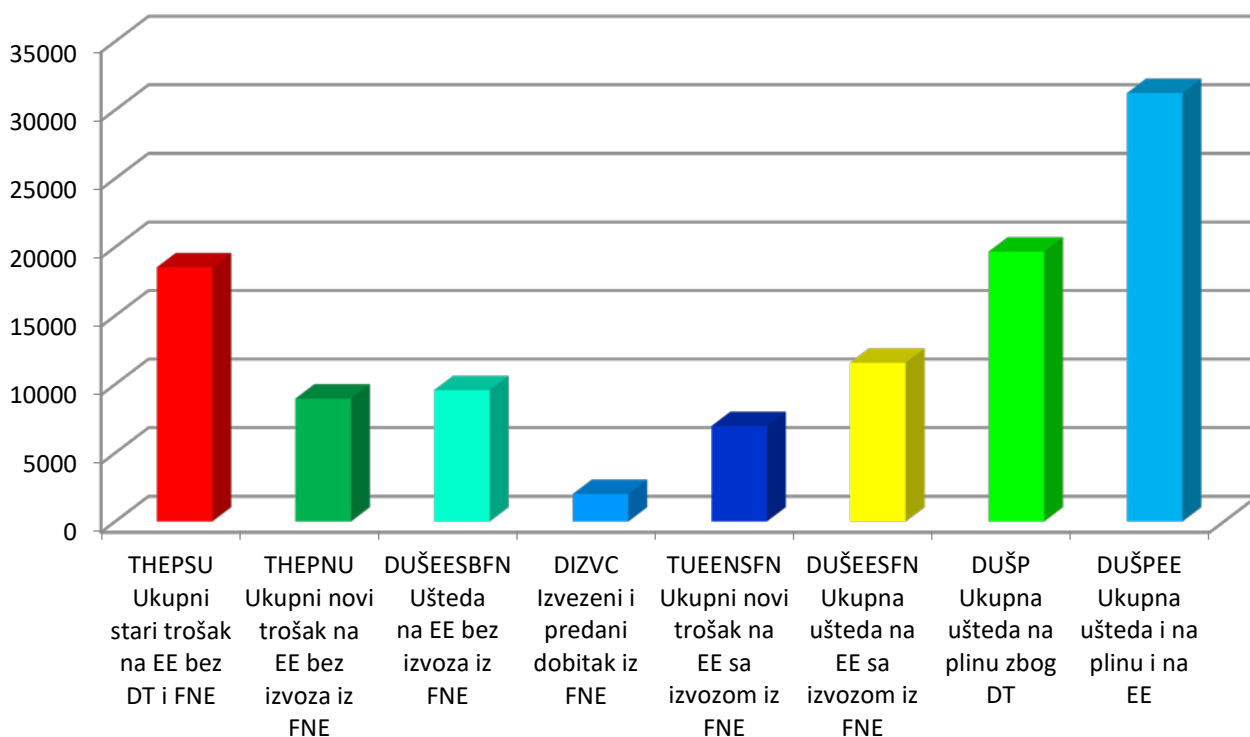
Slika 16. Energijska bilanca električne energije za 2018. godinu u kWh



Procjena uštede u potrošnji električne energije se temelji na analizi financijskih troškova i dobitaka na električnoj energiji specificiranih financijskom bilancom električne energije (Slika 8). Sukladno dobivenim podacima može se zaključiti da će stari trošak preuzete električne energije sa višom tarifom  $T_{HEPSS}$  koji je iznosio 14853,17 kn kao i ukupni stari trošak preuzete električne energije  $T_{HEPSU}$  koji je iznosio 18526,28 kn porasti za trošak dodatne potrošnje u DT i biti umanjen za dobitak proizveden u FNE čiji se jedan dio koristi za podmirenje vlastitih potreba za energijom, a drugi dio se direktno predaje u javnu elektrodistribucijsku mrežu. Uz to, za način obračuna financijskih troškova i dobitaka na električnoj energiji vrijedi isto što je vrijedilo i za obračun potrošnje i dobitaka električne energije. Način obračuna financijskih troškova i dobitaka ovisi o vremenskom periodu za koji se obavlja odnosno o tome da li je količina električne energije generirana iz FNE  $E_{FND}$  veća ili manja od potreba odnosno potrošnje električne energije  $E_{ENS}$  u danom trenutku ili drugim riječima, da li je ispunjen uvjet  $E_{FND1} \leq E_{ENS1}$  za 1VP ili  $E_{FND2} > E_{ENS2}$  za 2VP.

U 1VP, za koji vrijedi  $E_{FND1} \leq E_{ENS1}$  (Slika 6, mjeseci u kojima je tamno zelena linija ispod tamno plave linije, 1., 2., 11. i 12. mjesec), će novi trošak (uz nepromijenjeni trošak električne energije sa nižom tarifom  $T_{HEPSJ} = T_{HEPNJ}$  od 3673,11 kn) električne energije sa višom tarifom  $T_{HEPNS}$  biti 5287,53 kn što će dati novi ukupni trošak  $T_{HEPNU}$  od 8960,64 kn. Evidentno je da će, zbog znatno većih dobitaka iz FNE nego troškova u DT, biti ostvarena ušteta na skupoj  $D_{UŠEESBFN}$  kao i na ukupnoj  $D_{UŠEEBFN}$  električnoj energiji od 9565,64 kn što čini 51,63 % od ukupnog početnog troška električne energije  $T_{HEPSU}$ . Ovdje treba naglasiti da je ova ušteta u 1VP posljedica isključivo podmirjenja vlastitih potreba za električnom energijom sa energijom proizvedenom iz vlastite FNE, a nije posljedica energije predane iz FNE u JEDS. No, u 2VP, u kojem FNE generira više električne energije od potrošnje odnosno potrebne električne energije u danom trenutku pri čemu je ispunjen uvjet  $E_{FND2} > E_{ENS2}$  (Slika 6, mjeseci u kojima je tamno zelena linija iznad tamno plave linije, svi mjeseci od 3. do 10.), FNE potpuno podmiruje vlastitu potrebu za električnom energijom, ali se javlja i dodatni višak iz FNE proizvedene električne energije koji se izvozi odnosno predaje u javnu elektrodistribucijsku mrežu. Način izračuna je ovisan o obračunskom razdoblju i detaljno je objašnjen u 3. poglavlju. Dobitci na, iz FNE, izvezenoj odnosno u JEDS predanoj energiji  $D_{ZVC1}$  od 419,14 kn za 1OR,  $D_{ZVC2}$  od 1583,76 kn za 2OR, te  $D_{ZVC}$  od 2002,91 kn za cijelu godinu se, od strane distributera (HEP), obračunavaju prema posebnim tarifnim stavkama  $C_{1OR}$  koja iznosi 0,3313 kn/kWh (za 1OR) i  $C_{2OR}$  koja iznosi 0,0390 kn/kWh (za 2OR), te se sa njima umanjuje račun za električnu energiju. Ovo u konačnici dovodi do dodatne uštede na električnoj energiji  $D_{ZVC}$  od 2002,91 kn, te u konačnici preostaje ukupni novi trošak za električnu energiju  $T_{UEENSFN}$  od 6957,73 kn (kao razlika ukupnog novog troška bez izvoza iz FNE  $T_{HEPNU}$  od 8960,64 kn i uštede odnosno dobitka na, iz FNE, ukupno izvezenoj energiji  $D_{ZVC}$  od 2002,91 kn) što predstavlja 37,55 % od ukupnog starog troška za električnu energiju  $T_{HEPSU}$ . I zaključno ukupna ušteta na električnoj energiji  $D_{UŠEESFN}$  (kao zbroj uštede bez izvoza odnosno prodaje FNE energije distributeru  $D_{UŠEESBFN}$  od 9565,64 kn i  $D_{ZVC}$  od 2002,91 kn) iznosi 11568,55 kn što predstavlja smanjenje troška električne energije od 62,45 %.

Slika 8, uz sve navedeno, prikazuje i međusobni odnos svih glavnih čimbenika financijske bilance i plina i električne energije iz čega je vidljivo da je ukupno ostvarena ušteda na plinu i električnoj energiji zajedno *DUŠPEE*, kao posljedica primjene DT i FNE, 31237,17 kn što je 54,21 % od ukupne stare zajedničke potrošnje plina i električne energije koja je iznosila 57625,72 kn, što posljedično znači da je ukupni preostali trošak plina i električne energije zajedno 45,79 % od prijašnjeg troška.



**Slika 17.** Financijska bilanca svih troškova i dobitaka toplinske i električne energije iz dizalica topline i fotonaponske elektrane za 2018. godinu u kn

## 5. Zaključak

Analizama provedenim u okviru ovoga rada su procijenjene energetska i financijska ušteda na plinu i električnoj energiji uzrokovane implementacijom dizalica topline u postojeći sustav grijanja plinom i fotonaponske elektrane u postojeći javni elektroenergetski sustav opskrbe električnom energijom, čime je u konačnici, dio skupe toplinske i električne energije iz obnovljivih izvora energije (fosilnih goriva poput plina i dr.) zamijenjen besplatnom toplinskom i električnom energijom iz obnovljivih izvora energije (zraka i sunca).

Provedena analiza troškova je pokazala da je, zbog doprinosa dizalica topline, na plinu ostvarena ukupna ušteda od 50,30 % od prijašnjih troškova plina odnosno od troškova na plin koji su postojali u vrijeme kad u sustav grijanja nisu bile uključene dizalice topline. Analiza troškova i ušteda na električnoj energiji pokazuje da je na električnoj energiji, bez izvoza viška energije iz FNE, ostvarena ušteda od 51,63 % od ukupnog početnog troška električne energije, dok je dodatnim izvozom viška električne energije iz FNE ostvarena



dodatna ušteda od 10,82 % što u konačnici predstavlja ukupno smanjenje troška električne energije od 62,45 %.

Ukupna ostvarena ušteda na plinu i električnoj energiji zajedno, kao posljedica implementacije DT u sustav grijanja i FNE u sustav opskrbe električnom energijom, iznosi 54,21 % od ukupnog starog zajedničkog troška plina i električne energije.

Daljnja istraživanja pretpostavljaju procjenu dodatne uštede na električnoj energiji pri hlađenju zgrade SFSB-a, te izgradnju algoritma i softvera za provedbu brže i efikasnije procjene ušteda na utrošenom plinu i električnoj energiji u okolnostima primjene novih visokoefikasnih tehničkih rješenja za energetske učinkovitije iskorištavanje obnovljivih izvora energije, baziranog na metodologiji primijenjenoj u okviru ovoga rada.

## 6. Priznanje

Ovo istraživanje je podržano interdisciplinarnim istraživačkim projektom „*Uspostava interdisciplinarne istraživačke grupe u području obnovljivih izvora energije i njihove integracije u buduće napredne energetske sustave*“, Sveučilišta J.J. Strossmayer iz Osijeka. Uz to, ovaj rad predstavlja i svojevrsni doprinos razvoju objekta SFSB prema nZEB planiranog unutar Interreg-IPA CBC RESCUE (Renewable Energy Sources for smart sustainable health Centers, University Education and other public buildings) projekta [5] kojeg je voditelj Fakultet tehničkih nauka iz Novog sada, a partneri su Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Strojarski fakultet u Slavskom Brodu, Klinički centar Vojvodine i Klinički bolnički centar Osijek.

## 7. Literatura

- [1] Viessmann d.o.o. Hrvatska. Upute za projektiranje dizalice topline Vitocal 200-S AWB-M 201.D16 400 V~, Zagreb, 2019., Stranica 54.
- [2] DHMZ / Državni Hidrometeorološki Zavod. Temperaturne slike (tablično po satima) u 2018. godini za grad Slavonski Brod, Zagreb, 2020.
- [3] Jeršek, Željko; Šljivac, Damir; Žnidarec, Matej; Glavaš, Hrvoje. Optimalni dizajn FN sustava za potrebe kućanstva temeljen na analizi isplativosti // 28. *Međunarodni znanstveni skup „Organizacija i tehnologija održavanja“ – OTO 2019.* / Hadzima-Nyarko, Marijana; Karakašić, Mirko; Fekete, Krešimir; Glavaš, Hrvoje; Blažević, Damir (ur.). Osijek: Panon – Institut za strateške studije – Osijek, 2019., str. 37-44 (predavanje, međunarodna recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
- [4] Marguš, Heidi; Žnidarec, Matej; Šljivac, Damir; Stojkov, Marinko. Performance analysis of upgraded university building of FERIT Osijek microgrid achieving nearly zero energy standard based on real measurement data // 2019 *International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)* / Lotfi, Mohamed (ur.). Porto, Portugal: IEEE, 2019. str. 1-6 doi: 10.1109/sest.2019.8849138
- [5] Interreg-IPA CBC. RESCUE (Renewable Energy Sources for smart sustainable health Centers, University Education and other public buildings) project number HR-RS303, 2019.



# Utjecaj FN elektrana instaliranih na krovovima kuća na potrošnju energije i održivi razvoj

## *The impact of home-roof installed PV power plants on energy consumption and sustainable development*

K. Hornung<sup>1,2,\*</sup>, M. Stojkov<sup>1</sup>, I. Ratkovčić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>2</sup>Srednja škola Valpovo, Valpovo, Hrvatska

<sup>3</sup>ERGA d.o.o, Osijek, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: [khornung@sfsb.hr](mailto:khornung@sfsb.hr)  
[mstojkov@sfsb.hr](mailto:mstojkov@sfsb.hr)

### Sažetak

Rad opisuje primjenu OIE (obnovljivih izvora energije) bez poticaja. Kao primjer je poslužila obiteljska kuća starije gradnje, koja je temeljito renovirana. Tijekom dužeg perioda (desetak godina), praćena je potrošnja energenata. Nakon puštanja u rad foto naponskog (FN) sustava i ugradnje određene mjerne opreme, ostvarena je mogućnost dodatnog i detaljnijeg praćenja potrošnje energenata. Ujedno su evidentirana određena smanjenja u emisiji CO<sub>2</sub>, kao i uštede u potrošnji energenata.

**Ključne riječi:** Sunčeva energija, obnovljivi izvori energije, diversifikacija opskrbe energijom, smanjenje emisije CO<sub>2</sub>

### Abstract

The paper describes the application of RES (renewable energy sources) without incentives. A family house of older construction, which was thoroughly renovated, was used as an example. Over a longer period (ten years), energy consumption was monitored. After the commissioning of the photovoltaic (PV) system and the installation of certain measuring equipment, the possibility of additional and more detailed monitoring of energy consumption was achieved. At the same time, certain reductions in CO<sub>2</sub> emissions were recorded, as well as savings in energy consumption.

**Key words:** Solar energy, renewable energy sources, diversification of energy supply, reduction of CO<sub>2</sub> emissions

## 1. Uvod

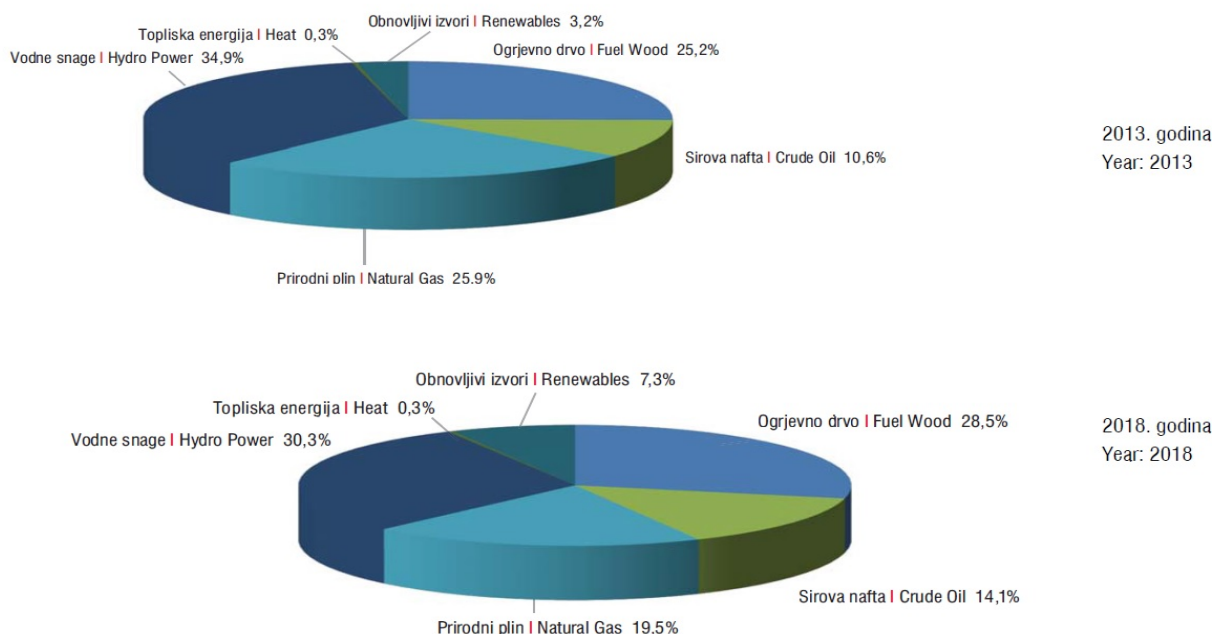
Kao nastavak prošlogodišnjeg rada [1], ovdje su obrađena određena mjerenja rađena u suradnji sa stručnjacima firme ERGA d.o.o. iz Osijeka. Odabrana je i postavljena mjerna oprema tako da su se mogli mjeriti određeni parametri, posebno, za svaki od četiri FN kolektora. S druge strane, pregledani su radovi i istraživanja rađeni u drugim zemljama pa je dobiven uvid što se radi i s kojim se problemima susreću u drugim regijama.

U svojim radovima, Dondariya C. i sur. (2018) i Lau, K. i sur. (2016) analiziraju izvedivost malih FN sustava bilo da se govori o sustavima spojenim na mrežu (on-grid) ili o samostalnim FN sustavima (off-grid). Kao zaključak se navodi da energija proizvedena putem malih FN sustava postavljenim na obiteljskim kućama, izravno potpomaže elektroenergetski sustav zemlje jer kada je velika potrošnja energije npr. zbog upotrebe klima uređaja, i proizvodnja malih FN sustava pokriva veliki dio te potrošnje [2, 3].

Analiza isplativosti FN sustava pokazuje da bez obzira o položaju Zemlje i Sunčevom zračenju, postoje zanimljive mogućnosti postavljanja FN sustava i njihovo korištenje [3, 4]. Normalno, period otplate sustava ovisi o politici svake zemlje – određeni poticaji ili ne, ali i o broju Sunčanih dana i Sunčevom zračenju. U analizama, jedan od bitnih čimbenika je i emisija CO<sub>2</sub> i njeno smanjenje na lokalnoj, a samim time i na globalnoj razini.

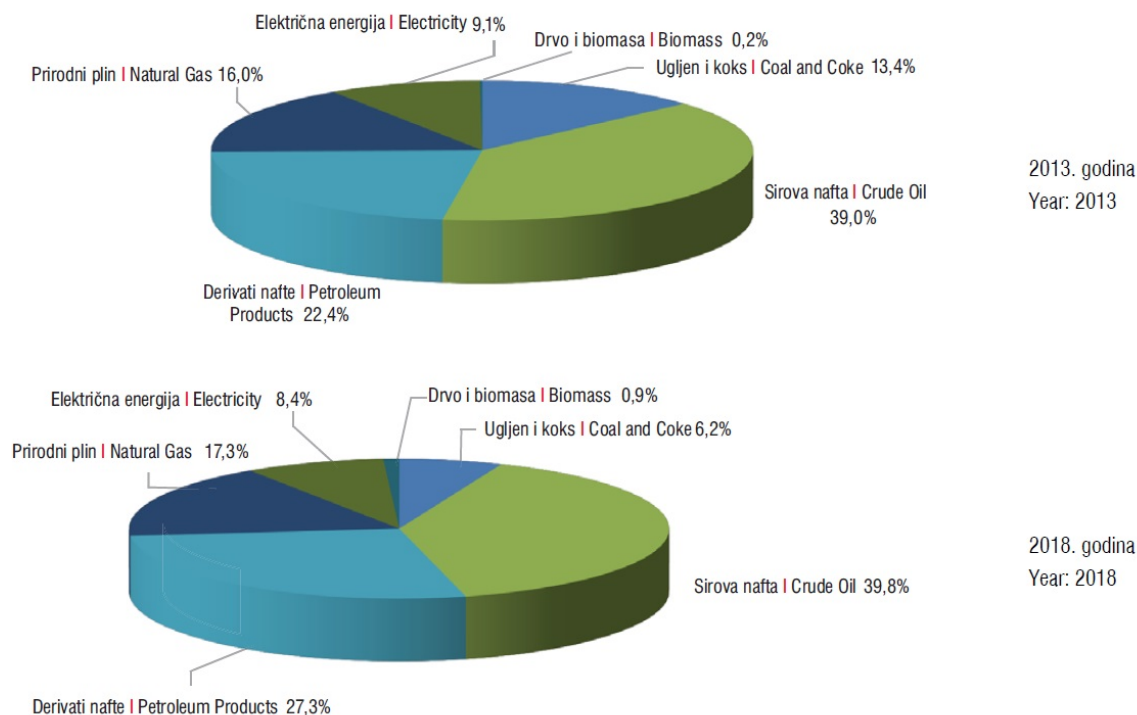
## 2. Situacija u RH

Položaj RH osigurava dovoljan broj Sunčanih dana i Sunčevog zračenja tako da upotreba FN sustava može biti značajna stavka u pokrivenosti potrebama za određenim vrstama energije (električna i toplinska). Veliki utjecaj na vrstu energije koja će se koristiti u određenom postotku, ima klima RH [5, 6]. Na taj se način ovisno o trenutnoj klimatskoj situaciji, troši određena vrsta energije u većem ili manjem opsegu, bila ona iz domaće proizvodnje ili iz uvoza, kao što je vidljivo na slikama 1 i 2.



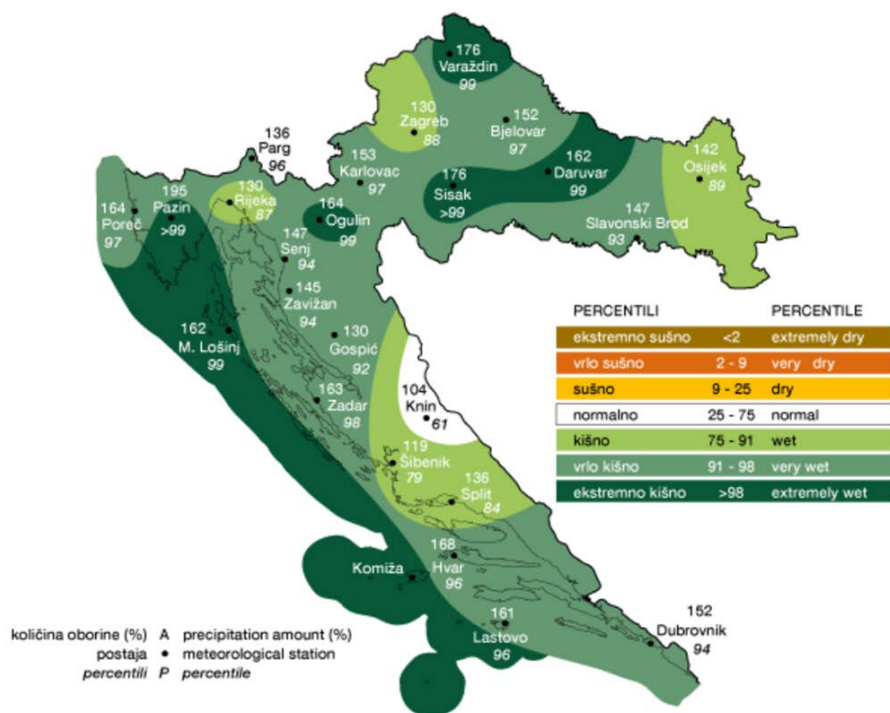
Slika 1. Udjeli u proizvodnji primarne energije [5]



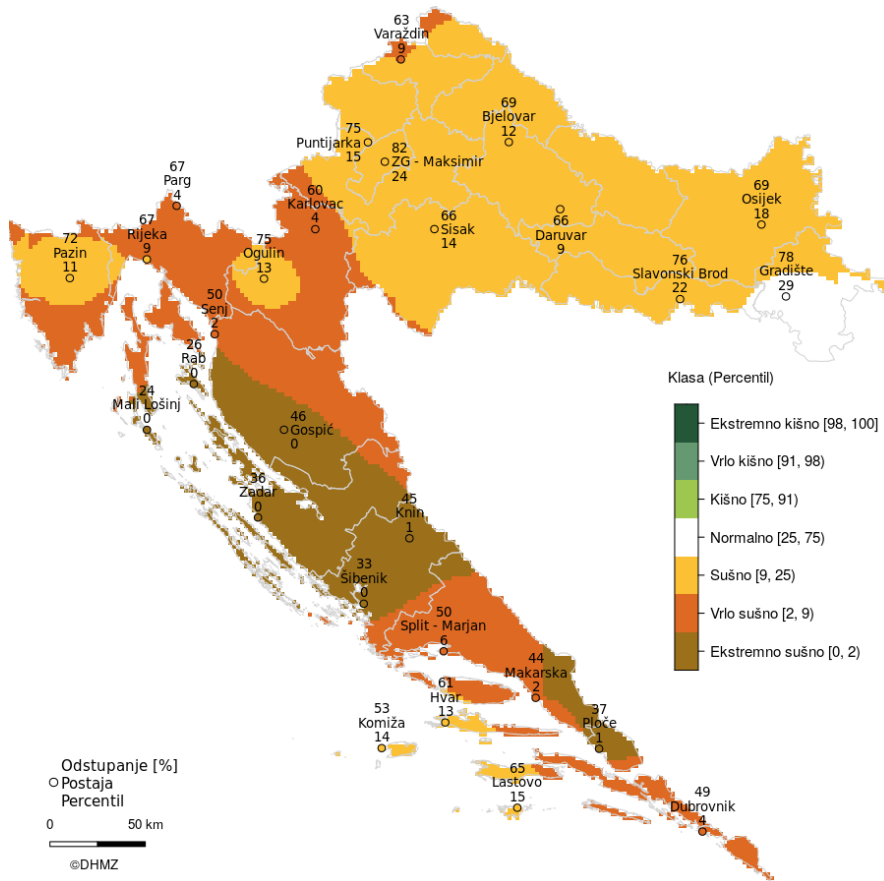


**Slika 2.** Udjeli u uvezenoj energiji [5]

Hidrološka situacija koja se stalno mijenja, bitno utječe na strukturu energetskih izvora iz kojih se podmiruje potrošena energija, a posredno time i na emisiju CO<sub>2</sub>. Ako se samo pogleda situacija s padalinama u proljeće 2019. i 2020. godine (Slika 3. i Slika 4.), vidljive su velike razlike. Tako npr. analiza proljetnih oborina izraženih u postocima za 2019. na svim mjernim postajama pokazuje da su oborine bile iznad prosjeka i da su se kretale od 104 % proljetnog prosjeka u Kninu do 195 % prosjeka u Pazinu (Slika 3.). Već se na Slici 4. zorno vidi da je proljeće u narednoj 2020. bilo iznimno suho, značajno ispod višegodišnjih prosjeka. Ovo opet uzrokuje veliku varijabilnost u proizvodnom potencijalu električne energije u hidroelektranama i samim time i varijabilnost emisija CO<sub>2</sub> po proizvedenom kWh električne energije.



Slika 3. Odstupanje količine oborina za proljeće 2019. [6]



Slika 4. Odstupanje količine oborina za proljeće 2020. [6]

Sa srednjim proljetnim temperaturama je slična situacija. Tako su npr. prosječne temperature za ožujak, travanj i svibanj 2018. godine, na svim mjernim postajama bile više u rasponu od 1,8°C do 2,8°C. Toplinske prilike u Hrvatskoj za proljeće 2018. godine opisane su kao ekstremno tople u dijelovima istočne Hrvatske, a u širem području Ogulina i Knina kao vrlo tople. Već iduće godine, toplinske prilike dominantno su opisane kao normalne dok se šire područje Dubrovnika nalazi u kategoriji toplo [6].

Kao što je već spomenuto, pored opće hidrološke situacije, udio OIE u sustavu proizvodnje energije, pored ostalog, ima i utjecaja u smanjenju emisije CO<sub>2</sub>, što se može zaključiti iz emisija CO<sub>2</sub> tijekom nekoliko proteklih godina. Tako je intenzitet emisije CO<sub>2</sub> za proizvedenu električnu energiju iz proizvodnog miksa tijekom 2015. godine iz svih HEP-ovih izvora (termoelektrane –TE, termoelektrane toplane – TE-TO, hidroelektrane – HE, nuklearna elektrana Krško, 50 % proizvodnje – NEK, OIE i uvoz) iznosio ukupno 2 956 802 tona CO<sub>2</sub> te se u usporedbi s prethodnih nekoliko godina bilježi trend smanjivanja. U 2015. godini, ako se promatra intenzitet stakleničkih plinova po jedinici proizvedene energije, isti je iznosio 261 g CO<sub>2</sub> /kWh proizvedene energije iz izvora HEP grupe. Narednih godina, konstantno se bilježi pad emisije CO<sub>2</sub>, što se može vidjeti iz tablice 1., [7, 8, 9, 10, 11].

**Tablica 1.** Emisija CO<sub>2</sub> po godinama iz proizvodnog miksa HEP-ovih izvora [7, 8, 9, 10, 11]

Godina	g CO <sub>2</sub> / kWh
2015	261
2016	223
2017	199
2018	147
2019	131

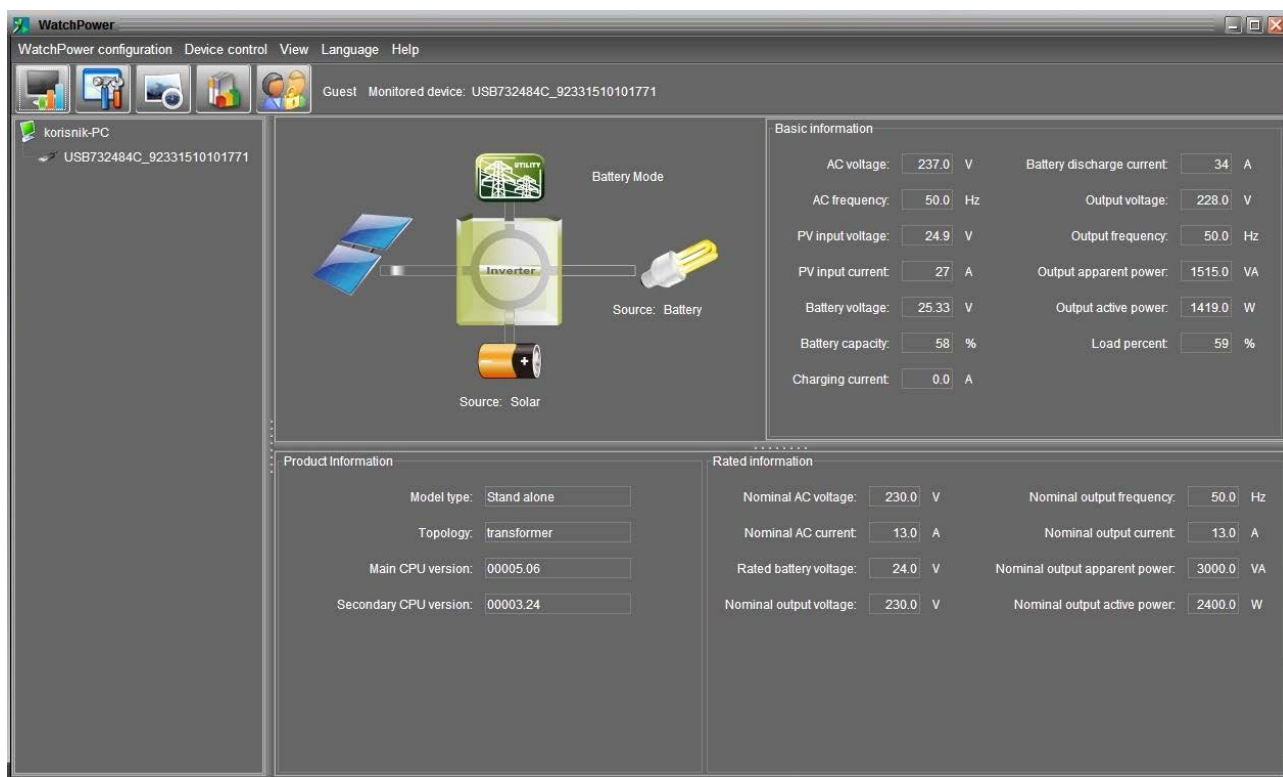
Interesantan je i podatak emisije CO<sub>2</sub> za 2019 godinu ako se usporedi emisija CO<sub>2</sub> za proizvedenu električnu energiju iz HEP-ovih TE i TE-TO koji iznosi 589 g CO<sub>2</sub> /kWh s podatkom kada su u obzir uzeti svi izvori (proizvodni miks). Vidljiva je velika razlika na koju u velikoj mjeri utječe sve veća proizvodnja energije iz OIE.

### 3. Mala FN elektrana

U već spomenutom radu [1], opisan je sustav i neka od izvršenih mjerenja. Ugradnjom dodatne opreme, proširio se broj i vrste mjerenja pa se sada može dobiti i potpunija slika što se tiče sigurnosti, ušteda, utjecaja na okoliš i sl.

Dio mjerenja provedeno je tijekom prvih mjeseci 2020. godine i dobiveni podaci su prikazani u nastavku rada. Nabavkom određene opreme, uz Inverter Sole Alfa UNI 3000, dobiven je i program Watch power koji prati rad invertera, a samim tim i stanje akumulatora, potrošnju energije i sl. Na slici 5. prikazan je izgled osnovnog ekrana s potrebnim podacima FN elektrane, kao što su npr.: napon i struja na istosmjernoj strani (FN i akumulator), stanje napunjenosti akumulatora, frekvencija, struja, snaga i napon na izmjeničnoj strani (izlaz

izmjenjivača). Obzirom da su mjerenja svake minute, količina dostupnih podataka je vrlo velika (1440 skupova podataka dnevno).



Slika 5. Izgled ekrana s osnovnim podacima

Slika 6. prikazuje tablicu dostupnih skupova izmjerenih podataka svake minute koji se pohranjuju na računalo i koje je naknadno moguće obrađivati i analizirati.

The screenshot shows the 'Data' window in WatchPower software. It features a table with columns for various parameters and a 'Time' column. The data is filtered for the date 2020-08-02. The table contains 706 rows of data. The columns are: Device mode, Time, AC voltage, AC frequency, PV input voltage, PV input current, Output appar..., Output active, Battery voltage, Battery capacity, Charging cur..., Battery disch..., Output volt..., and Output freq.

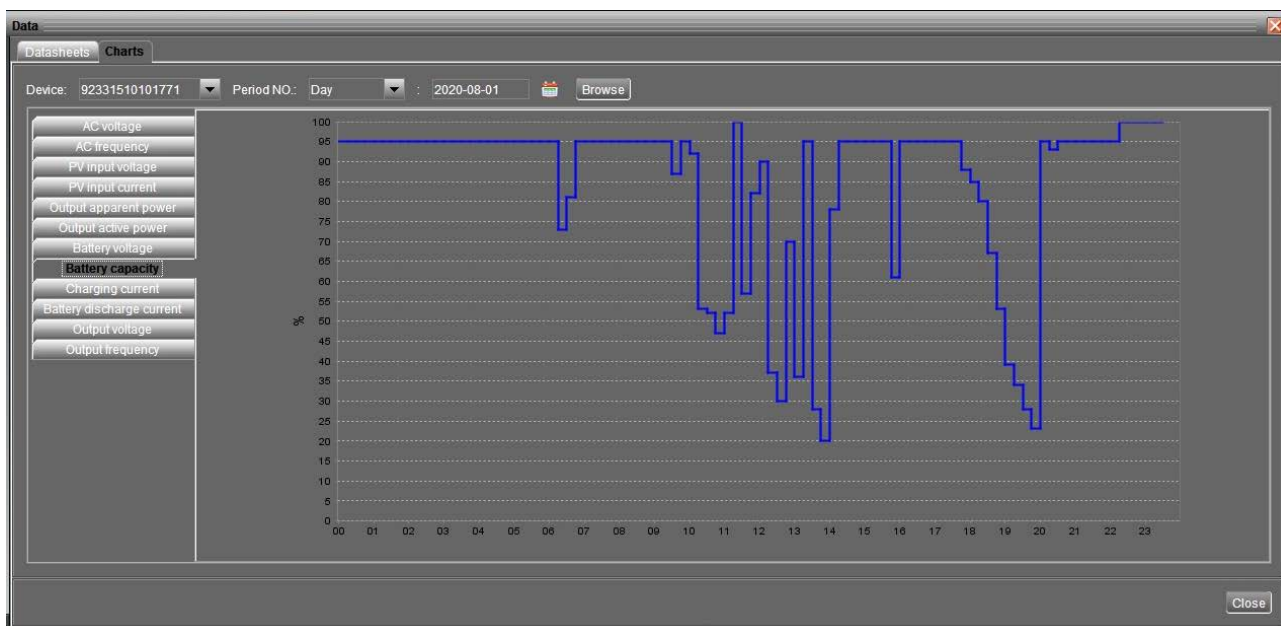
Device mode	Time	AC voltage	AC frequency	PV input voltage	PV input current	Output appar...	Output active	Battery voltage	Battery capacity	Charging cur...	Battery disch...	Output volt...	Output freq.
Battery Mode	2020-08-02 11:40:44	240.0	50.0	31.1	8	834.0	755.0	26.86	100	0.0	23	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:39:42	237.0	50.0	30.5	11	889.0	819.0	26.89	100	0.0	22	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:38:44	242.0	50.0	29.3	15	955.0	886.0	27.11	100	0.0	20	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:37:43	240.0	50.0	29.1	16	995.0	935.0	26.89	100	0.0	22	229.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:36:42	242.0	50.0	25.9	27	1252.0	1202.0	26.3	82	0.0	23	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:35:43	240.0	50.0	27.0	24	1204.0	1115.0	27.03	100	0.0	21	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:34:42	241.0	50.0	26.9	25	1205.0	1118.0	26.79	100	0.0	20	228.0	49.9
Battery Mode	2020-08-02 11:33:41	239.0	50.0	26.5	26	1224.0	1132.0	26.82	100	0.0	20	229.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:32:42	237.0	50.0	26.5	26	1199.0	1107.0	26.86	100	0.0	19	228.0	50.1
Battery Mode	2020-08-02 11:31:41	239.0	50.0	26.3	27	1197.0	1105.0	26.58	89	0.0	18	229.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:30:39	240.0	50.0	26.0	27	1202.0	1111.0	26.23	80	0.0	19	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:29:41	236.0	50.0	25.9	27	1198.0	1107.0	26.13	78	0.0	19	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:28:40	241.0	50.0	25.6	28	1202.0	1109.0	25.96	74	0.0	18	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:27:38	241.0	50.0	25.4	28	1228.0	1138.0	25.57	64	0.0	20	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:26:40	240.0	50.0	24.8	29	1545.0	1436.0	25.05	51	0.0	34	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:25:39	236.0	50.0	24.5	29	1628.0	1515.0	24.91	47	0.0	37	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:24:37	238.0	50.0	24.2	29	1719.0	1609.0	24.56	39	0.0	41	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:23:39	241.0	50.0	24.2	29	1714.0	1602.0	24.6	40	0.0	41	228.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:22:38	237.0	50.0	24.4	29	1694.0	1581.0	24.71	42	0.0	40	229.0	50.0
Battery Mode	2020-08-02 11:21:37	236.0	50.0	24.9	29	1677.0	1573.0	24.78	44	0.0	40	228.0	49.9
Battery Mode	2020-08-02 11:20:35	237.0	50.0	24.8	28	1662.0	1548.0	25.08	52	0.0	39	228.0	50.0

Total: 706 row(s)

Slika 6. Izgled tablice s osnovnim podacima



Slike 7 i 8. prikazuju neke od mogućih grafičkih prikaza koji mogu biti prikazani i analizirani za cijelu godinu, dio godine, određeni mjesec ili dan.



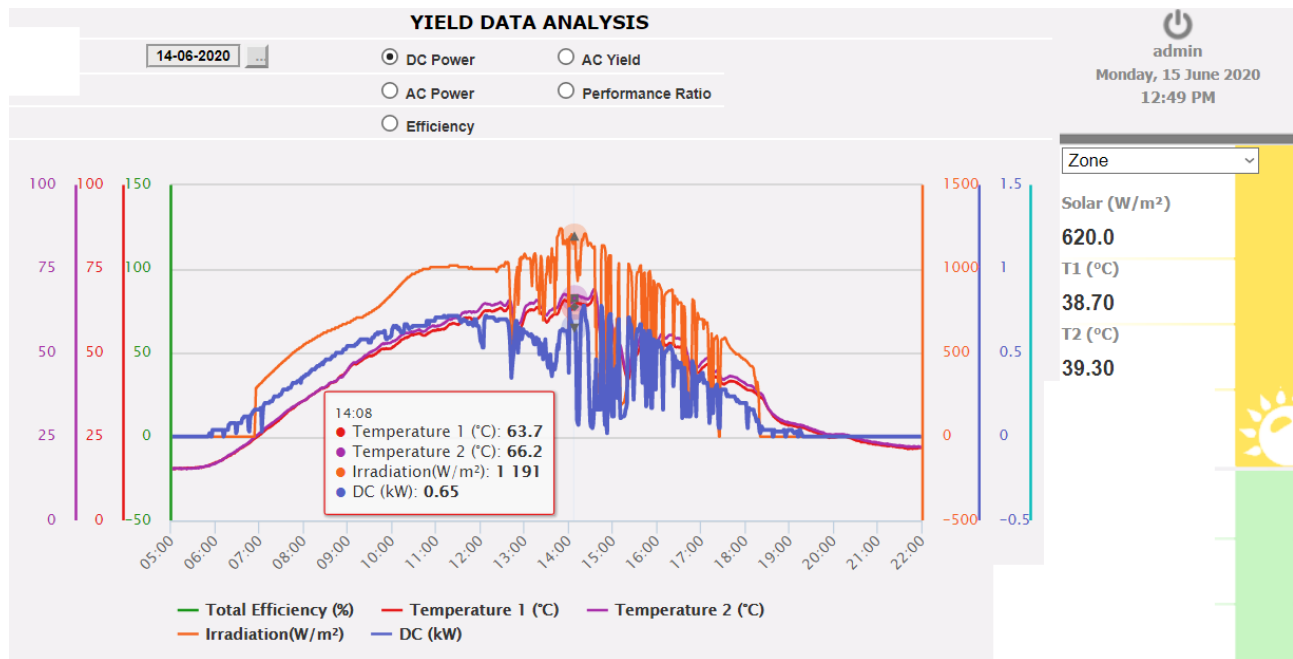
**Slika 7.** Izgled jednog od grafova – kapacitet akumulatora



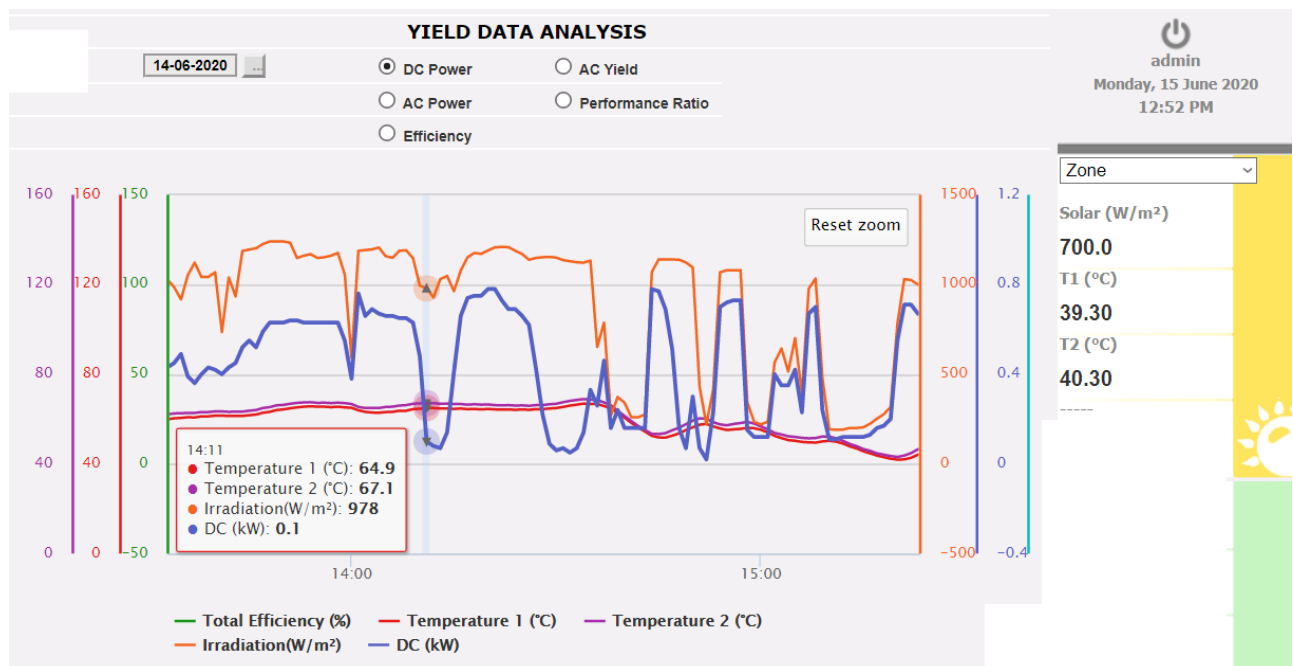
**Slika 8.** Izgled jednog od grafova – izlazna snaga

Drugi niz podataka omogućen je mjernom opremom koja je instalirana uz pomoć stručnjaka firme ERGA d.o.o. iz Osijeka. Tu su zastupljena potrebna mjerenja svakog pojedinog kolektora (temperatura, snaga, struja, napon, proizvodnja energije i slično) i Sunčevog zračenja. Podaci se bilježe svake minute tijekom 24 sata. Dostupni su u tabličnom i grafičkom obliku, kao što je prikazano na slikama 9 do 11.

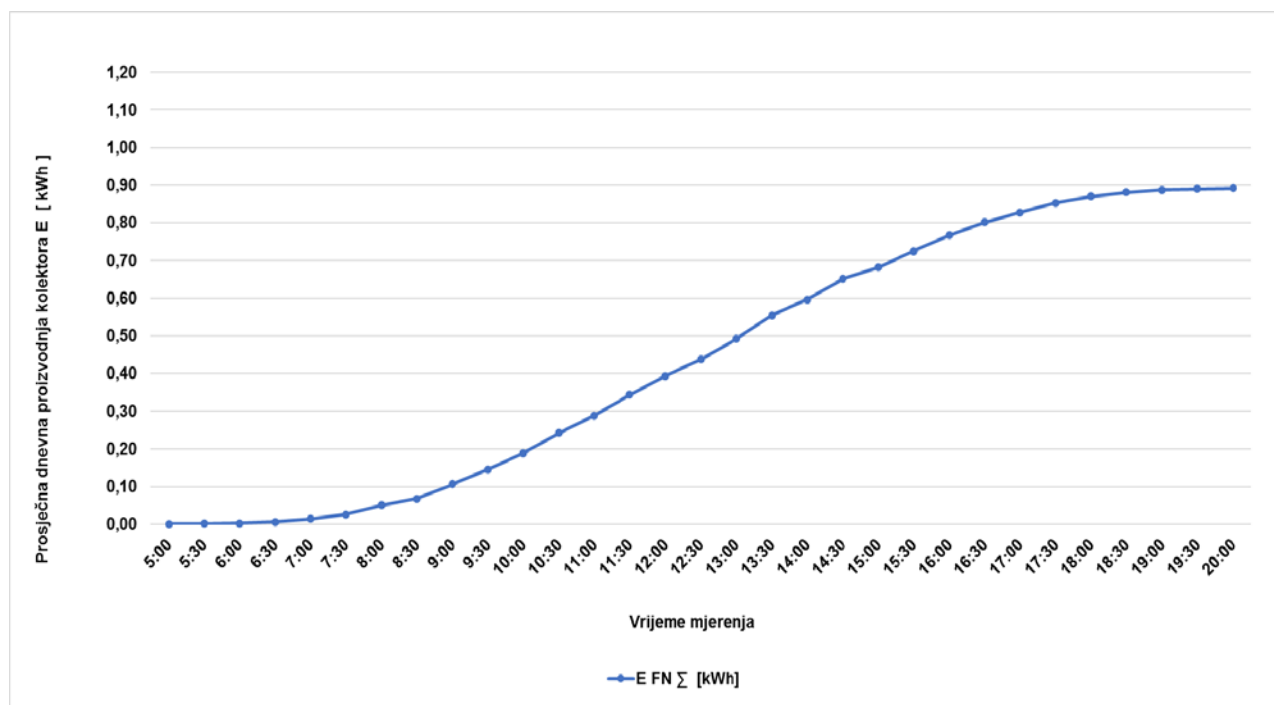




Slika 9. Grafički prikaz podataka u jednom danu



Slika 10. Detalj grafičkog prikaza podataka



Slika 11. Prikaz prosječne dnevne proizvodnje

Kao rezultat mjerenja i obrade podataka od 01.01.2020. do 31.07.2020. (7 mjeseci) proizašli su slijedeći podaci: smanjena je potrošnja električne energije iz mreže – od ukupno potrošenih 2321,4 kWh električne energije, FN elektrana proizvela je 1280,2 kWh što znači da je pokriveno 55,15% vlastite potrošnje. Prema podacima za 2019. godinu, proizvodnjom ove količine energije u TE/TE-TO emitiralo bi se 754,04 kg CO<sub>2</sub> u atmosferu. U slučaju energetskog miksa, to bi iznosilo „samo“ 167,71 kg. Pored neemitiranog CO<sub>2</sub>, „spašeno“ je i 98,02 stabla. Osim ostvarenih financijskih ušteda, zbog ugrađenih akumulatora, povećana je sigurnost opskrbe električne energije te uređaji u kući mogu nesmetano raditi neovisno o trenutnom stanju energetskog sustava.

## 5. Zaključak

Potrošnja energenata raste iz godine u godinu. S obzirom na sve veći utjecaj čovjeka na klimu i okoliš, korištenje OIE može značajno utjecati na napore za očuvanje okoliša i smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Kako veliku količinu energije troši sektor opće potrošnje, a naročito kućanstva, instaliranje velikog broja malih elektrana u značajnoj mjeri može kumulativno dovesti do bitnog utjecaja na smanjenje emisije stakleničkih plinova i time u konačnici očuvanje okoliša i prirodnih resursa.

## 6. Literatura

- [1] Hornung, Krunoslav; Stojkov, Marinko; Čikić, Ante. Utjecaj pojedinca na potrošnju energije i emisiju CO<sub>2</sub> // Zbornik radova , Proceedings, 17. skup o prirodnom plinu , toplini i vodi, 17th Natural Gas, Heat and Water Conference, 10. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, 10th International Natural Gas, Heat and Water Conference / Raos, Pero ; Galeta, Tomislav ; Kozak, Dražan ; Raos, Marija ; Stojšić, Josip ; Tonković Zlatko.



- (ISSN 1849-0638). Slavonski Brod : Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, 25.-27.09.2019. str. 81-88.
- [2] Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla, A. K., Sudhakar, K., S.R., M. M., & Bhimte, A. (2018). Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households: A case study of Ujjain, India. *Energy Reports*, 4, 546–553. doi:10.1016/j.egy.2018.08.002
- [3] Lau, K. Y., Muhamad, N. A., Arief, Y. Z., Tan, C. W., & Yatim, A. H. M. (2016). Grid-connected photovoltaic systems for Malaysian residential sector: Effects of component costs, feed-in tariffs, and carbon taxes. *Energy*, 102, 65–82. doi:10.1016/j.energy.2016.02.064
- [4] Wollein J. (2017). Investment analysis for solar PV cells in Sweden. Halmstad University. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1108615/FULLTEXT02.pdf> (05.05.2020.)
- [5] Godišnji energetska pregled - Energija u Hrvatskoj 2018, Ministarstvo gospodarstva RH <http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2019/12/Energija2018.pdf> (14.05.2020.)
- [6] DHMZ [http://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_pracjenje&param=ocjena](http://meteo.hr/klima.php?section=klima_pracjenje&param=ocjena) (10.06.2020.)
- [7] Struktura izvora električne energije u 2019. <https://www.hep.hr/opskrba/trziste-elektricne-energije/trziste/izvori-energije/1385> (05.05.2020.)
- [8] Izvešće o održivosti HEP grupa 2015. - HEP-a. [https://www.hep.hr/UserDocImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP\\_Izvjescje\\_o\\_odrzivosti\\_2015.pdf](https://www.hep.hr/UserDocImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP_Izvjescje_o_odrzivosti_2015.pdf) (05.05.2020.)
- [9] Izvešće o održivosti za 2016. godinu - HEP-a. [https://www.hep.hr/UserDocImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP\\_izvjescje\\_o\\_odrzivosti\\_2016.pdf](https://www.hep.hr/UserDocImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP_izvjescje_o_odrzivosti_2016.pdf) (05.05.2020.)
- [10] Izvešće o održivosti HEP grupa 2017. - HEP-a. [https://www.hep.hr/UserDocImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP\\_Izvjescje\\_o\\_odrzivosti\\_2017.pdf](https://www.hep.hr/UserDocImages//dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti//HEP_Izvjescje_o_odrzivosti_2017.pdf) (05.05.2020.)
- [11] Izvešće o održivosti za 2018. godinu - HEP-a [http://www.hep.hr/UserDocImages/dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti/HEP\\_Izvjescje\\_o\\_odrzivosti\\_2018.pdf](http://www.hep.hr/UserDocImages/dokumenti/Izvjescje%20o%20odrzivosti/HEP_Izvjescje_o_odrzivosti_2018.pdf) (05.05.2020.)



## Energijski sustavi i značajke zgrada *Energy systems and characteristics of buildings*

A. Srdoč<sup>1,\*</sup>, V. Filipan<sup>1</sup>, I. Rendulić<sup>2</sup>, I. Sutlović<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Thorium Software d.o.o., Zagreb, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: asrdoc@fkit.hr

### Sažetak

U radu je obrađena potrošnja energije, gubici i dobici energije te mjere energetske učinkovitosti za privatni stan u starijoj jednokatnoj kući u Osijeku. Pri tome su primijenjeni principi navedeni u EPBD direktivi (Energy Performance of Buildings Directive), a za analizu je korišten računalni program Thorium A+. Proveden je niz izračuna koji pokazuju karakteristike i energetske stanje građevine te potrošnju energenata, a analiziran je i niz mjera za poboljšanje energetske svojstva zgrade te smanjenje ukupne potrošnje energije i emisije CO<sub>2</sub>, uz procjenu financijske isplativosti pojedinih mjera. Ustanovljeno je da je najučinkovitije koristiti kombinaciju građevinskih mjera i obnovljive izvore energije. Prema postojećem stanju energetske razred zgrade je E po energiji potrebnoj za grijanje ( $Q''_{H,nd}$ ), odnosno D po ukupnoj primarnoj energiji ( $E_{prim}$ ), a primjenom predložene kombinacije mjera za poboljšanje razred se može promijeniti u C po  $Q''_{H,nd}$ , odnosno u A-A+ po  $E_{prim}$ .

**Ključne riječi:** energijski sustavi, značajke zgrada, modeliranje, optimizacijske metode, Thorium A+ program

### Abstract

The consumption of energy and energy efficiency were processed for a private flat in an older one-story building in Osijek. The principles set forth in the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD directive) were accepted and the calculation program Thorium A+ was used. A series of calculations that show the characteristics of the building, the energy state of the building and consumption of energy were done. Furthermore, a series of steps toward improving the energy characteristics of the building and suggestions for reducing the total energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in the household, as well as cost-effectiveness of the measures were analysed. It was indicated that the combination of insulating measures and use of renewable energy systems gives the best results. In the existing state the energy class of the building E by energy required for heating ( $Q''_{H,nd}$ ) or D by total energy before transformation ( $E_{prim}$ ) after the suggested steps for improvement can be changed to C, or even to A+ according to  $Q''_{H,nd}$ , or  $E_{prim}$  respectively.



**Key words:** energy systems, energy performance of building, modelling, optimisation methods, Thorium A+ software

## 1. Uvod

Zadatak u ovome radu je analiza potrošnje energije i mogućnosti poboljšanja energetske učinkovitosti na primjeru četverosobnog stana u jednoj starijoj stambenoj zgradi u Osijeku. Za obradu podataka koristi se računalni program Thorium A+ [1] uz primjenu mjera energetske učinkovitosti navedenih u EPBD direktivi. Temeljna ideja i svrha rada je da se ustanovi stvarno energetske stanje zgrade i dobije uvid u energetske učinkovitost i racionalnu ili neracionalnu potrošnju energije kućanstva. Temeljem izračuna korištenjem stvarnih podataka o potrošnji energije (toplinske za zagrijavanje prostora i sanitarne vode - prirodni plin, drvo, drveni briket, te električne energije) treba ustanoviti sadašnje stanje te ukazati na propuste i neracionalnosti. Analizom se želi pokazati da u ovom trenutku korištenje svih energetske i drugih resursa odabranog kućanstva, možda nije najracionalnije i da postoje mogućnosti poboljšanja u mnogim segmentima, a time i mogućnost određenih ušteda. Ponašanje u smislu poboljšanja opće slike potrošnje energije, energetske i ekološke ponašanje na primjeru jednog prosječnog kućanstva može biti uzor za mnoga druga slična kućanstva.

## 2. Odabir objekta i karakteristika zgrade

Za analizu je odabrana starija zgrada u Osijeku, izgrađena 1905. godine. Radi se o zgradi u nizu, orijentiranoj u pravcu istok-zapad sa stanom orijentacije sjever-jug. Na slici 1 prikazano je stanje sjeverne fasade zgrade.

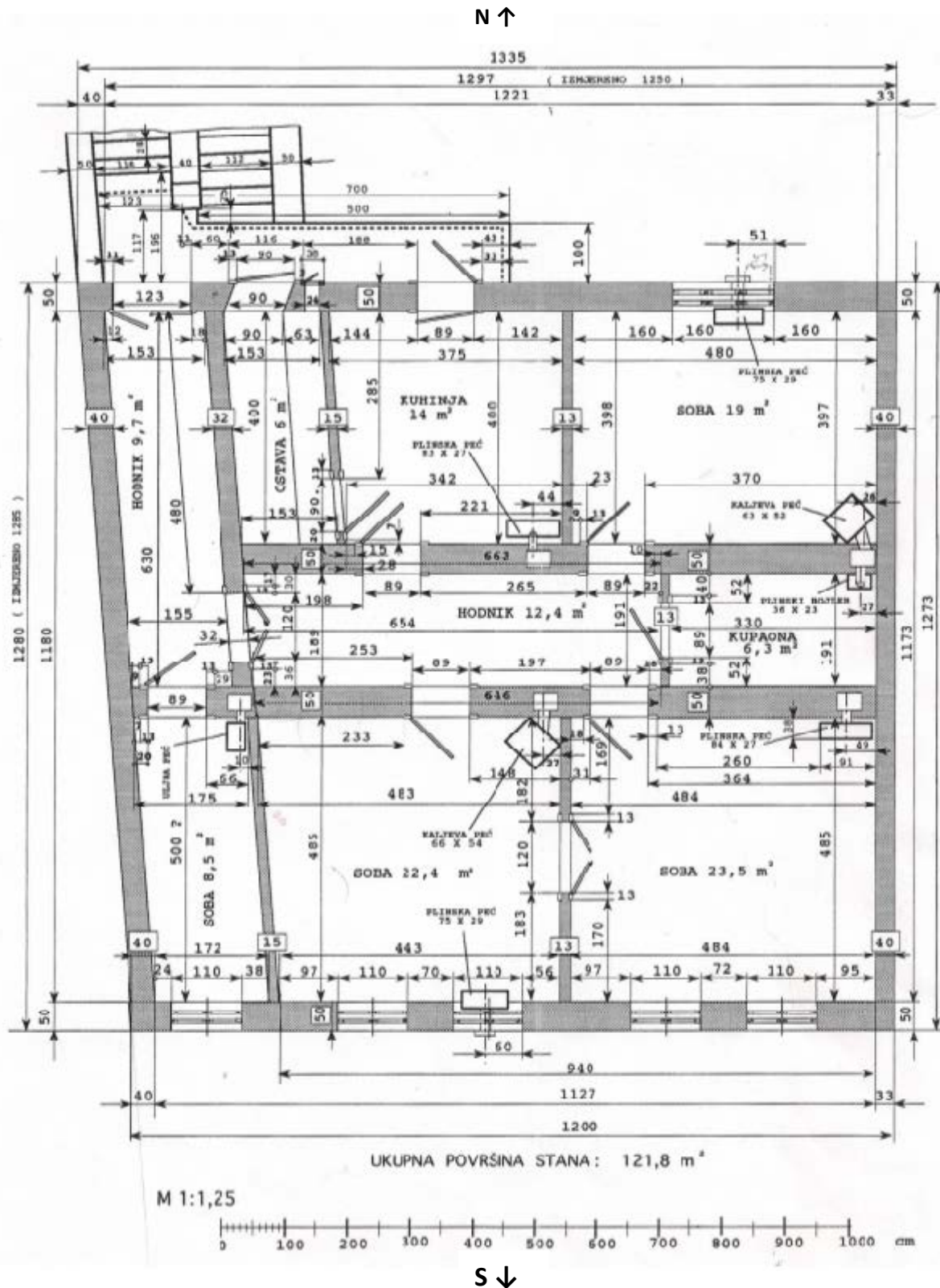


**Slika 1.** Sjeverna/dvorišna strana stambene jedinice

Fasada na jugu je renovirana, no zahtjeva izolaciju.



Orijentacija stana vidi se na slici 2 na kojoj je dan tlocrt sa svim detaljima.



Tavan je s visokim kosim krovom na dvije vode i klasičnim gredama, a krovni pod je od nosivih drvenih greda i dasaka ispunjen šutom i glinom. Visina kata je 3,7 m.

U radu se analizira stan na katu, koji ima stare klasične drvene prozore (2x 1-struko ostakljenje sa 2 doprozornika). Sva vrata su također klasična drvena. Zidovi su od klasične pune cigle starih dimenzija 30 x 15 x 7 cm. Pod je izveden s nosećim ciglenim lukovima u prizemlju kao nosačima i ispunjen šutom i na gornjoj strani betonskom glazurom te keramičkim pločicama ili parketima, ovisno o namjeni prostorije. Dimnjaci su klasični, zidani od iste cigle kao i zidovi.

Za analizu grijanja prostorija koristi se program za energetske certificiranje Thorium A+. Obrađuju se dijelovi stana u koje je uključeno: vanjski zidovi, postrani zidovi između zgrada, podovi, stropovi, negrijane prostorije, granični zidovi, vrata i prozori. Analizira se cjelokupna energetska potrošnja stana za potrebe grijanja kao i za sve ostale namjene.

### 3. Postojeće stanje korištenja energetske resursa

#### 3.1 Način grijanja prostora

Grijanje prostorija je pojedinačno zagrijavanje po potrebi. Koriste se tri energenta: prirodni plin, električna energija te drvo/drveni briketi. Grije se preko fasadnih plinskih peći snage 7 kW, kaljeve peći te termoakumulacijske peći. Sve navedeno prikazano je u Tablici 1. Efektivni sati rada predstavljaju prosječno dnevno vrijeme korištenja tijekom godine.

**Tablica 2.** Prostorije i ogrjevna tijela za zagrijavanje

NAČIN ZAGRIJAVANJA PROSTORIJA										
Red. br	ZAGRIJAVANI PROSTORI					OGRJEVNA TIJELA				
	PROSTORIJA	ORIJENTACIJA	DIMENZIJE D x Š x V m	POVRŠINA m <sup>2</sup>	VOLUMEN PROSTORIJE m <sup>3</sup>	VRSTA	ENERGENT	SNAGA	POTROŠNJA ENERGENTA	EFEKTIVNI SATI RADA
1	DNEVNA SOBA	JUG	4,8 x 4 x 3,7	19,20	71,04	FASADNA PLINSKA PEĆ - LAMPART	PRIRODNI PLIN	7,0 kW	0,750 m <sup>3</sup> /h	-
						KALJEVA PEĆ	DRVO DRVENI BRIKETI	5,0 kW	-	6
2	SPAVAĆA SOBA	JUG	4,8 x 4,8 x 3,7	23,04	85,25	PLINSKA PEĆ - FEEG	PRIRODNI PLIN	7,5 kW	0,650 m <sup>3</sup> /h	3
3	MALA SOBA	JUG	5 x 1,8 x 3,7	9,00	33,30	<u>NE ZAGRIJAVA SE</u>				
4	SPAVAĆA SOBA	SJEVER	4,8 x 4 x 3,7	19,20	71,04	FASADNA PLINSKA PEĆ - LAMPART	PRIRODNI PLIN	7,0 kW	0,750 m <sup>3</sup> /h	3
5	KUHINJA	SJEVER	3,8 x 4,6 x 3,7	17,48	64,68	FASADNA PLINSKA PEĆ - LAMPART	PRIRODNI PLIN	7,0 kW	0,750 m <sup>3</sup> /h	6
6	SMOĆNCA	SJEVER	1,5 x 4 x 3,7	6,00	22,20	<u>NE ZAGRIJAVA SE</u>				
7	KUPAONA	IZMEĐU PROSTORIJA	3,3 x 1,9 x 3,7	6,27	23,20	TERMOAKUMULACIONA PEĆ	ELEKTRIČNA STRUJA	2,5 kW	-	3
8	HODNIK	SJEVER - JUG	6,5 x 1,9 x 3,7	12,35	45,70	<u>NE ZAGRIJAVA SE</u>				
9	HODNIK	ISTOK - ZAPAD	6,3 x 1,5 x 3,7	9,45	34,97	<u>NE ZAGRIJAVA SE</u>				
UKUPNO					121,99	451,36		36 kW		

#### 3.2 Potrošnja prirodnog plina

Stanje godišnje potrošnje prirodnog plina na temelju višegodišnjeg praćenja računa za plin i iskustva stanara s grijanjem i korištenjem PTV-a dano je u tablici 2.

**Tablica 3.** Potrošnja prirodnog plina na temelju višegodišnjeg praćenja preko računa

PROSJEČNA POTROŠNJA PRIRODNOG PLINA							PP
Red. br	MJESTO POTROŠNJE	SVRHA POTROŠNJE	TROŠILO	SNAGA TROŠILA	PROSJEČNA GODIŠNJA POTROŠNJA PLINA PO TROŠILIMA		UKUPNA GODIŠNJA POTROŠNJA ENERGENTA
					PL. BOJLER m <sup>3</sup>	PLINSKE PEĆI m <sup>3</sup>	
1	KUPAONA	SANITARNA TOPLA VODA	PROTOČNI PLINSKI BOJLER - JUNKERS	21,8 kW	170	—	1686 m <sup>3</sup>
2	PROSTORIJE	ZAGRIJAVANJE PROSTORA	PLINSKE PEĆI	28,5 kW	—	1516	*16282 kWh

\*NAPOMENA: Prosječna isporučena donja ogrjevna vrijednost plina na temelju 12 mjeseci iznosi 9.657 kWh/m<sup>3</sup>

#### 4. Energetska bilanca zgrade

##### 4.1 Računalni program Thorium A+

Ovaj program je proizašao iz potrebe rješavanja problema koji se pojavljuju pri analizi energetske potrošnje, energetske pregleda i izradi projekata u zgradarstvu, kao i za izradu energetske certifikata. Računalni program Thorium A+, osmišljen je od strane inženjera više struka, kao suradnja FER-a i FSB-a, tako da može na jednostavan i učinkovit način obraditi sve relevantne podatke i ustanoviti pravo stanje potrošnje energije za neku zgradu. Program prikazuje usporedbu sadašnjeg stanja i mjera mogućeg poboljšanja. Ovo je suština cijelog procesa analize utroška energije i izrade energetske certifikata.

##### 4.2 Izračun toplinskih gubitaka

Toplinski gubici su izračunati pomoću programa Thorium A+ i obuhvaćaju slijedeće:

- Vanjska ovojnica
- Negrijane prostorije
- Toplinski mostovi
- Ventilacija

Za potrebe proračuna u Tablici 3 dani su podaci o površinama i koeficijentima prolaska topline.

**Tablica 3.** Površine građevnih dijelova grijanog dijela objekta i pripadajući koeficijenti prolaska topline

Naziv građevnog dijela	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>max</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Zadovoljava	Dinamičke topl. karakteristike zad.
Fasada sjever	36,22	1,29	0,30	Ne	Da
Fasada jug	30,24	1,26	0,30	Ne	Da
Strop	131,53	0,33	0,25	Ne	---

Prozori i vrata su modelirani kao otvori u zgradi, tablica 4. Iako imaju malu površinu, koeficijent prolaska topline je velik te imaju doprinos u ukupnim gubiticima topline kroz

ovojnicu oko 25%. U algoritam ulaze podaci za koeficijent prolaska topline U, udio ostakljenja, ukupna propusnost sunčeva zračenja te vrsta zaslona.

Podaci za koeficijent U prozora su uzeti iz priloga metodologije provođenja energetskog pregleda zgrada [2], a maksimalne dozvoljene vrijednosti  $U_{max}$  prema Teh. propisu [3].

**Tablica 4.** Površine otvora objekta i pripadajući koeficijenti prolaska topline

Naziv otvora	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{max}$ [W/m <sup>2</sup> K]	Zadovoljava
Prozori JUG	9,10	3,60	1,60	Ne
Prozor sjever spavaća soba	3,37	3,60	1,60	Ne
Prozor iznad vrata kuhinje	0,57	3,60	1,60	Ne
Balkonska vrata kuhinja (vanjska)	1,93	2,90	2,00	Ne

Toplinski gubitci provjetravanjem određeni su preko zrakopropusnosti, koja je određena preko tablice po Metodologiji sa  $n_{50}=12$  [h<sup>-1</sup>]. [4]

## 5. Prijedlog konkretnih mjera za poboljšanje promatrane zgrade

Temeljem podataka iz proračuna predložene su konkretne mjere vezane za poboljšanje energetske učinkovitosti.

Ove mjere su modelirane u smislu najisplativijih i najučinkovitijih efekata uz najmanja financijska ulaganja i uglavnom se svode na građevinske mjere (GM), elektrotehničke mjere (EM) i strojarske mjere (SM). S obzirom da se dio stana grije na drva i el. energiju, udio u ukupnom  $Q_{gen,in}$  iznosi 20% za peć na drva, 6% za termoakumulacijsku peć, a 74% za plinske peći. Iz usporedbe sa računima plina, u programu je uzeto da su  $E_{del}$  i  $Q_{H,nd}$  približno jednake tako da je režim rada sustava za grijanje podešen na 10 h rada dnevno i 17°C kao temperatura grijanja.

Analizirano je 7 mjera poboljšanja energetske učinkovitosti. Prve 3 mjere bile su građevinske: izolacija vanjske ovojnice (GM1) i ugradnja novih otvora (GM2), samostalno i kao zajednička mjera. Druge 3 mjere su strojarske i tiču se promjene u sustavu dovoda toplinske energije u zgradu (kondenzacijski boiler-SM1, dizalica topline-SM2 i split klima uređaji-SM3) dok je 7. mjera iz područja elektrotehnike i tiče se ugradnje fotonaponskog sustava na južni krov zgrade (EM1). Utjecaj mjera proučavao se odvojeno i u različitim kombinacijama. Ovdje u radu navode se samo najznačajniji rezultati analize i to:

- 1) Kombinacija građevinskih mjera GM1 i GM2 (izolacija vanjske ovojnice i ugradnja novih prozora i vrata)
- 2) Ugradnja dizalice topline kao strojarska mjera SM2 i
- 3) Postavljanje fotonaponskog sustava kao elektrotehnička mjera EM1

Detaljni rezultati proračuna dani su za kombinaciju navedene 3 mjere, dok su za ugradnju kondenzacijskog kotla (strojarska mjera SM1) i ugradnju split klima uređaja (strojarska mjera SM3) kao mjere koje u promatranom slučaju nisu pokazale posebnu financijsku isplativost dani samo najznačajniji rezultati.



## 5.1 Izolacija vanjske ovojnice i ugradnja novih prozora i vrata

Detaljni rezultati proračuna u programu Thorium A+ za obje građevinske mjere u kombinaciji (GM1 izolacija vanjske ovojnice i GM2 ugradnja novih prozora i vrata) dani su na slici 3.

GM1+GM2							
		Q <sub>gen, in, uk</sub> [kWh]	W <sub>aux, uk</sub> [kWh]	Cijena energenata [kn]	E <sub>del</sub> [kWh]	E <sub>prim</sub> [kWh]	CO <sub>2</sub> [kg]
<b>Referentni sistemi</b>							
PS: Plinska peć	Prirodni plin	10790.69	0.00	3237.21	10790.69	11815.81	2373.95
PS: PEĆ NA DRVA	Ogrjevno drvo	2916.40	0.00	583.28	2916.40	2916.40	84.58
PS: PTV_ PROTOČNI PLINSKI BOJLER	Prirodni plin	3388.71	1.14	1017.75	3389.85	3712.48	745.78
PS.TERMOAKUMULACIJSKA PEĆ	Električna energija	646.68	0.00	646.68	646.68	1043.74	151.32
<b>Ukupno</b>		<b>17742.49</b>	<b>1.14</b>	<b>5484.92</b>	<b>17743.63</b>	<b>19488.44</b>	<b>3355.63</b>
<b>Zamjenski sistemi</b>							
GM1+GM2: Plinska peć	Prirodni plin	6992.04	0.00	2097.61	6992.04	7656.28	1538.25
GM1+GM2: PEĆ NA DRVA	Ogrjevno drvo	1889.74	0.00	377.95	1889.74	1889.74	54.80
GM1+GM2: PTV_ PROTOČNI PLINSKI BOJLER	Prirodni plin	3388.71	1.14	1017.75	3389.85	3712.48	745.78
GM1+GM2: TERMOAKUMULACIJSKA PEĆ	Električna energija	419.03	0.00	419.03	419.03	676.31	98.05
<b>Ukupno</b>		<b>12689.52</b>	<b>1.14</b>	<b>3912.34</b>	<b>12690.66</b>	<b>13934.82</b>	<b>2436.89</b>
<b>Ušteda</b>		<b>5052.97</b>	<b>0.00</b>	<b>1572.58</b>	<b>5052.97</b>	<b>5553.62</b>	<b>918.75</b>

**Slika 3.** Prikaz uštede energije i novca pri izolaciji vanjske ovojnice i ugradnji novih otvora

## 5.2 Ugradnja dizalice topline (DT)

SM2 predstavlja ugradnju dizalice topline, sustav koji upotrebljava OIE [5]. DT spada u tip zrak-voda. Nazivna snaga DT je 15 kW, volumen spremnika za sanitarnu toplu vodu je 150 L. Režim rada DT za grijanje PTV je 55°C/45°C. U ovom slučaju DT radi u paralelnom režimu rada tako da dizalica i grijač rade istovremeno pri niskoj temperaturi i na taj način ušteduje energiju. Detaljni rezultati u kombinaciji s mjerama GM1 i GM2 dani su na slici 4.

SM2+GM1 + GM2: Ugradnja DT za grijanje i PTV							
		Q <sub>gen, in, uk</sub> [kWh]	W <sub>aux, uk</sub> [kWh]	Cijena energenata [kn]	E <sub>del</sub> [kWh]	E <sub>prim</sub> [kWh]	CO <sub>2</sub> [kg]
<b>Referentni sistemi</b>							
PS: Plinska peć	Prirodni plin	10790.69	0.00	3237.21	10790.69	11815.81	2373.95
PS: PEĆ NA DRVA	Ogrjevno drvo	2916.40	0.00	583.28	2916.40	2916.40	84.58
PS: PTV_ PROTOČNI PLINSKI BOJLER	Prirodni plin	3388.71	1.14	1017.75	3389.85	3712.48	745.78
PS.TERMOAKUMULACIJSKA PEĆ	Električna energija	646.68	0.00	646.68	646.68	1043.74	151.32
<b>Ukupno</b>		<b>17742.49</b>	<b>1.14</b>	<b>5484.92</b>	<b>17743.63</b>	<b>19488.44</b>	<b>3355.63</b>
<b>Zamjenski sistemi</b>							
SM2+GM1+GM2: Dizalica topline	Aerotermalna energija	8546.77	3234.10	3234.10	11780.87	5219.84	756.78
<b>Ukupno</b>		<b>8546.77</b>	<b>3234.10</b>	<b>3234.10</b>	<b>11780.87</b>	<b>5219.84</b>	<b>756.78</b>
<b>Ušteda</b>		<b>9195.72</b>	<b>-3232.96</b>	<b>2250.82</b>	<b>5962.76</b>	<b>14268.59</b>	<b>2598.85</b>

**Slika 4.** Prikaz uštede energije i novca pri ugradnji DT u programu Thorium A+



### 5.3 Postavljanje fotonaponskog sustava

Ova mjera nadovezuje se na prethodnu i služi za kompenzaciju energije pomoćnih sustava  $W_{aux,uk}$  od DT upotrebom fotonaponskog sustava monokristalnog silicija snage  $0,17 \text{ kW/m}^2$ , površine  $12 \text{ m}^2$ . Snaga ovog sustava približno kompenzira  $W_{aux, uk}$  potrebnu za DT. Samim time se smanjuje utjecaj na okoliš. Detaljni rezultati ove mjere u kombinaciji s SM2 i GM1 te GM2 dobiveni u programu Thorium A+ dani su na slici 5.

EM1+SM2+GM1+GM2: Ugradnja DT za grijanje i PTV i ugradnja FN elektrane							
		$Q_{gen, in, uk}$ [kWh]	$W_{aux, uk}$ [kWh]	Cijena energenata [kn]	$E_{del}$ [kWh]	$E_{prim}$ [kWh]	$CO_2$ [kg]
<b>Referentni sistemi</b>							
PS: Plinska peć	Prirodni plin	10790.69	0.00	3237.21	10790.69	11815.81	2373.95
PS: PEĆ NA DRVA	Ogrjevno drvo	2916.40	0.00	583.28	2916.40	2916.40	84.58
PS: PTV_ PROTOČNI PLINSKI BOJLER	Prirodni plin	3388.71	1.14	1017.75	3389.85	3712.48	745.78
PS:TERMOAKUMULACIJSKA PEĆ	Električna energija	646.68	0.00	646.68	646.68	1043.74	151.32
<b>Ukupno</b>		<b>17742.49</b>	<b>1.14</b>	<b>5484.92</b>	<b>17743.63</b>	<b>19488.44</b>	<b>3355.63</b>
<b>Zamjenski sistemi</b>							
EM1+SM2+GM1+GM2: Dizalica topline	Aerotermaalna energija	8546.62	3234.02	3234.02	11780.64	5219.70	756.76
Fotonapon	Sunčeva energija	-2127.97	0.0	-2127.97	-2127.97	-3434.54	-803.68
<b>Ukupno</b>		<b>6418.65</b>	<b>3234.02</b>	<b>1106.05</b>	<b>9652.67</b>	<b>1785.16</b>	<b>-46.92</b>
<b>Ušteda</b>		<b>11323.84</b>	<b>-3232.88</b>	<b>4378.88</b>	<b>8090.96</b>	<b>17703.27</b>	<b>3402.56</b>

**Slika 5** Prikaz uštede energije i novca pri postavljanju fotonaponskog sustava i DT

### 5.4 Isplativost predloženih mjera

Ukupna isplativost svih predloženih mjera uz mogućnost sufinanciranja kao i smanjenje emisije  $CO_2$ , prikazani su u tablici 5.

Procijenjena ušteda energije u svim prethodnim mjerama odnosi se na  $E_{del}$  i ona je manja zbog potrebne  $W_{aux,uk}$ . [6] Podaci za koje se upotrebljava referentna klimatska postaja znatno odstupaju od stvarne,  $Q_{H,nd}=17.821,08 \text{ kWh/a}$ , stoga za potrebe usporedbe isplativosti mjera odabiremo stvarne klimatske podatke. Primjenom mjera za poboljšanje može se zaključiti da je najisplativije kompletno obnoviti vanjsku ovojnicu, te ugraditi DT i FN. Split klima bi donijela najveće smanjenje potrošnje zbog velike količine proizvedene energije po kWh električne energije, ali zbog velike početne investicije u promatranom kućanstvu nije prihvatljiva.

**Tablica 5.** Prikaz povrata investicije te smanjenje emisije CO<sub>2</sub>

Ime mjere	Postotak sufinanciranja [%]	Investicija [kn]	Procijenjena ušteda [kn/god]	Procijenjena ušteda [kWh/god]	JPP [god.]	Smanjenje emisija CO <sub>2</sub> [t/god]	Pokazatelj [kn/tCO <sub>2</sub> god.]	Pokazatelj [kn/kWh god.]
GM1: Izolacija vanjske ovojnice	60,0	12.000,00	828,12	2.660,90	14,49	0,48	24.793,38	4,51
GM2: Ugradnja novih otvora	60,0	11.200,00	505,21	1.623,33	22,16	0,29	37.966,10	6,89
GM1+GM2	60,0	23.200,00	1.572,58	5.052,97	14,75	0,91	25.244,83	4,59
SM1+GM1+ GM2: Ugradnja kondenzacijskog kotla za grijanje i PTV	40,0	49.800,00	2.857,04	9.193,28	17,43	1,47	33.808,55	5,41
SM2+GM1 + GM2: Ugradnja DT za grijanje i PTV	60,0	47.200,00	2.250,82	5.962,76	20,97	2,59	18.160,83	7,91
EM1+SM2+GM1+GM2: Ugradnja DT za grijanje i za PTV i ugradnja FN elektrane	60,0	59.200,00	4.378,87	8.090,96	13,51	3,40	17.396,41	7,31
SM3+GM1+GM2: Split klima	25,0	58.500,00	2.631,42	12.518,03	22,23	2,18	26.834,86	4,67

U Tablici 6 dana je usporedba energetske razreda zgrade kao rezultat provođenja svih 7 mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti.

**Tablica 6.** Usporedba energetske razreda zgrade

Model	Q <sup>"</sup> <sub>H,nd</sub> /m <sup>2</sup> a [kWh/m <sup>2</sup> a]	Razred (prema Q <sub>H,nd</sub> )	Vrijednosti	E <sub>prim</sub> /m <sup>2</sup> a [kWh/m <sup>2</sup> a]	Razred (prema E <sub>prim</sub> )	Vrijednosti
PS: OK	165,51	E	≤ 200	308,77	D	>265 ≤410
GM1	133,09	D	≤ 150	257,99	C	>120 ≤265
GM2	144,59	E	≤ 200	295,65	D	>265 ≤410
GM1+GM2	105,55	D	≤ 150	179,94	C	>120 ≤265
SM1+GM1+GM2	105,55	D	≤ 150	119,36	C	>120 ≤265
SM2+GM1+GM2	105,55	D	≤ 150	60,68	A	>80 ≤100
EM1+SM2+GM1+GM2	105,55	D	≤ 150	28,88	A+	≤80
SM3+GM1+GM2	105,55	D	≤ 150	53,92	A	>80 ≤100

## 6. Zaključak

Provedena je analiza podataka kako bi se ustanovile energetske značajke, odredio energetski razred, troškovi primjene pojedinih mjera i vrijeme povrata investicije za obiteljsku stambenu jedinicu u Osijeku koja je razreda **E** [≤ 200 kWh/(m<sup>2</sup>a)] po godišnjoj Q<sup>"</sup><sub>H,nd</sub>, odnosno razreda **D** [>265 ≤410 kWh/(m<sup>2</sup>a)] po godišnjoj E<sub>prim</sub>.

Programom Thorium A+ omogućeno je modeliranje i simulacija mjera za poboljšanja. Pokazalo se da kombinacija mjera izolacije vanjske ovojnice (GM1) te ugradnja novih prozora i vrata (GM2) donosi najviše prednosti za promatrani objekt. Ugradnja kondenzacijskog kotla za grijanje i PTV (mjera SM1) znatno bi pomogla pri uštedi energije, ali je investicija prevelika i neisplativa. Ova mjera smanjuje E<sub>del</sub> što bi rezultiralo manjom



cijenom potrošene energije, no neće doći do promjene  $Q_{H,nd}$  jer se ne mijenjaju svojstva zgrade, te energetska razred zgrade i dalje ostaje **C**.

Novčane prednosti ugradnje DT za ovaj stan su minimalne zbog toga jer koristi el. energiju za pogon pomoćnih sustava, ali je to iznimno korisna mjera jer smanjuje emisiju CO<sub>2</sub>. Postavljanjem DT energetska razred bi po  $E_{prim}$  bio poboljšana na **A**.

FN sustav sa DT je ekonomski opravdan zbog mogućnosti sufinanciranja i relativno brzog povrata investicije. Kombinirane mjere ugradnje FN rezultirale bi smanjenjem utjecaja na okoliš i poboljšanjem razreda po  $E_{prim}$  na A+ (28,88 [kWh/m<sup>2</sup>a]).

Ugradnja split klime smanjuje  $E_{prim}$ , no nije ekonomski opravdana radi prevelike investicije. Kod opredjeljenja za realizaciju i prihvata određenih mjera, potrebno je pronaći optimum između ušteda energije i potrebnih financija za provedbu odabrane mjere.

Iz svega navedenog nedvojbeno se može zaključiti da je za promatranu stambenu jedinicu najisplativije i najučinkovitije kompletno obnoviti vanjsku ovojnicu (GM1), ugraditi nove prozore i vrata (GM2) te ugraditi DT (SM2) i postaviti FN sustave (EM1).

## 7. Popis simbola

- $Q_{gen, in, uk}$  [kWh] generirana energija sustava  
 $W_{aux, uk}$  [kWh] električna energija pomoćnih sustava  
 $E_{del}$  [kWh] isporučena energija  
 $E_{prim}$  [kWh] primarna energija  
 $Q_{H,nd}$  [kWh] potrebna energija za grijanje  
PS: Postojeće stanje  
OK: Obiteljska kuća  
GM: Građevinska mjera  
SM: Strojarska mjera  
EM: Elektrotehnička mjera  
DT: Dizalica topline  
FN: Fotonapon  
JPP: Jedinstven period povrata investicije

## 8. Literatura

- [1] Thorium A+ računalni program za energetske certifikatore <http://thoriumaplus.com/>
- [2] Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje prostora zgrade (HRN EN ISO 13790), FSB, (2017)
- [3] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18)
- [4] Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama, Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, FSB, (2017)
- [5] Labudović B., Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing, Zagreb, 2002. ISBN 953-6759-12-8)
- [6] A. S. Solmaz; *Optimizacija energetske učinkovitosti i toplinske ugodnosti uredske zgrade*, *Građevinar*, 70 (2018) 582-586.



## Vodoopskrba ruralnih područja *The water supply in rural areas*

M. Šperac<sup>1,\*</sup>, Ž. Šreng<sup>1</sup>, L. Ćosić<sup>1</sup>

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

\*Autor za korespondenciju. E-mail: msperac@gfos.hr

### Sažetak

Postojeći sustavi vodoopskrbe uglavnom osiguravaju vodu za gradska i općinska središta, dok velik broj naselja s obilježjima ruralne sredine nisu pokrivena javnom vodoopskrbom. Čest je slučaj da u ruralnim sredinama koja su pokrivena javnim sustavom vodoopskrbe, priključenost stanovništva na sustav je vrlo mala. Mjerena norma potrošnje vode po stanovniku za mala naselja je do 90 l/stanovnika/dan. Glavni problemi koji se javljaju pri projektiranju i održavanju vodoopskrbnog sustava u ruralnim područjima su: mala seoska naselja raspršena na velikoj površini, veliki troškovi vodoopskrbe zbog velike dužine vodoopskrbne mreže, mala potrošnja vode, teško osiguranje minimalnih radnih tlakova, potreba postavljanja crpnih stanica. Na povećanje troškova građenja i održavanja značajno utječe i obavezna primjena Pravilnika o hidrantskoj mreži za gašenje požara. Pri projektiranju vodoopskrbnih sustava ruralnih područja uglavnom se primjenjuje granati sustav, kod kojeg treba posebno voditi računa o parametru starosti vode koji utječe na kakvoću vode. U radu će se prikazati idejno rješenje sustava vodoopskrbe za naselja Trnjani, Selna i Garčin. Projektirana je granata vodoopskrbna mreža, ukupne dužine 11299m, koja opskrbljuje vodom 2005 stanovnika na površini od 9600 ha. Predviđeno je postavljanje nadzemnih hidranata za gašenje požara, te booster stanice za osiguranje dovoljnog radnog tlaka. Kroz varijante rješenja analizirane su mogućnosti postavljanja precrpnih stanica sa svrhom osiguranja minimalnih radnih tlakova u cjevovodu.

**Ključne riječi:** idejno rješenje, booster stanica, minimalni radni tlak

### Abstract

Existing water supply systems mainly provide water for urban and municipal centers, while a large number of settlements with rural features are not covered by public water supply. It is often the case that in rural areas covered by the public water supply system, the connection of the population to the system is very small. The measured norm of water consumption per capita for small settlements is up to 90 l / inhabitant / day. The main problems that arise in the design and maintenance of water supply in rural areas are: small rural settlements scattered over a large area, high water supply costs due to the long length of the water supply network, low water consumption, difficult to ensure minimum operating pressures, the need to set up pumping stations. The increase in construction and



maintenance costs is significantly influenced by the mandatory application of the Ordinance on hydrant fire extinguishing network. When designing water supply systems in rural areas, the grenade system is mainly used, in which special attention should be paid to the parameter of water age that affects water quality. The paper will present the conceptual design of the water supply system for the settlements of Trnjani, Selna and Garčin. A grenade water supply network was designed, with a total length of 11299m, which supplies water to 2005 inhabitants on an area of 9600 ha. It is planned to install overhead hydrants for firefighting, and a booster station to ensure sufficient working pressure. Through the variants of the solution, the possibilities of setting up pumping stations with the purpose of ensuring minimum working pressures in the pipeline were analyzed

**Key words:** conceptual design, booster station, minimum operating pressure

## 1. Uvod

Iako nema jasne zemljopisne podjele područja niti definicije ruralnog stanovništva, univerzalna obilježja ruralnog područja (prema Ashley i Maxwell, 2001.) su:

- Prostor gdje ljudske naseobine i infrastruktura zaposjedaju manji dio krajolika;
- Prostor u kojemu prirodni okoliš obilježavaju livade, šume, planine ili pustinje;
- Manja naselja (prosječno od 5-10.000 stanovnika);
- Prostori u kojima većina ljudi radi na obiteljskim domaćinstvima;
- Cijena zemljišta je relativno niža od urbanih područja;
- Mjesta gdje gospodarske aktivnosti opterećuju povećani troškovi, prvenstveno uvjetovani udaljenošću od gradova i neadekvatnom infrastrukturom. [1]

U razlikovanju ruralnih i urbanih područja u Hrvatskoj se primjenjuje kriterij Organizacije za gospodarsku suradnju i razvoj (OECD) zasnovan na gustoći naseljenosti. Prag koji dijeli ruralna od urbanih područja je 150 stanovnika na km<sup>2</sup>. Primjenom tog kriterija dolazi se do sljedećih rezultata, uzimajući podatke Popisa stanovništva iz 2001.: 91,6 % ukupnog područja Republike Hrvatske klasificira se kao ruralno područje, a 8,4 % kao urbano područje; 88,7 % naselja smješteno je u ruralnim područjima, a 11,3 % u urbanim područjima s 35 % stanovništva u 14 gradova s više od 30.000 stanovnika; 47,6 % ukupnog stanovništva živi u ruralnim područjima, a 52,4 % stanovništva u urbanim područjima. Postojeći sustavi vodoopskrbe uglavnom osiguravaju vodu za gradska i općinska središta, dok velik broj naselja s obilježjima ruralne sredine nisu pokrivena javnom vodoopskrbom. Čest je slučaj da u ruralnim sredinama koja su pokrivena javnim sustavom vodoopskrbe, priključenost stanovništva na sustav je vrlo mala. Mjerena norma potrošnje vode po stanovniku za mala naselja je do 90 l/stan/dan.

Na temelju prikupljenih podataka iz različitih dijelova svijeta može se zaključiti da su problemi vodoopskrbe malih naselja uglavnom zajednički svim zemljama, preklapaju se u većini slučajeva ovisno o geografskom položaju, prirodnim resursima te gospodarsko političkoj situaciji pojedine zemlje. Osnovna obilježja vodoopskrbe ruralnih područja su: upitna kvaliteta vode, neadekvatno zaštićena slivna područja, jako varijabilna izdašnost izvora odnosno dostupnost vode, neadekvatna obrada vode, oštećena vodoopskrbna mreža i kućne





instalacije, neredovit nadzor zdravstvene ispravnosti vode, slaba naseljenost odnosno velika raštrkanost naselja, nepristupačnost terena, visoka cijena radova te nedostatak financijskih sredstava.

Izvori pitke vode u ruralnim područjima su najčešće pojedinačni kopani bunari i mali samostalni vodoopskrbni sustavi, tzv. lokalni vodovodi. Ti su bunari i sustavi često neprovjereni i kontaminirani (slika 1.).



**Slika 1.:** Zahvati vode za vodoopskrbu u ruralnim područjima

Takvi plitki izvori često su kontaminirani kemikalijama i bakterijama. Voda iz slavine u Hrvatskoj je kvalitetna i ima je dovoljno. No u Hrvatskim vodama upozoravaju da još nije svima dostupna. Procjenjuje se da pola milijuna stanovnika u zemlji - nije spojeno na vodoopskrbnu mrežu i da se snalaze kako znaju. Piju vodu iz cisterni, bunara, a neki kojima je dosadilo čekati - čak su izgradili svoje lokalne - privatne vodovode. No s tim se ne slaže Bruxelles pa zahtjeva - da se svako naselje s više od 50 stanovnika uključi u vodoopskrbni sustav [2].

Lokalni vodovodi su sustavi koji nisu u javnoj vodoopskrbnoj mreži i korisnici državi ne plaćaju nikakve naknade. Za njih se uglavnom brinu građani koji su ih sami gradili. U Hrvatskoj je aktivno oko 350 takvih sustava. Čak trećina u Krapinsko-zagorskoj županiji. No najviše potrošača na ovakvim vodovodima je u Vukovarsko-srijemskoj županiji. U cijeloj Hrvatskoj oko 140 tisuća. Ovakve velike brojke posljedica su velike udaljenosti izvorišta od 30 do 50 km od potrošača, te je izgradnja javne vodovodne mreže vrlo skupa. Voda iz lokalnih vodovoda je zdravstveno neispravna, ali nije zdravstveno opasna. Lokalni vodovodi s javno-zdravstvenog aspekta predstavljaju najveći rizik jer se voda potrošačima isporučuje bez ikakve obrade, a često i bez dezinfekcije. Navedeno rezultira poražavajućom rezultatima analiza koji pokazuju da je od 539 uzoraka uzorkovanih u lokalnim vodovodima njih 285 zdravstveno neispravno (52,9 %).

Najčešći razlog neispravnosti vode u vodoopskrbnoj mreži lokalnih vodovoda bilo je mikrobiološko onečišćenje pri čemu je 267 uzoraka (49,5 %) bilo mikrobiološki neispravno. Najčešći uzrok neispravnosti vode u lokalnim vodovodima bila je prisutnost bakterije E.coli, koja je pronađena u 158 uzoraka, dok su u 237 uzoraka pronađeni ukupni koliformi, a enterokoki u 146 uzorka.[3]



Problem se javlja kada se u vodi iz bunara pojavi određena količina zraka, zbog čega se crpka spušta, pa se zbog toga prekida dovod vode, pada tlak, a nastaju i druge poteškoće. Sve to smanjuje kvalitetu isporučene vode, skraćuje vijek trajanja crpke i svih crijeva

## 2. Projektiranje sustava javne vodoopskrbe ruralnih područja

Kod projektiranja vodoopskrbnog sustava potrebno je zadovoljiti sve propisane norme, ostvariti minimalne radne tlakove te ostale parametre koji osiguravaju kakvoću vode i kontinuiranu opskrbu potrošača. Sve navedeno potrebno je ostvariti uz optimalne troškove izvođenja i održavanja sustava.

Glavni problemi koji se javljaju pri projektiranju i održavanju vodoopskrbnog sustava u ruralnim područjima su: mala seoska naselja raspršena na velikoj površini, veliki troškovi vodoopskrbe zbog velike dužine vodoopskrbne mreže, mala potrošnja vode, teško osiguranje minimalnih radnih tlakova, potreba postavljanja crpnih stanica. Na povećanje troškova građenja i održavanja značajno utječe i obavezna primjena Pravilnika o hidrantskoj mreži za gašenje požara [4], kojim su propisane minimalne količine vode i minimalni radni tlakovi potrebni za gašenje požara. Pritom redovito mjerodavni protoci vode potrebni za gašenje požara određuju mjerodavni profil cjevovoda, a ne potrebe vode za stanovništvo. Isto tako minimalni propisani tlak za gašenje požara od 2,5 bara na najnepovoljnije smještenom hidrantu često zahtjeva interpolaciju precrpne stanice ili povišeni smještaj vodospreme. Rezultat navedenog su male brzine tečenja unutar cjevovodne mreže u režimu rada bez gašenja požara. Male brzine znače i dulje zadržavanje vode unutar sustava, odnosno povećanje starosti vode. Time se smanjuje kvaliteta vode i povećava opasnost od naknadne bakteriološke infekcije koja se može spriječiti čestim ispiranjem mreže i interpolacijom dodatnih stanica za dezinfekciju [5]. Pri projektiranju vodoopskrbnih sustava ruralnih područja uglavnom se primjenjuje granati sustav, kod kojeg treba posebno voditi računa o parametru starosti vode koji utječe na kakvoću vode.

### 2.1. Idejno rješenje sustava vodoopskrbe ruralnog područja

Prikazati će se idejno rješenje sustava vodoopskrbe za naselja Trnjani, Selna i Garčin. Projektirana je granata vodoopskrbna mreža, ukupne dužine 11299 m, koja opskrbljuje vodom 2005 stanovnika na površini od 9600 ha.[6] Predviđeno je postavljanje nadzemnih hidranata za gašenje požara kao i precrpne stanice za osiguranje dovoljnog radnog tlaka. Pretpostavljen je priključak ovog sustava na postojeći cjevovod u čvoru Č01 (slika 2.). Priključak predstavlja hipotetsko mjesto, a predviđen je konstantan pritisak od 5 bara na tom mjestu.



**Slika 2.:** Duljine dionica

Maksimalna satna potrošnja sva tri naselja iznosi oko 13 l/s i s tom količinom vode se mogu proračunati dimenzije cijevi na početku sustava (naselje Garčin). Cjevovod u naselju Trnjani, koje zahtjeva otprilike trećinu ukupne satne potrošnje ovog područja, u ovom je slučaju potrebno dimenzionirati na zahtjeve protupožarne zaštite. Usvojena je količina vode od 10 l/s. U Tablici 1. prikazane su dužine pojedinih dionica i profili cijevi izračunati metodom linearnog uprosječivanja.

**Tablica 1.:** Duljine dionica i profili cijevi

DIONICA	OD-DO	DULJINA	DN (mm)
D01	Č01-Č02	465	160
D03	Č02-Č04	257	160
D08	Č04-Č09	732	160
D10	Č09-Č11	1400	160
D12	Č11-Č13	580	160
D14	Č13-Č15	58	140
D16	Č15-Č17	493	140
D19	Č17-Č20	914	140
D21	Č20-Č22	894	125
D23	Č22-Č24	364	125
D25	Č24-Č26	138	110
D27	Č26-Č28	436	110

Karakteristika ovog sustava jest da je zapadni dio naselja Trnjani viši u odnosu na ostatak područja za otprilike 25 m (Č20 – 100 m n.m., Č28 – 127 m n.m.) te je tih dodatnih 2.5 bara potrebno osigurati pumpom, odnosno precrpnom stanicom. Položaj precrpane stanice i



vrijednosti tlakova prikazani su na slici 3. Slika 3 prikazuje raspodjelu tlakova u sustavu za vrijeme maksimalne satne potrošnje. Hidraulički proračun proveden je u programu EPANET [6].



**Slika 3.:** Hidraulička shema u trenutku maksimalne satne potrošnje

Kako bi se zadovoljili uvjeti minimalnog tlaka od 2.5 bara unutar mreže, potrebno je da precrpna stanica, smještena u blizini čvora Č22 poveća tlak za otprilike 2 bara. U slučaju kada požara nema, tj. kada je potrebno ispuniti samo zahtjeve potrošnje vode za kućanstva, dovoljna je jedna pumpa za cijeli sustav.

Ukoliko do požara dođe, ovakav sustav zahtjeva određene intervencije. Prijedlog rješenja dan je u nastavku. Analizirana je najudaljenija, kritična točka sustava, čvor Č28, na samom kraju naselja Trnjani. Na slici 4 prikazana je hidraulička shema za slučaj požara, gdje se u čvoru Č28 zahtjeva količina vode od 10 l/s. Sustav je isti kao za prethodno opisan slučaj, slika 3 (jedna pumpa). Iz slike je jasno vidljivo da pri uvjetima s jednom precrpnom stanicom kompletno naselje Trnjani ne zadovoljava zahtjeve protupožarne zaštite, a proračunom su dobiveni negativni tlakovi na kraju dionice. Iz tog je razloga pretpostavljena još jedna pumpa na mjestu postojeće precrpne stanice u naselju Trnjani (slika 5.), serijski vezana za prvu pumpu kako bi se ostvarilo željeno povećanje tlaka. Dvije pumpe omogućit će potrebnu sigurnost u slučaju kvara jedne od njih, a isto tako potreba za paljenjem obje bit će samo u slučaju požara. Obje pumpe su istih karakteristika.



**Slika 4.:** Hidraulička shema za slučaj protupožarne količine vode u kritičnoj točki Č28,  $Q= 10 \text{ l/s}$



**Slika 5.:** Hidraulička shema za slučaj protupožarne količine vode u kritičnoj točki Č28,  $Q= 10 \text{ l/s}$  s pripadajućim mjerama za osiguranje potrebnih tlakova

Također, kako bi se osigurao potreban tlak uzvodno od precrpne stanice Č22 (prvi dio naselja Trnjani) potrebno je predvidjeti još jednu precrpnu stanicu na kraju naselja Selna (slika 5.). U ovom slučaju zadana je pumpa istih karakteristika kao i serijski vezane pumpe u naselju Trnjani. Na ovaj način duž cijelog sustava je zadovoljen zahtjev minimalnog tlaka od 2.5 bara.

Manipulacijom protoka, odnosno zatvaranjem pojedinih dionica za vrijeme požara, dobivaju se veće vrijednosti tlakova unutar mreže te smanjuje potreba za uključivanjem dodatnih pumpi u rad. To se posebno odnosi na precrpnu stanicu u Selni, gdje se zatvaranjem određenih dionica, potrebna snaga pumpe smanjuje i za dva puta.





### 3. Zaključak

Zaštita ljudskog zdravlja podrazumijeva osiguranje vode za piće i provedbu sanitarnih mjera u okviru integralnih vodnogospodarskih sustava kojima je cilj održiva eksploatacija vodnih resursa i kakvoća vode koja ne ugrožava ljudsko zdravlje i štiti vodne ekosustave. Prvi korak za ostvarenje ovih ciljeva je priključenost stanovništva na javni vodoopskrbni sustav. Svjetska organizacija je 2005. godine pokrenula djelovanje mreže Small Community Supply Management Network čiji je cilj prepoznati probleme vodoopskrbe malih naselja i dati smjernice za njihovo rješavanje.

Za održivi razvoj ruralne sredine jedan od ključnih elemenata je izgradnja, te priključak stanovništva na javnu vodoopskrbnu mrežu. U nekim dijelovima Republike Hrvatske na izgrađenu vodoopskrbnu mrežu priključenost stanovništva je mala, stanovništvo koristi svoje lokalne izvore vode za vodoopskrbu upitne kakvoće, ali značajno jeftinije. Obzirom na obvezu da se sva naselja veličine iznad 50 stanovnika moraju priključiti na javnu vodoopskrbnu mrežu pred projektante se postavlja zadatak da za sve različite karakteristike pojedinih područja, kako terenske tako i socijalne isprojektiraju optimalnu vodoopskrbnu mrežu.

### 4. Literatura

- [1] Ashley, Caroline; Maxwell, Simon: Rethinking Rural Development // Development Policy Review, 2001., vol. 19, issue 4, 395-425
- [2] Hrvatski zavod za javno zdravstvo: IZVJEŠTAJ O ZDRAVSTVENOJ ISPRAVNOSTI VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU U REPUBLICI HRVATSKOJ ZA 2018. GODINU, Zagreb, svibanj 2019.
- [3] Dadić, Željko; Ujević bošnjak, Magdalena; Majić, Dragan: Lokalni vodovodi u Hrvatskoj -jučer, danas, sutra // Hrvatska vodoprivreda, siječanj-ožujak 2019.; 38-42
- [4] Pravilnik o hidrantskoj mreži za gašenje požara, (2006), Narodne novine 08/06.
- [5] Malus, Davor; Vouk, Dražen; Grljak, Anja: Primjena Pravilnika o hidrantskoj mreži za gašenje požara u ruralnim područjima, // GRAĐEVINAR 63 (2011) 11, 953-960
- [6] Ćosić, Lara: Vodoopskrba naselja, Sveučilište J.J.Strossmayera, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, završni rad, rujna 2019.
- [7] Rossman, L. A. EPANET 2 Users Manual EPA/600/R-00/57. // *Water Supply and Water Resources Division, U.S. Agency, Environmental Protection, 2000.*



## Provođenje mjera i analiza vodnih gubitaka privremene DMA zone *Completing activities and the analysis of water loss of the temporary DMA zone*

F. Dako<sup>1\*</sup>, A. Kristić<sup>1</sup>, T. Zsebe<sup>2</sup>, G. Vasvari<sup>2</sup>, J. Zima<sup>1</sup>, I. Samardžić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Vodovod Osijek d.o.o. Osijek, Hrvatska

<sup>2</sup>University of Pecs, Faculty of Engineering and Information Technology

<sup>3</sup>Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail franjo.dako@vodovod.com

### Sažetak

Uspostavljanjem tehničkog informacijskog sustava i izradom programa upravljanja gubitcima za vodoopskrbni sustav tvrtke Vodovod-Osijek d.o.o. definirane su buduće DMA zone te su izvršena mjerenja i izračunati parametri gubitaka. Korištenjem raspoloživih informacija odabrana je Privremena DMA zona Retfala, kao kritična točka za provođenje mjera smanjenja gubitaka, s tendencijom smanjenja do veličine tehničkog minimuma. Praćenje učinka aktivnosti i analiza stanja zone promatra se kroz prizmu minimalnih noćnih protoka, pozadinskih istjecanja, istjecanja iznad pozadinskih i minimalne noćne potrošnje, a sam rezultat manifestira se kroz smanjenje SNAPSHOT ILI koeficijenta.

**Ključne riječi:** vodoopskrba, gubitci, DMA zone, privremena DMA zona, SNAPSHOT ILI

### Abstract

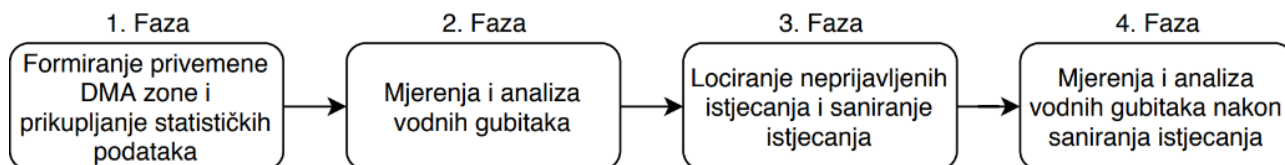
By setting up a technical information system and developing a water management software for the water supply system of Vodovod-Osijek d.o.o. future DMA zones are defined, as well as measurements made and parameters of loss calculated. Using the available information, the Temporary DMA zone of Retfala was selected as the critical point for the implementation of loss reduction measures, with the tendency to reduce to the size of the technical minimum. Monitoring of the effect of activity and analysis of the condition of the zone is observed through the prism of minimal night flow, unavoidable losses, leaks, and night consumption, and the result itself is manifested by reducing the SNAPSHOT ILI coefficient.

**Key words:** water supply, water loss, DMA zones, temporary DMA Zone, SNAPSHOT ILI

### 1. Uvod

Suvremeni pristup isporuci pitke vode stavlja naglasak na smanjenje vodnih gubitaka kao aktivnosti kroz koju se prati rezultat poslovanja i odgovornog ponašanja prema vodi, kao jednom od najbitnijih resursa. Predanim radom na gubitcima i usvajanjem novih znanja te praćenjem tehnologija i trendova moguće je gubitke pri nekontroliranom istjecanju vode

dovesti do tehničkog minimuma, u pogledu minimalnog noćnog protoka. Formiranjem privremenih DMA zona sužava se kritično područje vodoopskrbne mreže te ukoliko u sustavu nije implementirano rješenje praćenja vodnih gubitaka pomoću IWA metodologije, moguće je izračunati kolika su istjecanja (vodni gubitci) iznad pozadinskih i je li opravdano poduzimati daljnje aktivnosti u zoni temeljem pokazatelja vodnih gubitaka. Kako bi se uspješno provele mjere smanjenja gubitaka u privremenoj DMA zoni potrebno je logičkim slijedom vršiti faze kako je prikazano na slici br. 1.



**Slika 1.** Hodogram faza

U radu su detaljno opisane aktivnosti pojedinih faza, kao i što je sve potrebno kako bi se uspješno provele mjere za aktivnu kontrolu vodnih gubitaka. Navedene faze su provedene na stvarnom primjeru u JIVU Vodovod Osijek d.o.o. Uspostavljanjem tehničkog informacijskog sustava (TIS-a) i izradom programa upravljanja gubitcima za vodoopskrbni sustav tvrtke Vodovod-Osijek d.o.o. definirane su buduće DMA zone te su izvršena mjerenja i izračunati parametri gubitaka. Korištenjem raspoloživih informacija odabrana je Privremena DMA zona Retfala, kao kritična točka za provođenja mjera smanjenja gubitaka, s tendencijom smanjenja do veličine tehničkog minimuma.

## 2. Metodologija

### 2.1. Faza – Formiranje privremene DMA zone i prikupljanje statističkih podataka

Glavna svrha oformljivanja privremene DMA Zone je analiza stanja, poduzimanje određenih mjera i definiranje parametara za buduće praćenje vodnih gubitaka u zoni. Privremenu DMA zonu moguće je formirati zatvaranjem graničnih zasuna i formiranjem mjernog mjesta imajući u vidu sigurnost isporuke zdravstveno ispravne vode. Mjerno mjesto moguće je formirati pomoću mjerača protoka (prijenosni, insertni, vodomjer, NUS čvor). Kako bi se dobili točni i precizni podatci zona se formira sa najmanjim brojem mjernih mjesta te se na taj način smanjuje vjerojatnost mjernih pogreški.

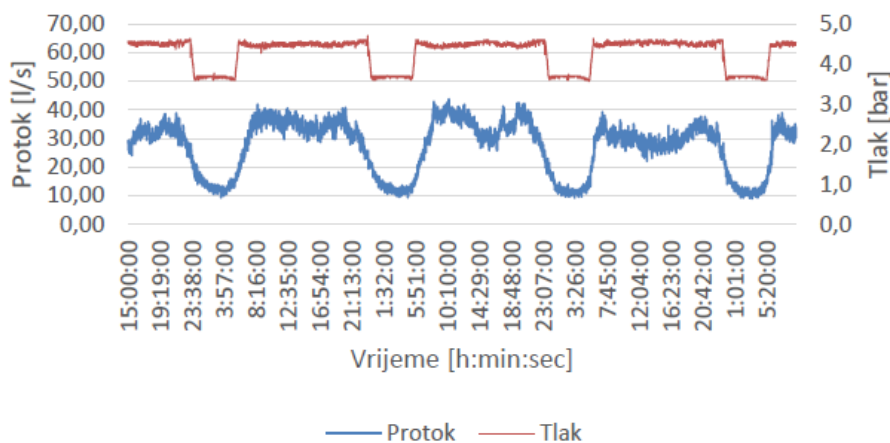


**Slika 2.** Primjer formiranja privremene DMA zone sa 1 mjernim mjestom i 1 zatvorenim graničnim ventilom

Uz formiranje zone potrebno je i prikupiti statističke podatke za promatranu zonu, kao što su broj priključaka, duljina razvodne mreže, prosječna duljina priključka, gustoća priključaka, materijali od kojih su izrađeni cjevovodi i priključci, te broj korisnika i vrsta korisnika (kućanstvo, gospodarstvo). Najčešći način prikupljanja podataka je iz Geo-informacijskog sustava (GIS-a) ili internih statističkih podataka (Tehnički odjel, Služba naplate vode i slično).

## 2.2. Faza - Inicijalno mjerenje i analiza vodnih gubitaka

Za uspješno mjerenje potrebno je sa sigurnošću utvrditi sve dotoke u zonu, kako bi se provela kvalitetna analiza vodnih gubitaka. Uz mjerenje protoka za ovaj pristup metodologiji važno je i mjerenje tlaka, kao što su lokacije na ulazu u zonu i unutar same zone na više točaka. Ukoliko postoji mogućnost srednji tlak u zoni izraziti putem hidrauličkog modela, jer je taj podatak najtočniji prikaz stanja tlaka u sustavu. S obzirom na to da se mjerenje, u najvećem broju slučajeva, provodi na više mjernih mjesta, važno je znati smjer dotoka vode kako bi se dobili ispravni podatci za mjernu analizu. Mjerenje protoka moguće je izvršiti pomoću vodomjera, insertnog mjeraca protoka ili prijenosnog ultrazvučnog mjeraca protoka. Odabir načina mjerenja protoka ovisi o stanju vodoopskrbnog sustava, odnosno stanju izgrađenosti i mogućnostima. Mjerenje tlaka u pravilu se vrši loggerima tlaka, najčešće na hidrantima ili samim cjevovodima.



**Slika 3.** Grafički prikaz rezultata mjerenja privremene DMA zone u režimu dan – noć



Analiza vodnih gubitaka temelji se na IWA metodologiji, odnosno metodi „Sa dna prema vrhu“ (engl. *Bottom-Up*) u kojoj se koristi i specifični indikator - *SNAPSHOT ILI* [1]. Izračun vodnih gubitaka i ILI indikatora vrši se pri mjerenom minimalnom protoku i tlaku, u odnosu na duljinu mreže i broj priključaka. Za analizu je potrebno znati ukupan broj priključnih vodova, ukupan broj potrošača (pojedino po kategorijama), ukupnu duljinu cjevovoda te ukupnu i prosječnu duljinu priključnih cjevovoda.

Budući da se metoda temelji na minimalnom protoku potrebni su mjereni podatci minimalnog noćnog protoka i minimalnog noćnog tlaka pri minimalnom noćnom protoku (03:00 – 04:00 h). Kako bi dobili precizne rezultate vodnih gubitaka preporučljivo je, ukoliko je moguće, mjerenja provoditi više dana te na taj način izbjeći neočekivanu dodatnu potrošnju.

Za jednostavnije shvaćanje izračuna vodnih gubitaka, minimalni noćni protok treba promatrati u dva segmenta, a to su minimalna noćna potrošnja i istjecanja (gubitci). Ukupna istjecanja vode se razlučuju na pozadinska istjecanja, na koja se ne može utjecati, te istjecanja iznad pozadinskih (tzv. vodni gubitci), koja se poduzimanjem aktivnosti smanjuju na najmanju moguću mjeru.[3]

Prema IWA metodologiji [1] minimalna noćna potrošnja  $Q_{MNP}$  se računa:

$$Q_{MNP} [m^3/h] = [(N_{PK} + N_{PS}) \cdot 3] + N_{PG} \cdot 8 \quad [1]$$

$Q_{MNP}$  - minimalna noćna potrošnja [ $m^3/h$ ]

$N_{PK}$  - broj potrošača – kuće

$N_{PS}$  - broj potrošača – stanovi

$N_{PG}$  - broj potrošača – gospodarstvo

Prema provedenim ispitivanjima i sukladno iskustvima drugih isporučitelja vodne usluge, za kućanstva je definirana prosječna minimalna potrošnja od 3 l/h, a za gospodarstvo 8 l/h, pri minimalnom noćnom protoku. Ukoliko se u zoni tijekom mjerenja pojavi nekakav vid dodatne noćne potrošnje (npr: punjenje bazena, industrijski remont, izvanredno ispiranje hidranata i slično) dodatna potrošnja se mjeri i pridodaje minimalnoj noćnoj potrošnji  $Q_{MNP}$ , te ukoliko mjerenje nije moguće dodatna noćna potrošnja se procjenjuje.

Oduzme li se od mjenenog minimalnog noćnog protoka  $Q_{MP}$  (03:00 – 04:00 h) minimalna noćna potrošnja  $Q_{MNP}$ , dobije se rezultat ukupnih istjecanja  $Q_{UI}$  u privremenoj DMA zoni.

$$Q_{UI} [m^3/h] = Q_{MP} - Q_{MNP}$$

$Q_{UI}$  - ukupna istjecanja [ $m^3/h$ ]

$Q_{MP}$  - izmjereni minimalni noćni protok [ $m^3/h$ ]

$Q_{MNP}$  - minimalna noćna potrošnja [ $m^3/h$ ]

Prema IWA metodologiji pozadinska istjecanja se računaju:





$$Q_{PI} [m^3/h] = \left[ \frac{L_C \cdot 20 + N_P \cdot 1,5 + \left[ (N_P \cdot L_{PV} \cdot 0,033) \cdot \left( \frac{P_{min}}{50} \right)^{1,5} \right]}{1000} \right] \cdot ICF \quad [1]$$

$Q_{PI}$  - pozadinska istjecanja, istjecanja na spojevima i brtvama [ $m^3/h$ ]

$L_C$  - ukupna duljina cjevovoda [ $km$ ]

$N_P$  - broj priključaka

$L_{PV}$  - prosječna duljina priključka [ $m$ ]

$P_{min}$  - izmjereni minimalni tlak pri minimalnom noćnom protoku [ $m$ ]

*ICF* - Infrastructure Condition Factor – od 1 (najbolji sustavi) pa nadalje, ukoliko nije poznat kao faktor se može uzeti ILI cjelokupnog sustava

Oduzmu li se od ukupnih istjecanja  $Q_{UI}$  pozadinska istjecanja  $Q_{PI}$ , dobije se rezultat veličine istjecanja iznad pozadinskih  $Q_{IP}$ :

$$Q_{IP} [m^3/h] = Q_{UI} - Q_{PI}$$

Kako bi se izračunala istjecanja (ukupna, pozadinska i istjecanja iznad pozadinskih) u danu, rezultat dobivenih istjecanja množi se sa NDF (*Night Day Factor*) faktorom, odnosno korekcijskim faktorom, budući da tlak u privremenoj DMA zoni nije konstantan.

Zbroj  $Q_{MNP}$  i  $Q_{PI}$  vrijednost može se promatrati kao tehnički minimum, u smislu da vrijednost izmjerenog minimalnog noćnog protoka teži ka vrijednosti tehničkog minimuma i cilj je da te dvije vrijednosti budu približno jednake.

Snapshot ILI koeficijent je pokazatelj kolika su istjecanja iznad pozadinskih, prema izmjerenom minimalnom noćnom tlaku pri minimalnom noćnom protoku, te ga se računa:

$$ILI_{SNP} = \frac{Q_{UI}}{\frac{(18 \cdot L_C + 0,8 \cdot N_P) \cdot P_{min}}{24000}} \quad [1]$$

$ILI_{SNP}$  - Snapshot ILI koeficijent

$L_C$  - ukupna duljina cjevovoda [ $km$ ]

$N_P$  - broj priključaka

$P_{min}$  - izmjereni minimalni tlak pri minimalnom noćnom protoku [ $m$ ]

$Q_{UI}$  - ukupna istjecanja [ $m^3/h$ ]



### 2.3. Faza - Lociranje neprijavljenih istjecanja i saniranje istjecanja

Za uspješno provođenje lociranja neprijavljenih istjecanja važno je sustavno i planski pregledati formiranu DMA zonu. Kako bi se veće sumnjivo područje suzilo, za makrolokaciju koristi se oprema poput loggera šuma, loggera šuma za korelaciju ili digitalni korelator. Za potvrđivanje istjecanja, odnosno mikrolociranja, koriste se elektro-akustični prislušni uređaji ili ručni uređaji za osluškivanje. Uz sam rad na terenu važno je i praćenje ispitanih dionica, stvaranje baze loggera šuma, odnosno lokacija postavljanja mjerne opreme, praćenje radnih sati i dr.

Saniranju lociranih neprijavljenih istjecanja važno je pristupiti u što kraćem vremenskom periodu, od same detekcije istjecanja. Uz samo saniranje važno je pratiti i sanacije kvarova te stvarati baze informacija da bi u budućnosti bilo moguće prema povijesti kvarova definirati „listu“ najkritičnijih zona i usmjeriti fokus za ispitivanje na te dionice.

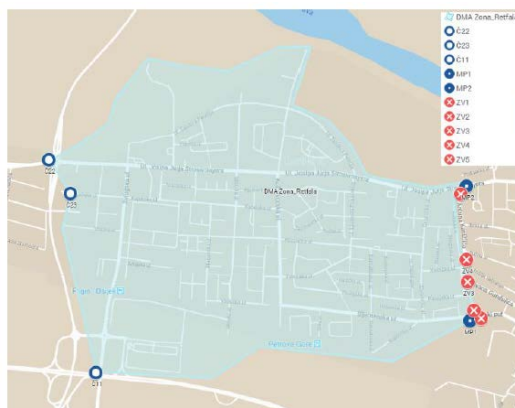
Prilikom i nakon sanacije neprijavljenih istjecanja očekivano se pojavljuju i dodatna istjecanja (prijavljena od strane korisnika i sl.). Do pojave takvih istjecanja dolazi prilikom prestanka rasterećivanja sustava, odnosno prilikom povećanja tlaka na dionici nakon sanacije, kao i prilikom same sanacije istjecanja, odnosno obustavljanjem protoka vode i ponovnim punjenjem cjevovoda nakon sanacije, uz mogućnost pojave hidrauličkih poremećaja.

### 2.4. - Mjerenje i analiza vodnih gubitaka nakon provedenih mjera

Nakon sanacije svih istjecanja (kvarova) ponavlja se 2. faza, pri svim jednakim uvjetima, kao što su identična mjerna mjesta i zatvoreni granični zasuni. Ukoliko je moguće, mjerenje ponoviti više dana zaredom u istom tjednom rasporedu, tj. ako se prvotno mjerenje vršilo za vikend, onda je nužno ponoviti mjerenje za vikend. Analiza vodnih gubitaka ponavlja se prema IWA metodologiji i uspoređuje sa rezultatima prvog mjerenja te se prema tome donose zaključci o ispravnosti odabrane formirane DMA zone i uspješnosti same kampanje. Ukoliko se utvrdi da je minimalni noćni protok i dalje značajno veći od tehničkog minimuma ponavlja se 3. i 4. faza.

## 3. Privremena DMA Zona Retfala

Uspostavljanjem tehničkog informacijskog sustava i izradom programa upravljanja gubitcima za vodoopskrbni sustav tvrtke Vodovod-Osijek d.o.o. definirane su buduće DMA zone te su izvršena mjerenja i izračunati parametri gubitaka. Korištenjem raspoloživih informacija odabrana je Privremena DMA zona Retfala, kao kritična točka za provođenja mjera smanjenja gubitaka, s tendencijom smanjenja minimalnog noćnog protoka do veličine tehničkog minimuma. Kao što je vidljivo sa slike 4, za uspješno mjerenje podataka o protoku i tlaku definirano je pet točaka na vodoopskrbnoj mreži, uz zatvorenih pet ventila, čime je obuhvaćena cijela zona gradske četvrti Retfala. Za vrijeme ispitivanja privremene DMA Zone Retfala praćeni su podatci sa 3 čvora NUS-a vodoopskrbne mreže te su dodatno postavljena 2 mjerača protoka. Prilikom mjerenja zatvoreni ventili nisu uzrokovali poremećaje u vodoopskrbnoj mreži.



**Slika 4.** Obuhvat privremene zone Retfala

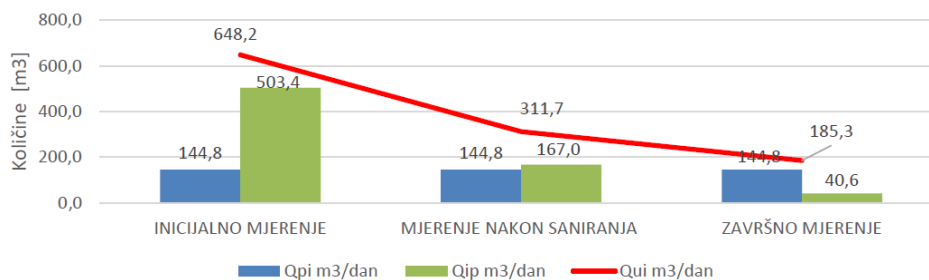
Pomoću GIS-a vodoopskrbne mreže dobiveni su statistički podaci za privremenu DMA Zonu Retfala, prema kojoj je u zoni 3157 priključaka na 37,81 km razvodne mreže. Prosjek duljine priključaka iznosi 7,44 m, dok je gustoća priključaka 83,49 kom po kilometru mreže. Ukupna duljina priključaka iznosi 23,48 km, što s duljinom razvodne mreže čini ukupno 61,3 km za ispitivanje. Najzastupljeniji materijal u razvodnoj mreži privremene DMA Zone Retfala je PEHD te iznosi 12,53 km. Slijede ga ljevano željezo i AC sa 9 km, odnosno 11,16 km. Ostalog materijala ima 4,2 km. Najzastupljeniji promjeri cjevovoda u privremenoj DMA Zoni Retfala su DN 100 u duljini od 12,17 km, te DN 110 u duljini od 6,38 km [2].

Izraze li se mjereni protoci inicijalnog i završnog mjerenja u vrijednost količina [m<sup>3</sup>] lako se može zaključiti koliko poduzete aktivnosti utječu na vodne gubitke tijekom dužeg perioda. Kako tlak na izlazu iz crpne stanice nije konstantan, da bi se dobile vrijednosti vodnog gubitka u danu potrebno je izračunati korekcijski faktor NDF. U ovom slučaju korekcijski faktor NDF iznosi 28 (režim dan/noć 4,5/3,6 bar). U slijedećoj tablici prikazani su vodni gubici izraženi u količinama.

**Tablica 1.** Vodni gubici u privremenoj DMA zoni Retfala izraženi u m<sup>3</sup>

	INICIJALNO MJERENJE					ZAVRŠNO MJERENJE				
	9.ožu	10.ožu	11.ožu	12.ožu	Prosje	24.sv	25.sv	26.sv	27.sv	Prosje
NDF	28					28				
Q <sub>UI</sub> m <sup>3</sup> /dan	719,99	644,39	636,33	591,98	<b>648,17</b>	151,48	213,98	198,86	176,68	<b>185,25</b>
Q <sub>PI</sub> m <sup>3</sup> /dan	144,76	144,76	144,76	144,76	<b>144,76</b>	144,76	144,76	144,76	144,76	<b>144,76</b>
Q <sub>IP</sub> m <sup>3</sup> /dan	575,23	499,63	491,57	447,22	<b>503,41</b>	7,1	69,05	54,48	31,75	<b>40,60</b>

Iz tablice 1. vidljivo je smanjenje ukupnih istjecanja  $Q_{UI}$  (vodnih gubitaka), odnosno istjecanja iznad pozadinskih  $Q_{IP}$  u prosjeku za 462,82 m<sup>3</sup>/dan. Promotrimo li to smanjenje kroz dugoročni period od 365 dana može se zaključiti kako je smanjenje vodnih gubitaka ekvivalent 54 prosječnih olimpijskih bazena ili 168 900 m<sup>3</sup> na godišnjoj razini.



**Slika 5.** Grafički prikaz smanjenja vodnih gubitaka izraženo u količinama

Kako je već prije navedeno cilj opisanih aktivnosti je da se vrijednost mjerenog minimalnog noćnog protoka približi vrijednosti tehničkog minimuma. Inicijalnim mjerenjem izmjeren je prosjek minimalnog noćnog protoka  $Q_{MP}$  u privremenoj zoni od 11,30 l/s. Izračunavanjem minimalne noćne potrošnje i pozadinskih istjecanja utvrđen je tehnički minimum minimalnog noćnog protoka u vrijednosti od 6,27 l/s. Nakon svih poduzetih aktivnosti i završnim mjerenjem minimalni noćni protok iznosi 6,71 l/s, što je također pokazatelj kako su poduzete aktivnosti polučile željeni rezultat, u smislu približavanja vrijednosti minimalnog noćnog protoka vrijednosti tehničkog minimuma. Usporedi li se smanjenje noćnog protoka za 4,59 l/s sa noćnim protocima u ostalim zonama vodoopskrbnog sustava grada Osijeka možemo zaključiti da je smanjenje ekvivalent noćnom protoku DMA Zone Tenja – Klisa koji iznosi u prosjeku 4 l/s, gdje se vodom za piće opskrbljuje približno 7 500 stanovnika.

Važno je također napomenuti i smanjenje dnevnog protoka, u prosjeku od 10 l/s, što znači da je i dnevna potreba za vodom u promatranoj zoni manja od vrijednosti utvrđenih inicijalnim mjerenjem.

## 5. Zaključak

Ukoliko u sustavu nije implementirano rješenje za praćenje vodnih gubitaka moguće je pomoću IWA metodologije i metode „Sa dna prema vrhu“ (*Bottom-Up*) utvrditi kolika su istjecanja u formiranoj DMA zoni (privremenoj ili izgrađenoj). Prate li se logičnim slijedom definirane faze moguće je uspješno smanjiti istjecanja i približiti vrijednost minimalnog noćnog protoka vrijednosti tehničkog minimuma. Utvrdi li se opravdanost za poduzimanje daljnjih aktivnosti ponavljaju se faze lociranja i saniranja kvarova, kao i mjerenja nakon sanacije, dok god se ne postigne željeni rezultat, odnosno dok se minimalni noćni protok ne približi tehničkom minimumu.

Na primjeru iz prakse prikazano je uspješno formiranje privremene DMA zone i korištenje opisane metodologije te je utvrđeno smanjenje vodnih gubitaka, kao i približavanje minimalnog noćnog protoka tehničkom minimumu. Minimalni noćni protok smanjen je sa 11,30 l/s na 6,71 l/s. Ukupna istjecanja smanjena su u prosjeku za 462,82 m<sup>3</sup>/dan, što je na godišnjoj razini ekvivalent 54 prosječnih olimpijskih bazena. SNAPSHOT ILI indikator, koji pokazuje kolika su ukupna istjecanja veća od pozadinskih, smanjen je sa 5 na 1,4.

## 6. Literatura

- [1] Water Loss Guidelines, February 2010, Allan Lambert (ILMSS Ltd/Wide Bay Water Corporation), Richar Taylor (Waitakere City Council)
- [2] PRotOK Desktop GIS 2019, Vodovod-Osijek d.o.o.
- [3] Uputstva za smanjenje gubitaka vode, 2010, Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit i VAG Armaturen





## ***Drinking Water Consumption in The Sisak Moslavina County***

**Milan Ivanović<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Panon - think tank for strategic studies, Osijek, Croatia

\* Corresponding Author. E-mail: [milanivanovi4@gmail.com](mailto:milanivanovi4@gmail.com)

### **Abstract**

Consumption of drinking water and sanitation use (through public and local waterworks) is a strategic issues for the survival of every community. The paper discusses the consumption of drinking water in the Sisak Moslavina County in the period from 2012 to 2019, which is based on a system of eleven utility companies owned by cities and municipalities. Out of 453 settlements in the county, about 120 have fully or partially resolved drinking water supply through public water supply systems. Losses in drinking water distribution were also considered.

**Keywords:** Drinking water, Drinking water supply, Local water supply, Sisak-Moslavina County, Public water supply

### **1. Introduction**

Water is essential for the entire living world and an indispensable resource of the economy, and the care for the protection and use of water resources are a crucial issues of human civilization - that has its ecological, health, sanitary and economic dimensions, and is also a matter of energy efficiency. [1] [2] <sup>1</sup>

According to a number of allegations, the Republic of Croatia is rich in drinking water and, according to some rankings, ranks among the 30 richest countries in the world. About 90% of groundwater in Croatia is used for drinking water supply, while only 10% of the affected surface water is from watercourses and multipurpose reservoirs. [3]

Public water supply is the activity of capturing groundwater and surface water intended for human consumption and their conditioning, and delivery to the end user. Public water supply buildings are public goods in public use and are owned by a public water service provider or a local self-government unit, and are managed by a public water service provider. In order to perform the activity of public water supply, suppliers must meet special requirements for technical equipment, as well as the number and expertise of employees. <sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> About 17% of local electricity consumption is spent on transporting and distributing drinking water.

<sup>2</sup> Legislative framework that regulates performance of public water supply activities and determination of public water supply prices consists of the Water Act [4], the Water Management Financing Act [5], the Decree on the lowest basic price of water services and type of costs covered by price of water services [6] and other acts of local self-government units and service providers. According to provisions of the Water Act, activity of public water supply can be performed only by companies in which shares, ie founding right, have only local self-government units, and apart from activity of public water supply these companies may not perform other activities



The Water Management Strategy of the Republic of Croatia [3] - adopted in 2008 - sets out the vision, mission, goals and tasks of the state policy in water management - in line with EU directives. The following development guidelines have been set in the field of water supply: increasing the level of population supply to 85.0 to 90.0% by 2023, improving the management of public water supply systems, economic price of water, reducing water losses from public water supply systems, meeting water needs, and increasing the safety of water abstraction for public water supply. The strategy excludes the possibility of privatization of water resources. The costs of implementing the Strategy are estimated at HRK 52.8 billion, of which HRK 13 billion relates to public water supply projects.

The growing impact of industry and the creation of illegal landfills adversely affects the quality (surface and groundwater) and the uneconomical operation of water supply companies is significantly affected by drinking water losses in local distribution systems.

In this paper, he gives a brief overview of drinking water consumption in the area of Sisak-Moslavina County (SMC). The following sources were used: (a) data obtained from utility companies distributing drinking water and (b) local self-government units, (c) statistical reports of the Central Bureau of Statistics and the Croatian Institute of Public Health and (d) official published SMC documents from previous years.

### 1.1. Geographical position, climatic conditions and urban development of SMC

Sisak-Moslavina County is located in the area of central Croatia (Fig. 1) and covers an area of 4,468 km<sup>2</sup> - which is 7.9% of the mainland of the Republic of Croatia; according to that, SMC is one of the largest Croatian counties. There are 453 settlements in the area of SMC, organized in 19 local self-government units (SGU). The administrative, cultural and economic center of the county is the city of Sisak. In addition to Sisak, there are 6 other cities - Glina, Hrvatska Kostajnica, Kutina, Novska, Petrinja and Popovača, and 12 municipalities - Donji Kukuruzari, Dvor, Gvozd, Hrvatska Dubica, Jasenovac, Lekenik, Lipovljani, Majur, Martinska Ves, Sunja, Topusko and Velika Ludina [7] (Fig. 2).



**Figure 1.**  
Geo-position of Sisak-Moslavina County [7]



**Figure 2.** Territorial division of Sisak-Moslavina County [7]

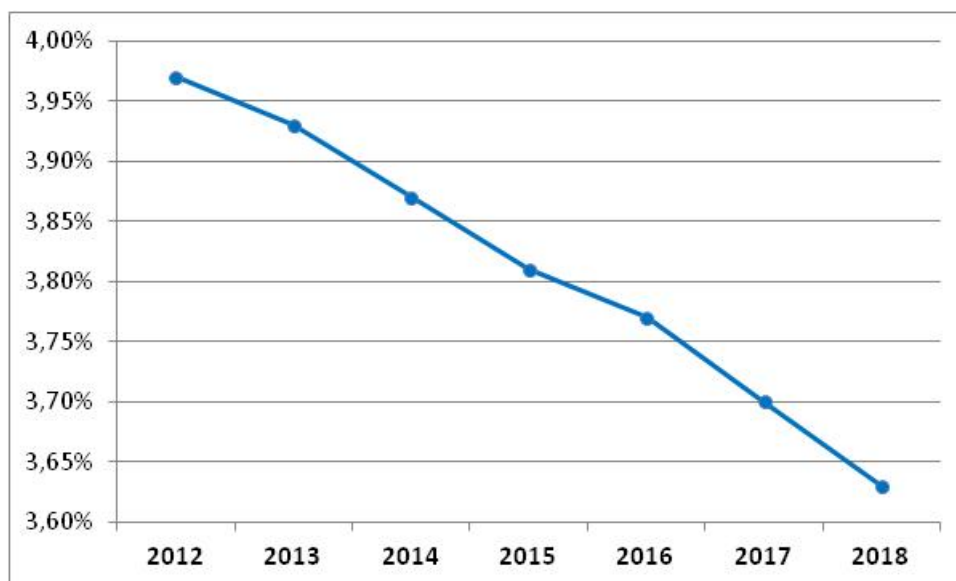
The area of Sisak-Moslavina County belongs to a moderately warm humid climate with warm summers; average January temperatures range between -2 and 0°C, and July from 18 to 22 °C. The average annual air temperature is 12.2°C, and the average number of cloudy days in Sisak is about 122 days.

## 1.2. Population and economic activities

In the area of SMC (according to the 2011 census) there are 172,439 inhabitants, which is 4.02% of the Croatian population. In the period from 2001 to 2011, the number of inhabitants of the County decreased by 12,948 persons (9.1%) and a decrease in the number of inhabitants was recorded in 17 out of 19 cities and municipalities; median depopulation was recorded in the towns of Novska and Popovača and the municipality of Dvor, while strong depopulation was present in Glina, Sisak, Kutina, Hrvatska Dubica, Topusko and Velika Ludina, and extinction in the municipalities of Donji Kukuruzari, Gvozd, Jasenovac, Lipovljani, Martinska Ves and Sunja. The average population density of SMC is 38.6 inhabitants/km<sup>2</sup> - which ranks it among the relatively sparsely populated counties in relation to the average of the Republic of Croatia (75.7 inhabitants/km<sup>2</sup>); The most densely populated city is Sisak (113 inhabitants/km<sup>2</sup>), followed by Kutina (77 inhabitants/km<sup>2</sup>), Petrinja (65) and Popovača (56 inhabitants/km<sup>2</sup>), while other settlements have a lower density of 50 inhabitants/km<sup>2</sup>. [7] In the period 2011 - 2018. according to the CBS estimate, the population of the county was reduced to 148,589. Graph 3 shows how strong the emigration process is in this county; namely, the emigration of the population is also recorded by the entire Republic of Croatia, but the emigration processes are even stronger in the Sisak-Moslavina County.

Industry is the main economic activity in the County; in the structure of industrial production, the most represented is the processing industry (production of chemicals and chemical products; production of electricity, petroleum products, production of food and beverages, production of metals and metal products, extraction of crude oil and gas and wood industry). Of the economic activities, agriculture and forestry, trade, catering, construction, transport and communications are significantly represented. In recent years, the application of sophisticated technologies in the electronic and pharmaceutical industries has been developing in the County. Other economic activities and crafts are represented to a lesser extent. Agricultural and food activities in the County have a great importance and a long tradition; in addition to standard agricultural products, the County is particularly recognizable for the production of fruits, primarily plums. A special feature of the County is the area of the Lonjsko Polje Nature Park with elements of rural tourism.

In the educational structure of the population aged 15 and over, most residents have completed industrial and craft vocational school (42,152). They are followed by residents with completed technical and related vocational schools (28,374), highly educated (15,446 or 10.4%) in the total sum of this category of residents. According to the Croatian Employment Service, the number of unemployed has been falling in all cities and municipalities in the last 4 years; it is linked whit migration trends.<sup>3</sup>



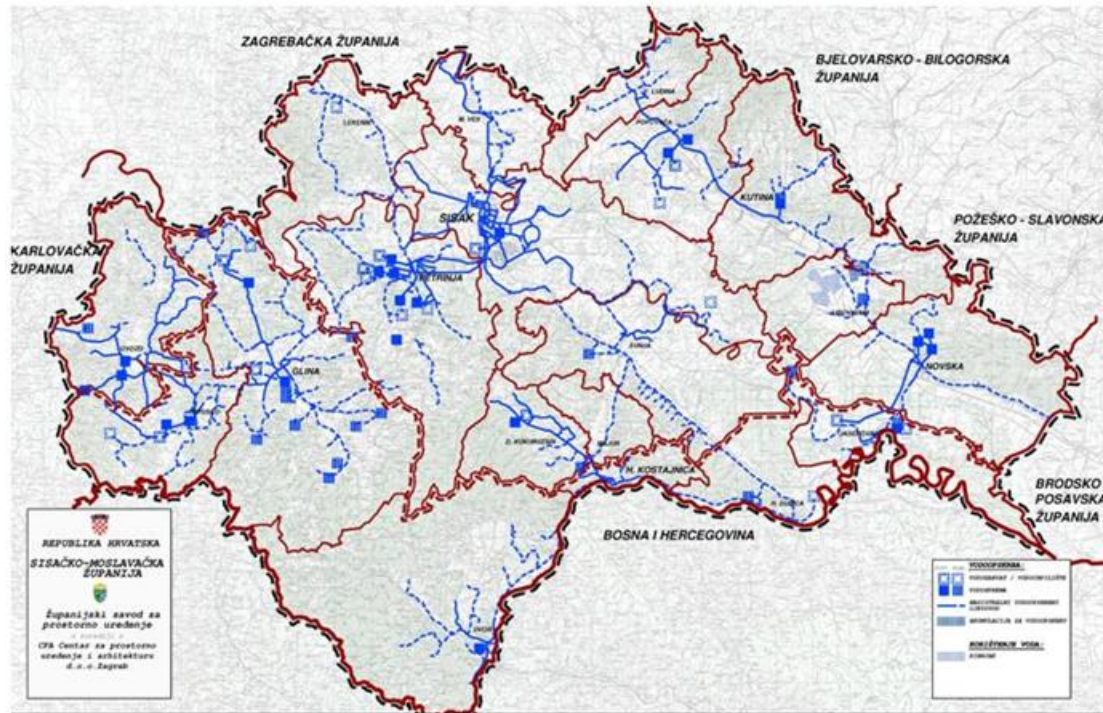
**Figure 3.** Share of population Sisak-Moslavina County in the population of the Republic of Croatia [8]

<sup>3</sup> Population and economic activities in the SMC area is processed in (published) documents adopted by the Assembly of SMC in the period 2018-2019. More about that in [7] [9] [10]



## 2. PREPARATION AND CONSUMPTION OF DRINKING WATER

On the SMC area there are 155 running water bodies and four standing water bodies; water areas cover about 5980 ha of the county ie 1.35% of the area; Fig 4.



**Figure 4.** Water supply areas of Sisak-Moslavina County [10]

### 2.1. Utilities in the function of water supply

Water supply of drinking water in the area of SMŽ is carried out by eleven utility companies owned by cities and municipalities. Out of 453 settlements in the SMC, about 120 have fully or partially resolved drinking water supply through public water supply systems (Tab. 2). These are mostly larger settlements, while the remaining (smaller) settlements are supplied with water from local waterworks and partly from individual springs, wells and cisterns. Four municipalities and three cities have their own drinking water supply utilities while four cities and five municipalities are supplied through three joint water supply systems; tab. 1 and tab. 2;

**Table 1.** Water supply in the Sisak-Moslavina County

Year	Population (2011)	Public water supply			Local water supply		
		Number of water supply	Number of connected inhabitants	% of connections	Number of water supply	Number of connected inhabitants	% of connections
2016	157,204	12	164,132	95.2	36	4,560	2.64
2017	152,546	12	164,132	95.2	28	4,560	2.64
2018	148,589	11	152,517	88.4	27	4,560	2.64

Source: [7] [8]





**Table 2.** Utility companies for water supply in the Sisak-Moslavina County

ON°	Utility company	Supply area
1.	JKP Jasenovačka voda Ltd. - Jasenovac,	- municipality Jasenovac
2.	JP Komunalac Ltd. - Hrvatska Kostajnica,	- city Hrvatska Kostajnica - municipalities Donji Kukuruzari and Majur
3.	Komunalac Dvor Ltd., - Dvor	- municipality Dvor
4.	LIP-KOM Ltd. -Lipovljani	- municipality Lipovljani
5.	Moslavina Ltd. – Kutina	- cities Kutina and Popovača, - municipality Velika Ludina
6.	Privreda Ltd. – Petrinja	- city Petrinja
7.	Sisački vodovod Ltd. - Sisak	- city Sisak - municipalities Martin.Ves, Sunja, Lekenik
8.	Vodovod Glina Ltd. - Glina	- city Glina
9.	Vodovod Novska Ltd. – Novska	- city Novska
10.	Vodoopskrba Ltd. - Hrvatska Dubica	- municipality Hrvatska Dubica
11.	Vodoopskrba i odvodnja Ltd. - Topusko,	- municipality Topusko i Gvozd

## 2.2. Drinking water consumption

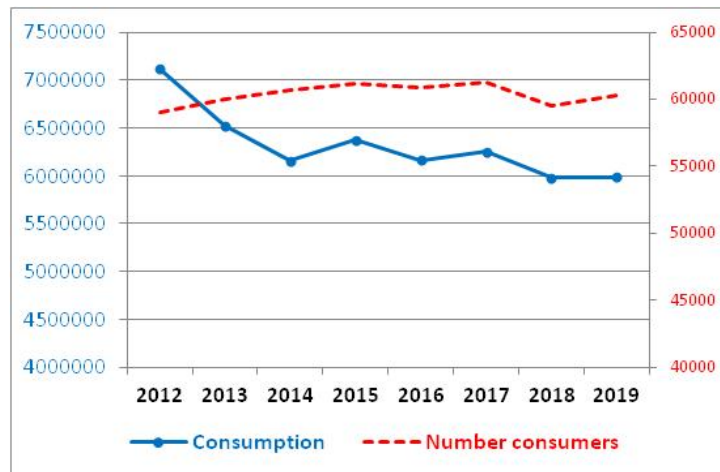
In the period 2012 - 2019 number of drinking water consumers in the SMC area oscillates around 60,000, and total consumption is declining from 7.12 to 5.98 million liters (Fig. 5). Observed by consumption sectors, the highest consumption is in households (from 68.1% to 74.2%), followed by industry (from 23.8% to 15.7%) and services (from 8.1% to 10.1%); tab. 3 and Figures 5 - 6. No more detailed analyzes have been made, but based on the above it can be concluded that the causes of declining consumption are reduced population and declining industrial production and more rational consumer behavior.<sup>4</sup>

**Table 3.** Drinking water consumption in Sisak-Moslavina County  
- by consumption sectors – (000m<sup>3</sup>)

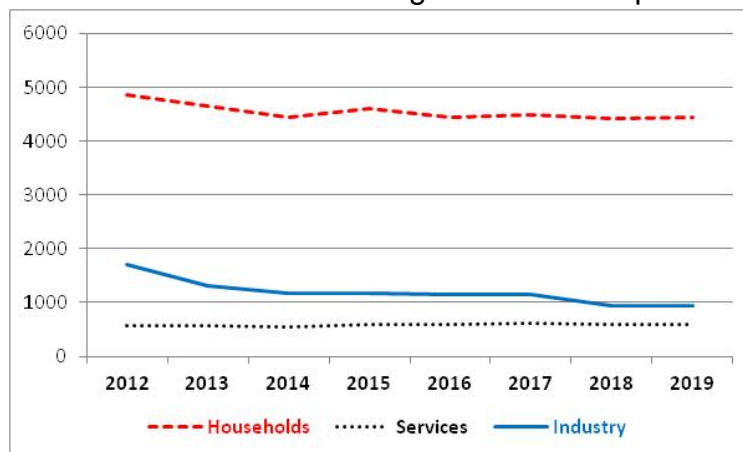
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Households	4,843	4,648	4,439	4,592	4,433	4,478	4,425	4,439
Services	577	558	538	603	583	616	603	603
Industry	1,696	1,315	1,179	1,178	1,145	1,157	950	941
Total	7,116	6,522	6,155	6,373	6,161	6,250	5,978	5,983

Source: [11] - [21]

<sup>4</sup> The data of consumption in the tables and graphs are indicative - since there is no single criterion for structuring consumption in utility companies; eg some companies distinguish only two sectors: households and the economy, some use a three part division (adding the sector - public institutions), and some, in particular, also show consumption in entrepreneurship and industry.

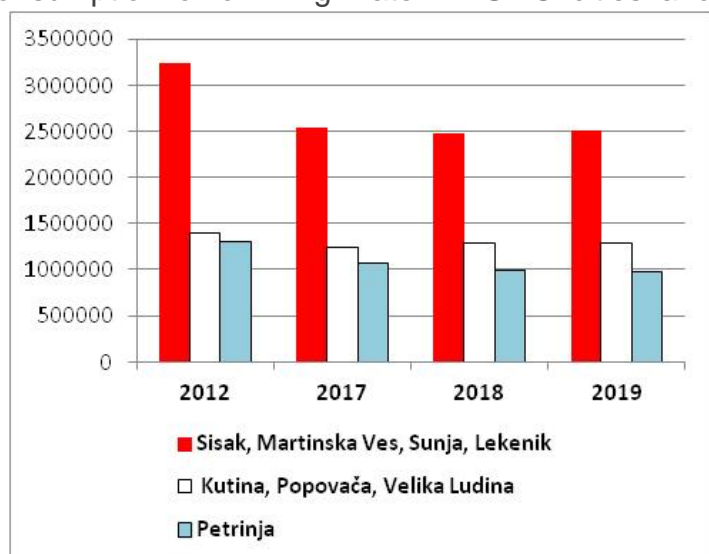


**Figure 5.** Consumer's number and drinking water consumption in SMC area (m<sup>3</sup>)  
Source: Tab.3



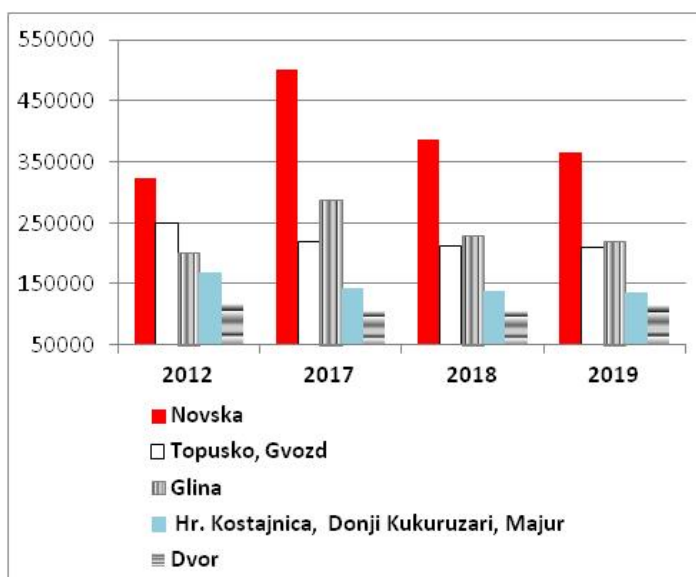
**Figure 6.** Drinking water consumption in SMC area by sectors (000m<sup>3</sup>) Source: Tab.3

Figures 7, 8 and 9 show the consumption of drinking water in SMC cities and municipalities by water supply areas.

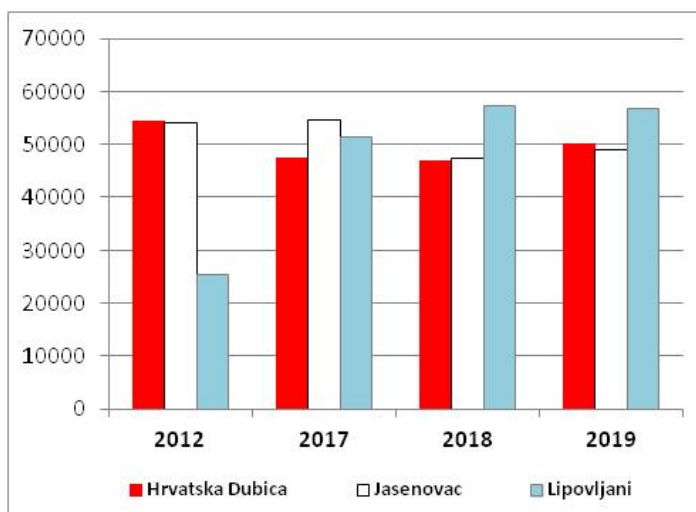


**Figure 7.**  
Drinking water consumption in cities/municipalities by water supply areas in SMC [12] [13] [14]

**Figure 8.**  
Drinking water consumption in cities/municipalities by water supply areas in SMC [9] [10][16][17][18]



**Figure 9.**  
Drinking water consumption in cities/municipalities by water supply areas in SMC [8][11] [15]



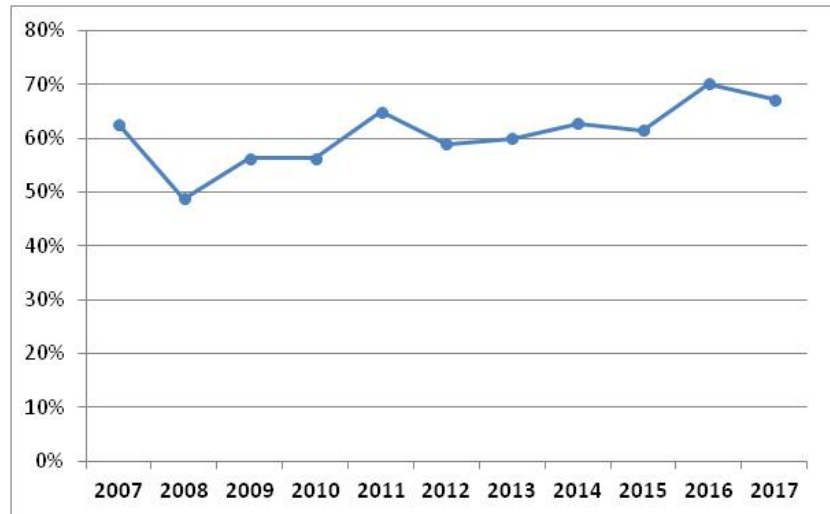
### 2.3. Drinking water losses in installations

Economical and rational use of water is one of the fundamental principles of water management; irrational water consumption is the result, among other things, of high losses, which are the result of outdated infrastructure, insufficient maintenance of the public water supply system or landslides in mountainous areas. The Strategy [3] envisages a reduction of water losses from public water supply systems from 15% to 20% - following the example of developed European countries.

According to the data of the Ministry of Environmental Protection and Energy (MZOE), published at the beginning of the year, in the Croatian water supply network, on average, as much as 49 percent of drinking water is lost due to installation age and lack of maintenance on the way to the end user. If we look at last year's State Audit reports related to losses in water supply in the three largest Croatian cities, Zagreb, Split and Osijek, the results are as follows: Zagreb loses 28 percent of water on the way to consumers, Osijek 25 percent and Split 59 percent. Croatian cities have a hard time finding a solution to a problem that annually, at the level of the whole of Croatia, loses 200 million cubic meters of drinking water in the water supply network; [23] [24] Fig. 10 show water losses from public water supply systems in Croatia and Tab. 4 losses in the SMC area.

**Figure 10.**

Water losses from public water supply systems in the Republic of Croatia [22]



**Table 4.** Drinking water losses in SMC

ON <sup>o</sup>	Utility company	Water losses (%)	
		2012	2014
1.	Jasenovačka voda Ltd. - Jasenovac,	36,0	31,6
2.	Komunalac Ltd. - Hrvatska Kostajnica,	78,0	81,1
3.	Komunalac Dvor Ltd., - Dvor	63,3	65,0
4.	LIP-KOM Ltd. -Lipovljani	44,2	28,4
5.	Moslavina Ltd. – Kutina	31,0	21,5
6.	Privreda Ltd. – Petrinja	57,4	67,2
7.	Sisački vodovod Ltd. - Sisak	38,9	43,8
8.	Vodovod Glina Ltd. - Glina	66,8	65,1
9.	Vodovod Novska Ltd. – Novska	15,4	...
10.	Vodoopskrba Ltd. - Hrvatska Dubica	14,4	...
11.	Vodoopskrba i odvodnja Ltd. - Topusko	54,5	47,4

Source: [25] [26]

The biggest water losses are due to the old water supply network (parts of the network are from 50 to 70, and even up to 100 years old). Additional problems are created by the hydraulic conditions in the network (the state of pressures and their change) leads to frequent cracking of pipes, and a large loss of water is also due to flushing of the pipeline after repairs. In hilly areas, landslides, too, cause accidents on water pipes. Water losses are further due to unauthorized water consumption (water theft), inaccuracy of measuring instruments in the system, uncontrolled leakage of water in the network at home connections and other issues.



### 3. Conclusions

Water is essential for the whole life world and an irreplaceable resource in the business of the economy, and the care for the protection and use of water resources is a key issue of human civilization. Modern water supply is burdened by a number of problems - from environmental, health and sanitary to economic issues. Drinking water consumption also includes the issue of energy efficiency.

The Republic of Croatia is rich in drinking water and ranks among the 30 richest countries in the world. About 90% of groundwater and 10% of surface water from watercourses and multipurpose reservoirs are used for drinking water supply in Croatia.

The supply of drinking water in the area of Sisak-Moslavina County is performed by eleven utility companies owned by cities and municipalities. Of the 453 settlements in the SMC, about 120 have fully or partially resolved drinking water supply through public water supply systems. These are mostly larger settlements, and the remaining settlements are supplied with water from local waterworks and partly from wells and cisterns. Four municipalities and three cities have their own drinking water supply services, while four cities and five municipalities are supplied through three common water supply systems.

- In the period 2012-2019, the number of drinking water consumers in the SMC area is around 60,000, and the total consumption has been reduced from 7.12 to 5.98 million liters. The highest consumption is in households (74.2%), followed by industry (15.7%) and services (10.1%).
- A particular problem of the rational use of drinking water in the SMC area is large losses in distribution (46%) - as a result of outdated infrastructure, insufficient maintenance of the public water supply system or landslides in mountainous areas.

Water losses are also a problem in the entire territory of the Republic of Croatia, where in 2017 they amounted to 67%. The water management strategy of the Republic of Croatia envisages a reduction of water losses from public water supply systems from 15.0% to 20.0% - like in of developed European countries. As a result, projects have been launched in Croatia to rebuild infrastructure and better manage consumption in order to reduce these losses.

### References

- [1] Ivanović, Milan. Znanost i regionalna energetika, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2006. (ISBN 953-6032-502-3)
- [2] Ivanović, Milan. Three essays on science (Tri eseja o znanosti), Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2008. (ISBN 978-953-6032-55-6226)
- [3] Hrvatski sabor. Strategija upravljanja vodama, NN 91/2008
- [4] Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11 i 56/13)
- [5] Zakon o financiranju vodnog gospodarstva (NN 153/09, 90/11 i 56/13)
- [6] Uredba o najnižoj osnovnoj cijeni vodnih usluga i vrsti troškova kojeg cijena vodnih usluga pokriva (NN 112/10)
- [7] SMŽ. Razvojna strategija Sisačko-moslavačke županije 2017.– 2020./Sisak, 2017.
- [8] DSZ. Procjene stanovništva Republike Hrvatske u 2018. Priopćenja br. 7.1.3.; Zagreb, 2019.
- [9] SMŽ. Program zaštite okoliša Sisačko-moslavačke županije 2018.-2021.godine





- 
- [10] Hrvatske vode. Plan razvitka vodoopskrbe na području SMŽ, 2010
  - [11] JKP Jasenovačka voda d.o.o. - Jasenovac
  - [12] JP Komunalac d.o.o. Hrvatska Kostajnica
  - [13] Komunalac d.o.o. Dvor
  - [14] Lip-kom d.o.o. Lipovljani
  - [15] Moslavina d.o.o. za javnu vodoopskrbu i javnu odvodnju – Kutina
  - [16] Privreda d.o.o. za javnu vodoopskrbu i odvodnju – Petrinja
  - [17] Sisački vodovod d.o.o. - Sisak
  - [18] Vodoopskrba d.o.o. - Hrvatska Dubica
  - [19] Vodoopskrba - Topusko
  - [20] Vodovod Glina d.o.o. - Glina
  - [21] Vodovod Novska d.o.o.– Novska
  - [22] DSZ. Statistički ljetipis, 2018.
  - [23] Jurica Kovač. Savjetovanje u kontroli gubitaka vode (<http://www.juricakovac.com/>)
  - [24] Martina Tadić. Koncept sustavnog smanjenja vodnih gubitaka u vodoopskrbnim sustavima, 6. Hrvatska konferencija o vodama ,( ISBN 978-953-7672-12-6), Opatija 20.- 23. svibnja 2015. pp. 1145-1152
  - [25] Državni ured za reviziju Područni ured Sisak. Izvešće o obavljenoj provjeri izvršenja danih preporuka za posebnu reviziju ekonomska opravdanost razlika u cijeni javne vodoopskrbe na području Sisačko-moslavačke županije Sisak, 2013.
  - [26] Državni ured za reviziju Područni ured Sisak. Izvešće o obavljenoj provjeri izvršenja danih preporuka za posebnu reviziju ekonomska opravdanost razlika u cijeni javne vodoopskrbe na području Sisačko-moslavačke županije Sisak, 2015.



# **Zakonske pretpostavke o ostvarivanju prava na intelektualno vlasništvo u području tehnike u Republici Hrvatskoj**

## ***Legal assumptions on the realizing of intellectual property rights in the field of engineering in the Republic of Croatia***

**S. Franjić**

\*Autor za korespondenciju. E-mail: sinisa.franjic@gmail.com

### **Sažetak**

Intelektualno vlasništvo čini skup prava koja se odnose na književna, umjetnička i znanstvena djela, interpretacije umjetnika izvođača, prava organizacija za prijenos, inovacije, znanstvena otkrića, industrijski dizajn, žigove i sva druga prava koja su rezultat intelektualnog napora u industrijskom, znanstvenom, književnom ili umjetničkom području. Prava intelektualnog vlasništva, poput bilo kojih drugih prava vlasništva, ističu prava na korist od zaštite moralnih i materijalnih interesa koji proizlaze iz autorstva nad bilo kojom znanstvenom, književnom ili umjetničkom produkcijom. Ostvarivanjem prava na intelektualno vlasništvo, autori se osiguravaju da se njihova djela reproduciraju ili umnožavaju bez bojazni od zloupotrebe, neovlaštenog umnožavanja ili piratstva.

**Ključne riječi:** Autorsko pravo, Patent, Industrijski dizajn, Žig

### **Abstract**

Intellectual property consists of a set of rights relating to literary, artistic and scientific works, interpretations of performer artists, rights of transfer organizations, innovations, scientific discoveries, industrial design, trademarks and all other rights resulting from intellectual efforts in industrial, scientific, literary or art area. Intellectual property rights, like any other property rights, emphasize the rights to benefit from the protection of the moral and material interests that result from the authorship of any scientific, literary or artistic production. By exercising intellectual property rights, authors ensure that their works are reproduced or reproduced without fear of abuse, tampering or piracy.

**Key words:** Copyright, Patent, Industrial Design, Trademark

### **1. Uvod**

Intelektualno vlasništvo skupni je naziv za vlasništvo nad rezultatima čovjekova stvaralačkog uma, što se odnosi na izume, literarna i umjetnička djela, kao i različite znakove razlikovanja, tj. dizajn proizvoda i nazive koji služe za komercijalne svrhe [1]. Iako se odnosi na nematerijalno vlasništvo, intelektualno vlasništvo daje pravo nositelju autorskog prava ili



patenta, žiga, industrijskog oblička i drugog da raspolaže tim pravom kao materijalnim vlasništvom i da tako ostvari korist od svoga intelektualnog rada i ulaganja. Država upravnim aktom priznaje isključivo pravo (neku vrstu monopola) na uporabu i raspolaganje tvorevinama intelektualnog stvaralaštva zaštićenim posebnim zakonima za svaki oblik industrijskog vlasništva.

Intelektualno vlasništvo u najširem smislu označava skup prava nastalih kao rezultat intelektualnih aktivnosti u industriji, znanosti, književnosti i umjetničkim područjima [2]. Države štite intelektualno vlasništvo iz dva glavna razloga. Prvi je pružanje zakonske zaštite kroz očuvanje moralnih i ekonomskih prava autora nad njihovim tvorevinama te omogućavanje javnosti pristup istima. Drugi je promicanje, kao promišljeni čin vladine politike, kreativnosti i razvoja programa koji trebaju poticati fer tržišnu utakmicu i na taj način sudjelovati u ekonomskom i socijalnom razvitku.

Ideje i njihova praktična primjena, intelektualno vlasništvo, mogu biti nešto najvrjednije što pojedinac, gospodarstvo ili društvo mogu imati [3].

To znači da intelektualno vlasništvo ima golemi utjecaj na društvo u cjelini. Eksploatacija intelektualnog vlasništva pomaže da se otvaraju nova radna mjesta, pruža zaštitu onima koji nove proizvode stavljaju na tržište i, općenito gledano, utječe na dobrobit društva, a to državu čini atraktivnijom za domaće i strane investitore.

S druge strane, nepoštivanje prava intelektualnog vlasništva ostavlja iza sebe niz štetnih posljedica kao što su odvratanje investitora od potencijalnih ulaganja, razvoj kriminala, gubitak određenih poreznih prihoda i stagnacija međunarodne trgovine. Ako se radi o medicinskim proizvodima, posljedice mogu biti još teže jer kao takve mogu imati štetne utjecaje na zdravlje ljudi.

Danas se izraz intelektualno vlasništvo mnogo koristi, ali još uvijek nije dovoljno jasno shvaćeno njegovo značenje [4]. Za mnoge on predstavlja tek skriveni zakonski koncept nevažan za svakodnevni život. Ipak, intelektualno je vlasništvo «pokretačka snaga» gospodarskog razvoja i stvaranja bogatstva, koja nije u svim zemljama dovoljno iskorištena. Osobito je to slučaj u zemljama u razvoju. Autorskim se pravom štiti autorstvo originalnih djela, kao što su knjige, slike, arhitektonska djela, skladbe, ali i računalni programi. Zakonska zaštita takvih djela pogoduje razvoju i procvatu kulture, industrije, kao i tehnološki usmjerenih poslova temeljenih na računalnim programima i drugim tehnologijama. Autorskom pravu srodnim pravima se štite raznovrsni objekti: umjetničke izvedbe, fonogrami i videogrami, ali i radiodifuzijske emisije, izdanja i baze podataka. Potrebno je naglasiti da je načine na koje se autorska djela i objekti srodnih prava mogu iskorištavati teško nabrojati, kako zbog različitosti naravi pojedinih vrsta autorskih djela i objekata srodnih prava, tako i zbog iznimno velikih mogućnosti koje pruža razvoj novih tehnologija.

Utjecaj novih tehnologija u kreativnoj ekonomiji podrazumijeva i problem pristupa koji implicira i pitanja prava intelektualnog vlasništva od kojih su najčešća autorsko pravo, patenti, zaštitni znakovi te dizajn [5]. U novonastalim uvjetima, kad simbolička proizvodnja postaje dominantnim oblikom proizvodnje, u kojem je taj krajnji proizvod fizički neopipljiv (ili je eventualno zabilježen na nosaču, čija materijalna vrijednost sama po sebi nije velika), pitanja vlasništva nad tim istim sadržajem postaju prevladavajuća, pogotovo kada je riječ o



velikom profitu te kad su u igru uključene multinacionalne korporacije. S druge strane, pitanja javne domene, i dostupnosti (kulture) razmjene su ključna dimenzija tih problema. U svjetlu rasprava o pretjeranoj reguliranosti digitalne sfere, valja se zapitati hoće li znanje, informacije i kreativni input postati dostupnima samo onima koji će si ih moći priuštiti ili će biti dostupni svima. Nadalje, kako će autori/ce biti nagrađeni za rad u takvim uvjetima? Kako razriješiti ove dvojbe u fluidnim uvjetima proizišlim uslijed procesa digitalizacije, postaje jedan od ključnih problema.

Patenti, autorska djela, žigovi i ostali proizvodi ljudskog uma, vrlo često predstavljaju i predmete poslovnih odnosa, a istodobno se kao poseban oblik vlasništva unose u gospodarske subjekte, odnosno tvrtke [6]. Upotreba ovih prava može omogućiti ekonomski rast, ali i utjecati na nacionalno bogatstvo neke države. Njihov plasman nerijetko označava stupanj uspješnosti njihovih nositelja i vlasnika. Svakako treba istaknuti da su svi proizvodi ljudskog uma nastali na ovaj način, vrlo često čimbenici nepoštene borbe konkurenata. Prava intelektualnog vlasništva (naravno, i patenti) svoj pravi značaj dobivaju u trenutku kada se nađu u prometu i postanu dostupna većem broju subjekata.

## 2. Internet

Razvoj novih informacijsko-komunikacijskih tehnologija i na njima temeljenih usluga stvara mnogobrojne pogodnosti za fizičke osobe i gospodarske subjekte [7]. Rast gospodarske aktivnosti temeljen na mrežnom povezivanju i novim online poslovnim modelima omogućio je unaprjeđenje postojećih poslovnih procesa te nastanak i ponudu novih online usluga i servisa poput web 2.0 usluga, koje omogućuju korisnicima samostalno stvaranje, objavu i širenje, odnosno razmjenu različitih sadržaja. Digitalizacija, multimedija, širokopolasni internet i razvoj internetskih servisa i komunikacijskih protokola, poput peer-to-peer (P2P) i drugih mrežnih tehnologija, imali su velik utjecaj na softversku, glazbenu i filmsku industriju, otvarajući put nastanku i razvoju kreativne ekonomije. Eksponencijalni rast ponude mobilnih aplikacija i unaprjeđenje kvalitete audio i video snimaka, kao i njihova ponuda uz znatno nižu cijenu i troškove distribucije, doveli su do sve veće potražnje za takvim proizvodima i odgovarajućim mobilnim uređajima. Omogućilo je to tvrtkama da postojeće ili nove digitalne sadržaje ponude na tržištima koja im prije nisu bila dostupna, a pojedincima da se kreativno izraze i sa svojim stvaralaštvom upoznaju ljude diljem svijeta.

Iako je pojava interneta omogućila uporabu mnoštva korisnih informacija, ista je pojava praktički istodobno omogućila pojavu računalnog kriminaliteta [8]. Moderna informatička tehnologija vrlo je jednostavna za uporabu, a i sa svojim je cijenama sve više pristupačnija pa je kao takva izložena i različitim kriminalnim aktivnostima. Računalni kriminalitet danas predstavlja vrlo ozbiljan svjetski društveni problem, a pojava Konvencije o kibernetičkom kriminalu [9] isto tako predstavlja ozbiljan svjetski pokušaj zadovoljavajućeg rješavanja tog problema.

Svakodnevnim povećanjem broja nazočnih na internetu, svijet sve više postaje globalno informacijsko selo [8]. Ukidaju se prostorna, regionalna, etnička i druga ograničenja i tako je svijet postao globalna zajednica, a internet – informacijska superprometnica! Internet je tako postao tehnološki, socijalni, ekonomski, medijski, politički pa, između ostalih,



i pravni fenomen. Budući da na današnjem stupnju razvoja trenutačno nije moguće postići apsolutnu sigurnost informacijskih sustava, potrebno je pružiti apsolutnu i djelotvornu zaštitu ako dođe do zlouporabe. To je moguće postići jedino koordinacijom država koje čine globalno selo.

### 3. Autorsko pravo i srodna prava

3. 1. autorsko pravo – pravo autora na njihovim djelima iz književnoga, znanstvenog i umjetničkog područja [10],

3. 2. srodna prava su:

- a) prava umjetnika izvođača na njihovim izvedbama,
- b) prava proizvođača fonograma na njihovim fonogramima,
- c) prava filmskih producenata (proizvođača videograma) na njihovim videogramima,
- d) prava organizacija za radiodifuziju na njihovim emitiranjima,
- e) prava nakladnika na njihovim izdanjima,
- f) prava proizvođača baza podataka na njihovim bazama podataka,

Autorsko pravo pripada, po svojoj naravi, fizičkoj osobi koja stvori autorsko djelo.

Pravo umjetnika izvođača pripada, po svojoj naravi, fizičkoj osobi koja izvede djelo iz književnog ili umjetničkog područja ili izražaje folklor.

Nositeljem drugih srodnih prava može biti svaka fizička i pravna osoba, ako zakonom nije drukčije određeno.

Autorsko pravo i srodna prava mogu se protiv volje njihovih nositelja ograničiti samo pod pretpostavkama i na način određen zakonom.

Predmet autorskog prava može biti svako autorsko djelo osim onoga koje to ne može biti po svojoj naravi kao i onog za koje je odredbama Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima određeno da ne može biti predmetom autorskog prava. Predmet autorskog prava je autorsko djelo u cjelini, uključujući i nedovršeno autorsko djelo, naslov te dijelovi autorskog djela koji udovoljavaju pretpostavkama da bi bili predmetom autorskog prava. Naslov autorskog djela koji ne udovoljava pretpostavkama da bi bio predmet autorskog prava, a koji je već korišten za neko autorsko djelo, ne može se koristiti za djelo iste vrste ako bi mogao izazvati zabunu o autoru.

Predmetom autorskog prava su izražaji, a ne ideje, postupci, metode rada ili matematički koncepti kao takvi.

Nisu predmetom autorskog prava:

- 1. otkrića, službeni tekstovi iz područja zakonodavstva, uprave i sudstva (zakoni, uredbе, odluke, izvješća, zapisnici, sudske odluke i sl.) i druga službena djela, kao i njihove zbirke, koja su objavljena radi službenog informiranja javnosti,
- 2. dnevne novosti i druge vijesti koje imaju karakter običnih medijskih informacija.

Narodne književne i umjetničke tvorevine u izvornom obliku nisu predmetom autorskog prava, ali se za njihovo priopćavanje javnosti plaća naknada kao za priopćavanje javnosti zaštićenih autorskih djela. Naknada se koristi za poticanje odgovarajućeg umjetničkog i kulturnog stvaralaštva pretežno nekomercijalne naravi i kulturne raznolikosti u odgovarajućem umjetničkom i kulturnom području.





Autorsko pravo sadržava moralna prava autora, imovinska prava autora i druga prava autora. Autorskim pravom štite se osobne i duhovne veze autora s njegovim autorskim djelom (moralna prava autora), imovinski interesi autora u pogledu njegovoga autorskog djela (imovinska prava autora) i ostali interesi autora u pogledu njegovoga autorskog djela (druga prava autora). Za svako korištenje autorskog djela autoru pripada naknada.

#### 4. Patent

Patent je pravo koje se priznaje za svaki izum iz bilo kojeg područja tehnike koji je nov, ima inventivnu razinu i koji se može industrijski primijeniti [11].

Ne smatraju se izumima osobito:

1. otkrića, znanstvene teorije i matematičke metode
2. estetske tvorevine
3. pravila, upute i metode za izvođenje umnih aktivnosti, igara ili za obavljanje poslova
4. prikazivanje informacija
5. računalni programi.

Navedeni predmeti ili aktivnosti isključeni su od patentne zaštite samo u mjeri u kojoj se prijava patenta ili patent odnose na same predmete ili aktivnosti kao takve (per se).

Smatrat će se novim i izum koji je bio sadržan u stanju tehnike najviše šest mjeseci prije dana podnošenja prijave patenta zbog ili kao posljedica:

očite zlouporabe u odnosu na podnositelja prijave patenta ili njegova pravnoga prednika ili izlaganja izuma od strane podnositelja prijave ili njegova pravnoga prednika na službenoj ili službeno priznatoj međunarodnoj izložbi u skladu s Konvencijom o međunarodnim izložbama potpisanom u Parizu 22. studenoga 1928., sa svim revizijama, pod uvjetom da podnositelj prijave naznači u prijavi patenta prilikom njezina podnošenja da je izum bio izložen te najkasnije u roku od četiri mjeseca od dana podnošenja prijave podnese odgovarajuću potvrdu o izlaganju izuma.

Potvrda sadržava podatak o osobi koja je izum izložila, naziv izuma, dan otvaranja izložbe i, ako je izum otkriven nakon toga dana, dan prvog otkrivanja izuma te ovjeru nadležnoga tijela.

Izum ima inventivnu razinu ako za stručnu osobu iz odgovarajućega područja ne proizlazi, na očigledan način, iz stanja tehnike.

Izum je industrijski primjenjiv ako se njegov predmet može proizvesti ili upotrijebiti u bilo kojoj grani industrije, uključujući poljoprivredu.

#### 5. Žig

Kao žig može se zaštititi svaki znak koji se može grafički prikazati, osobito riječi, uključujući osobna imena, crteže, slova, brojke, oblike proizvoda ili njihova pakiranja, trodimenzijske oblike, boje, kao i kombinacije svih naprijed navedenih znakova, pod uvjetom da su prikladni za razlikovanje proizvoda ili usluga jednoga poduzetnika od proizvoda ili usluga drugoga poduzetnika.

Žig se u Republici Hrvatskoj stječe registracijom. Za potrebe Zakona o žigu [12], pojam »registar« označava službenu zbirku podataka o registracijama žigova koju vodi Državni



zavod za intelektualno vlasništvo i koja sadrži upis podataka čiji upis se zahtijeva ili dopušta Zakonom o žigu, neovisno o mediju na kojem su ti podaci pohranjeni.

Registracija žiga nositelju žiga daje isključiva prava koja proizlaze iz njega.

Nositelj registriranog žiga, neovisno o njegovim pravima stečenim prije datuma podnošenja prijave ili datuma prvenstva registriranog žiga, ima pravo zahtijevati da se svim trećim stranama koje nemaju njegovu suglasnost spriječi uporaba u trgovačkom prometu, u vezi s proizvodima ili uslugama, bilo kojeg znaka koji vrijeđa pravo žiga tako da je:

1. znak istovjetan sa žigom i rabi se u odnosu na proizvode ili usluge koji su istovjetni s onima za koje je žig registriran
2. znak istovjetan sa žigom ili sličan žigu te se rabi u odnosu na proizvode ili usluge koji su istovjetni ili slični proizvodima ili uslugama za koje je žig registriran, ako postoji vjerojatnost dovođenja javnosti u zabludu u Republici Hrvatskoj; vjerojatnost dovođenja u zabludu uključuje vjerojatnost dovođenja u vezu toga znaka i žiga
3. znak istovjetan sa žigom ili sličan žigu, neovisno o tome jesu li proizvodi ili usluge za koje se žig rabi istovjetni, slični, ili nisu slični, onima za koje je registriran žig te ako taj žig ima ugled u Republici Hrvatskoj i uporaba toga znaka bez opravdanog razloga nepošteno iskorištava razlikovni karakter ili ugled takvog žiga ili im šteti.

Nositelj registriranog žiga ima pravo zahtijevati da se spriječi i sljedeće:

1. isticanje znaka na proizvodima ili na njihovim pakiranjima
2. nuđenje proizvoda ili njihovo stavljanje na tržište ili skladištenje u te svrhe pod tim znakom, ili nuđenje ili pružanje usluga pod tim znakom
3. uvoz ili izvoz proizvoda pod tim znakom
4. uporaba znaka kao trgovačkog naziva ili naziva trgovačkog društva ili dijela trgovačkog naziva odnosno dijela naziva trgovačkog društva
5. uporaba toga znaka na poslovnim dokumentima i u oglašavanju
6. uporaba takvog znaka u komparativnom oglašavanju na način koji je protivan propisima Europske unije ili propisima Republike Hrvatske o zavaravajućem i komparativnom oglašavanju.

Nositelj registriranog žiga, neovisno o pravima nositelja stečenim prije datuma podnošenja prijave ili datuma prvenstva registriranog žiga, također ima pravo zahtijevati da se onemogući trećim stranama da u trgovačkom prometu na području Republike Hrvatske u kojoj je žig registriran unose proizvode koji na tom području nisu pušteni u slobodan promet ako ti proizvodi, uključujući njihovo pakiranje, dolaze iz trećih zemalja i bez odobrenja nose žig koji je istovjetan sa žigom registriranim za te proizvode ili koji se po svojim bitnim obilježjima ne može razlikovati od toga žiga. Takvo pravo nositelja žiga prestaje važiti ako tijekom postupka za utvrđivanje počinjenja povrede registriranog žiga, pokrenutoga u skladu s propisima Europske unije o carinskoj provedbi prava intelektualnog vlasništva, deklarant ili posjednik proizvoda dokaže da nositelj registriranog žiga nije ovlašten zabraniti stavljanje proizvoda na tržište u zemlji krajnjeg odredišta.



## 6. Industrijski dizajn

U okviru prava intelektualnog vlasništva, pod industrijskim dizajnom se podrazumijeva estetski ili vanjski izgled proizvoda [13]. To je ono što proizvod čini privlačnim ili proizvodom po ukusu potrošača. Vizualna privlačnost jedna je od ključnih osobina koje utječu na odluku potrošača da se opredijeli za određeni proizvod. Industrijski dizajn pomaže firmama da naprave razliku između vlastitih i konkurentskih proizvoda, kao i da poboljšaju imidž svojih proizvoda. Zato je tako značajno osigurati odgovarajuću zaštitu industrijskog dizajna. Pravnu zaštitu iz područja industrijskog dizajna regulira Zakon o industrijskom dizajnu [14].

Dizajn više nije ono što se događa nakon što je proizvod načinjen, već dizajniranje mora biti uključeno u cijeli postupak razvoja proizvoda [15]. Stoga se neposredni rezultati dizajniranja u industriji moraju zrcaliti u samim oblicima industrijskih proizvoda i na uvjerljiv način iskazivati podrijetlo i humanost konačne namjene dizajna. Spomenuto podrijetlo odražava se u oblicima nastalim u vezi sa svojstvima upotrijebljenih materijala i tehnikom rada. U jedinstvu oblika industrijski proizvedenog predmeta ujedno se iskazuje i njegov unutarnji sustav, ekonomičnost njegove proizvodnje i upotrebe te kultura sredine u kojoj je nastao i kojoj je namijenjen. Humanost oblika očituje se u prilagođenosti proizvoda čovjeku, odnosno u njegovoj usklađenosti s okolišem te tjelesnim osobinama, naprednim shvaćanjima i osjećajima kupca.

## 7. Oznaka zemljopisnog podrijetla

Oznaka zemljopisnog podrijetla je naziv zemljopisnog područja ili neki drugi znak koji ukazuje da neki proizvod ili usluga potječe iz određenog zemljopisnog područja, te da posjeduje određenu kvalitetu i svojstva koja se pripisuju tom podrijetlu [16].

Oznaka izvornosti je specifičniji oblik zaštite, te obavezno podrazumijeva bitni ili isključivi utjecaj posebnih prirodnih i ljudskih čimbenika određene zemljopisne sredine i iz toga proizašlu osobitu kvalitetu i svojstva proizvoda ili usluga.

Kod oznaka izvornosti u pravilu se zahtijeva da se proizvodnja, priprema i obrada proizvoda i usluga u cijelosti odvija u naznačenom području.

Oznakom izvornosti mogu se, osim naziva zemljopisnih područja ili znakova koji ukazuju da neki proizvod ili usluga potječe iz određenog zemljopisnog područja, štititi i tradicionalni zemljopisni i nezemljopisni nazivi koji se koriste za označavanje proizvoda ili usluga koji potječu iz neke regije ili mjesta, ako udovoljavaju propisanim uvjetima.

Oznake zemljopisnog podrijetla i oznake izvornosti štite se kao intelektualno vlasništvo kako bi se spriječila njihova zloupotreba ili neovlaštena upotreba, budući da one doprinose većoj tržišnoj vrijednosti proizvoda i usluga koja odgovara njihovim posebnim svojstvima i time stečenom ugledu.

Učinkovit sustav zaštite ovih oznaka koristi i potrošačima te širokoj javnosti, promicanjem poštenog tržišnog natjecanja i dobrih poslovnih običaja. Zaštita ovih oznaka pomaže i gospodarski razvoj, posebice ruralnih područja, zadržavanjem radno sposobnog stanovništva i poticanjem obiteljskih gospodarstava u tim područjima, te očuvanjem i razvojem specifične ili tradicionalne proizvodnje i usluga.



Zaštita oznake zemljopisnog podrijetla kao intelektualnog vlasništva ostvaruje se provođenjem odgovarajućeg postupka registracije oznake koju provodi za to nadležno tijelo. Jednom registriranu oznaku zemljopisnog podrijetla ili oznaku izvornosti mogu zajednički koristiti svi proizvođači iz naznačenog područja, koji zadovoljavaju propisane uvjete. U pravilu se zahtijeva i registracija korisnika oznake kod odgovarajućeg nadležnog tijela.

Za razliku od ostalih oblika intelektualnog vlasništva kao što su patent, žig i industrijski dizajn, nacionalni sustavi prava koji reguliraju ovo područja mogu se znatno razlikovati od države do države.

Na proizvodima se oznaka zemljopisnog podrijetla ili oznaka izvornosti često koriste uz znak ili logotip proizvođača (koji može biti zaštićen žigom), kako bi se istovremeno naglasio individualni karakter i zajednička osobina pripadnosti proizvoda.

Ministarstvo poljoprivrede je nadležno za provedbu upravnog postupka za registraciju oznaka zemljopisnog podrijetla, oznaka izvornosti i oznaka tradicionalnog ugleda poljoprivrednih i prehrambenih proizvoda, vina i jakih alkoholnih pića. Ostvarivanje prava na intelektualno vlasništvo iz područja oznake zemljopisnog podrijetla provodi se na temelju Zakona o poljoprivredi [17]. Ministarstvo poljoprivrede i Državni zavod za intelektualno vlasništvo zajednički djeluju na ostvarivanju prava intelektualnog vlasništva iz područja oznaka zemljopisnog podrijetla.

## 8. Topografija poluvodičkih proizvoda

Za potrebe Zakona o zaštiti topografija poluvodičkih proizvoda [18]:

Poluvodički proizvod označava završni ili prijelazni oblik bilo kojeg proizvoda:

- koji se sastoji od materijala koji uključuje sloj poluvodljivog materijala, i
- koji ima jedan ili više drugih slojeva sastavljenih od vodljivog, izolacijskog ili poluvodljivog materijala razmještenih u skladu s unaprijed utvrđenim trodimenzionalnim uzorkom, i
- koji je namijenjen izvođenju elektroničke funkcije, isključivo ili zajedno s drugim funkcijama.

Topografija poluvodičkog proizvoda označava niz odgovarajućih slika, koja je nepromjenljivo oblikovana ili kodirana na bilo koji način, i:

koja predstavlja trodimenzionalni uzorak slojeva od kojih je poluvodički proizvod sastavljen, i

u kojem nizu svaka slika prikazuje uzorak ili dio uzorka površine poluvodičkog proizvoda na bilo kojem stupnju njegove izradbe.

Komercijalno iskorištavanje topografije označava prodaju, iznajmljivanje, davanje u zakup ili bilo koji drugi način komercijalne distribucije topografije, uključujući i nuđenje u te svrhe. Prvo komercijalno iskorištavanje topografije ne uključuje njeno iskorištavanje pod uvjetima povjerljivosti ako se njena daljnja distribucija ne vrši trećim osobama.

U skladu s odredbama Zakona o zaštiti topografija poluvodičkih proizvoda topografija se štiti isključivim pravima ako je rezultat vlastitoga intelektualnog napora njezina stvaratelja i ako nije uobičajena u industriji poluvodiča. Ako se topografija sastoji od elemenata koji su



uobičajeni u industriji poluvodiča, ona se štiti samo u opsegu u kojem kombinacija takvih elemenata, uzevši u cjelini, ispunjava ove uvjete.

## 9. Know-How

Know-How je najkompletniji oblik prijenosa svih potrebnih znanja za uspješnu proizvodnju, a uz kompletnu tehničku dokumentaciju (konstruktivne i radioničke crteže, tehničke proračune itd.), sadrži i posebna znanja i iskustva, upute o tehnologiji izrade ili proizvodnje, kontrole itd., te posebno specifične postupke koji se smatraju poslovnim tajnom, kao i iskustva i znanja koja nigdje nisu sadržana u pisanom obliku. Know-How se u Republici Hrvatskoj ne smatra posebnim područjem intelektualnog vlasništva i nije ga moguće pravno zaštititi. No, može se zaštititi, na primjer, potpisivanjem Ugovora o licencijski između stranaka.

## 10. Uloga Državnog zavoda za intelektualno vlasništvo

Zaštita intelektualnog vlasništva jedno je od najusklađenijih pravnih područja [19]. To znači da propisi o zaštiti intelektualnog vlasništva u većini država svijeta slijede ista načela, a razlikuju se samo u nijansama. Nekoliko međunarodnih ugovora uređuje međudržavne aspekte pri zaštiti intelektualnog vlasništva. Važnost intelektualnog vlasništva u današnjem modernom društvu potvrđena je postojanjem World Intellectual Property Organization (Svjetska organizacija za intelektualno vlasništvo) sa sjedištem u Genevi koja djeluje kao specijalizirana ustanova pod patronatom Ujedinjenih naroda.

Za provedbu svih oblika intelektualnog vlasništva u Republici Hrvatskoj nadležan je Državni zavod za intelektualno vlasništvo, tijelo državne uprave koje provodi postupke za priznanje prava intelektualnog vlasništva, osim u dijelu koji se odnosi na zaštitu oznaka zemljopisnog podrijetla i oznaka izvornosti za prehrambene i poljoprivredne proizvode, kao i oznaku tradicionalnog ugleda na nacionalnoj razini, čiju registraciju provodi Ministarstvo poljoprivrede te se bavi pratećom stručnom i zakonodavnom djelatnošću. Važan dio djelovanja Zavoda čini i informacijska i servisna djelatnost iz područja intelektualnog vlasništva pa je stoga moguće izvršiti pretraživanje relevantnih baza podataka u vezi industrijskog vlasništva i nabaviti Hrvatski glasnik intelektualnog vlasništva, službeno glasilo koje sadrži informacije iz postupka dodjele prava industrijskog vlasništva i ostale službene informacije.

## 11. Važnost zaštite intelektualnog vlasništva

Intelektualno vlasništvo u najširem smislu označava skup prava nastalih kao rezultat intelektualnih aktivnosti u industriji, znanosti, književnosti i umjetničkim područjima [19]. Države štite intelektualno vlasništvo iz dva glavna razloga. Prvi je pružanje zakonske zaštite kroz očuvanje moralnih i ekonomskih prava autora nad njihovim tvorevinama te omogućavanje javnosti pristup istima. Drugi je promicanje, kao promišljeni čin vladine politike, kreativnosti i razvoja programa koji trebaju poticati fer tržišnu utakmicu i na taj način sudjelovati u ekonomskom i socijalnom razvitku.





Neovlaštena uporaba ili umnožavanje predmeta intelektualnog vlasništva predstavlja povredu prava, a pravo vlasnika na raspolaganje, uporabu i stjecanje koristi, štiti se sredstvima i institucijama pravnog sustava.

Uslijed sve intenzivnije globalizacije i konkurentnosti na svjetskom tržištu, intelektualno vlasništvo dobiva na važnosti svakim danom. Paralelno s time i zahtjevi subjekata međunarodnih trgovačkih odnosa za zaštitom prava intelektualnog vlasništva sve su izraženiji. Stoga su u zakonodavstvima pojedinih zemalja, pa i na međunarodnoj razini, razvijeni različiti oblici zaštite, predviđeni poglavito za nositelje prava intelektualnog vlasništva. Upravo se oni mogu pojaviti sa svojim zahtjevima u odnosu na robu koja je predmetom međunarodne kupoprodaje. U tim okolnostima važnu ulogu ima odgovornost prodavatelja za prava i potraživanja iz područja intelektualnog vlasništva.

Intelektualno vlasništvo ima golemi utjecaj na društvo u cjelini. Eksploatacija intelektualnog vlasništva pomaže da se otvaraju nova radna mjesta, pruža zaštitu onima koji nove proizvode stavljaju na tržište i, općenito gledano, utječe na dobrobit društva, a to državu čini atraktivnijom za domaće i strane investitore.

## 12. Zaključak

Ostvarivanje prava na intelektualno vlasništvo predstavlja jednu od najznačajnijih tekovina modernog svijeta, a u suvremenom okruženju pravna zaštita i primjena intelektualnog vlasništva ostvaruju važne uloge u segmentima iz kojih proizlaze. Znanje i informacije predstavljaju svojevrsni kapital i, kao takvi, predstavljaju izuzetno važne pregovaračke pozicije u smislu dogovaranja bilo koje poslovne aktivnosti između partnera koji pregovaraju. Postojanje prava intelektualnog vlasništva jamči bolje pregovaračke pozicije jer se njihovim postojanjem mogu postići kvalitetniji uvjeti u ostvarivanju bilo kojega pravnog posla. Republika Hrvatska ima relativno dobro razvijen pravni sustav intelektualnog vlasništva. Za provedbu je nadležan Državni zavod za intelektualno vlasništvo.

## 13. Literatura

- [1] Želinski-Matunec, Sanja (ur.): «Od ideje do profita – Vodič za inovatore – poduzetnike», Ministarstvo za obrt, malo i srednje poduzetništvo, Hrvatski savez inovatora, Zagreb, 2002.
- [2] «WIPO Intellectual Property Handbook», Second Edition, World Intellectual Property Organization, 2008.
- [3] Samaha, Joel: «Criminal Law, Tenth Edition», Wadsworth Cengage Learning, Belmont, 2011.
- [4] Blažević, Borislav; Matanovac, Romana; Parać, Kamelija: «Građanskopravna zaštita autorskog prava i srodnih prava», Zbornik Hrvatskog društva za autorsko pravo, Volumen 5, Zagreb, 2004.
- [5] Primorac, Jaka: «Od nesigurnosti do nesigurnosti: rad i zaposlenost u kulturnim i kreativnim industrijama», Revija za sociologiju 1/2012.
- [6] Franjić S. (a) Patent in Biomedicine. J Clin Trials Pat 2017;2(1): 6.



- [7] Dragičević, Dražen; Gumzej, Nina: «Odgovornost posrednika za povrede autorskog i srodnih prava na internetu», Zbornik radova Pravnog fakulteta u Zagrebu, 4/2012.
- [8] Šimundić, Slavko; Franjić, Siniša: «Računalni kriminalitet», Sveučilište u Splitu – Pravni fakultet, Split, 2009.
- [9] Zakon o potvrđivanju Konvencije o kibernetičkom kriminalu – NN MU 9/2002.
- [10] Zakon o autorskom pravu i srodnim pravima – NN 167/2003.; 79/2007.; 80/2011.; 125/2011.; 143/2013.; 127/2014.; 62/2017.; 96/2018.
- [11] Zakon o patentu – NN 16/2020.
- [12] Zakon o žigu – NN 14/2019.
- [13] «Dopadljiv izgled», Uvod u industrijski dizajn za mala i srednja poduzeća, Svjetska organizacija za intelektualno vlasništvo, Institut za intelektualno vlasništvo BiH, Mostar, Sarajevo, Banja Luka, 2008., str 1.
- [14] Zakon o industrijskom dizajnu - NN 173/2003.; 54/2005.; 76/2007.; 30/2009.; 49/2011.; 46/2018.
- [15] Vedrina, Darinka; Horvatić, Klaudija; Smiljanić, Danijel; Lapaine, Božidar: «Pravna zaštita dizajnerskog stvaralaštva», Prostor, 1/1997.
- [16] [www.dziv.hr](http://www.dziv.hr)
- [17] Zakon o poljoprivredi – NN 118/2018.; 42/2020.
- [18] Zakon o zaštiti topografija poluvodičkih proizvoda – NN 173/2003.; 76/2007.; 30/2009.; 49/2011.; 46/2018.
- [19] Franjić, Siniša (b): “Realizing of Intellectual Property Rights” (Ostvarivanje prava na intelektualno vlasništvo), 6. Međunarodni znanstveni simpozij „Gospodarstvo istočne Hrvatske – vizija i razvoj” / 6th International Scientific Symposium „Economy of Eastern Croatia – Vision and Growth”, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Ekonomski fakultet u Osijeku, May 25th – 27th, 2017., Osijek, Croatia, pp. 476. – 487., ISSN: 1848-9559



# Opasnosti i zaštita na radu u skućenim i ograničenim prostorima

## *Hazards and safety at work in restricted and confined spaces*

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

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

<sup>2</sup>Komunalac, Vukovar, Hrvatska

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

### Sažetak

Radovi u skućenim i ograničenim prostorima povremeno se obavljaju pri građenju i pri održavanju vodovodnih i kanalizacijskih građevina, elektroenergetskih postrojenja i drugih objekata. Na takvim radnim zadacima prijete brojne opasnosti, od kojih mnoge mogu biti sa smrtonosnim posljedicama. Stoga se uvijek mora djelovati oprezno i preventivno, uz poštivanje svih propisanih mjera zaštite života i zdravlja radnika.

U članku je dan popis mogućih opasnosti (otrovni plinovi, požar, eksplozija, potapanje itd.), koje je uvijek potrebno prethodno ispitati. Članak opisuje proceduru sigurnog rada u ovakvim prostorima (radnim uvjetima) i potrebna zaštitna sredstva. To je područje regulirano s našim zakonskim propisima, ali poželjno je upoznati se s normama i dobrom praksom u drugim državama.

**Ključne riječi:** skućeni i ograničeni prostor, opasnosti, procjena rizika, mjere zaštite na radu, propisi

### Abstract

Works in restricted and confined spaces are occasionally performed during the construction and maintenance of water supply and sewerage structures, power plants and other facilities. Numerous dangers threaten such work tasks, many of which can be fatal.

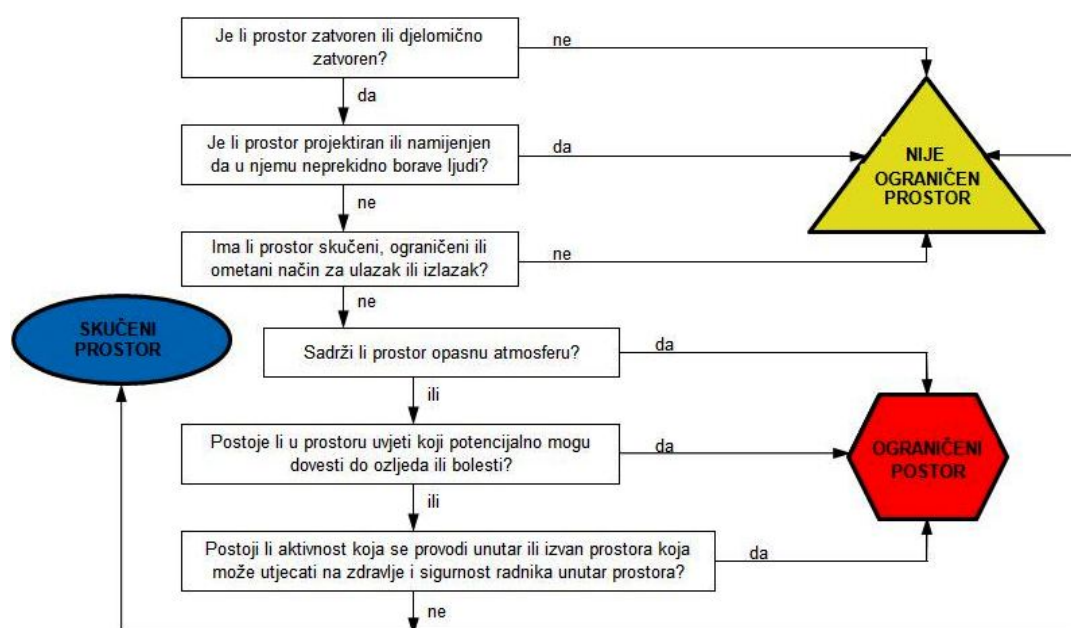
The article gives a list of possible hazards (poisonous gases, fire, explosion, immersion, etc.), which should always be examined beforehand. The article describes the procedure of safe work in such spaces (working conditions) and the necessary protective equipment. This area is regulated by our legislation, but it is advisable to become familiar with the norms and good practice in other countries.

**Key words:** restricted and confined spaces, hazards, risk evaluation, occupational safety measures, regulations

## 1. Uvod - definicija ograničenih i skučenih radnih prostora

Kod građenja i održavanja (kontrola, čišćenja, zamjene dijelova i popravaka) vodovodnih i kanalizacijskih sustava i nekih elektroenergetskih postrojenja na mnogim mjestima postoji potreba za izvođenjem građevinskih, instalaterskih i drugih radova u skučenim i ograničenim prostorima. Takvim se smatraju ograđeni, zatvoreni prostori (ne nužno u cijelosti) u koje radnik mora ući cijelim tijelom da bi obavio radni zadatak, pri čemu je često u fizički neprirodnom položaju, a postoje ograničenja pri ulazu i izlazu (potrebno je penjanje, puzanje ili sl.). Primjerice, skučeni i ograničeni prostori su dimnjaci, zatvoreni rezervoari, razni spremnici, taložnici, bačve, šahtovi, okna, kanalizacijske i druge cijevi, zatvoreni odvodni, crpne stanice, hvatači masti, reakcijske posude, kućišta transformatora, prostori za komunikacijske vodove, bušotine, bunari, jame za mulj, otvorene kaverne, rovovi s privremenom zaštitnom konstrukcijom i duboki iskopi koji zahtijevaju ljestve itd [1, 2]. Neka mjesta mogu postati opasna tijekom njihove izrade ili naknadne izmjene, ali i onda kada se u njima obavljaju određene radne operacije. Tako npr. u zatvorenom prostoru opasnosti za radnike nastaju zbog zavarivanja, upotrebe hlapljivih i zapaljivih otapala ili ljepila, rada alata i strojeva pri kojem se stvara prašina (motori s unutarnjim sagorijevanjem zabranjeni su u zatvorenim prostorima zbog ispušnih plinova) i dr.

U SAD-u je ograničen prostor definiran kao prostor čija konfiguracija i/ili sadržaj mogu predstavljati posebne opasnosti koje se ne nalaze u normalnim radnim područjima [3]. Kanadski propisi razlikuju ograničeni prostor, kao područje koje nije namijenjeno za rad radnika jer može prouzročiti rizik zbog razine kisika, zagađenosti, zračenja itd. (vrlo slično tumačenju australske norme za ograničene prostore, koju je usvojio i Novi Zeland [4]), i skučeni prostor, kao područje koje nema prethodno navedene rizike, ali ima fizička i prostorna ograničenja koja mogu utjecati na radne operacije koje se izvode [5]. Kako propis u kanadskoj pokrajini Alberta nalaže određivanje da li je radni prostor ograničen ili skučen pokazano je na slici 1.



Slika 1. Dijagram toka određivanja vrste prostora u kojemu se radi (prema [1])



## 2. Zakonski propisi i norme

Osim temeljnog Zakona o zaštiti na radu, rad na sigurna način u skućenim i ograničenim prostorima još regulira niz pravilnika:

- Pravilnik o zaštiti na radu na privremenim gradilištima (sadrži: Nepotpuni popis posebno opasnih radova (Dodatak II) i Opće minimalne zahtjeve za mjesta rada na gradilištu (Dio A.) [6]),
- Pravilnik o zaštiti na radu za mjesta rada (definira: Dimenzije radnih prostorija (čl. 12), Podove, zidove, stropove i krovove (čl. 13), Putove i izlaze u nuždi (čl.14), Zaštitu od požara (čl. 15), Vertikalne prilaze (čl. 22), Temperaturu, vlažnost i brzinu strujanja zraka (čl. 24), Provjetravanje (čl. 26), Prirodnu i umjetnu osvjetljenost (čl. 27) [7]),
- Pravilnik o poslovima s posebnim uvjetima rada,
- Pravilnik o izradi procjene rizika,
- Pravilnik o uporabi osobnih zaštitnih sredstava,
- Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti biološkim agensima pri radu,
- Pravilnik o zaštiti radnika od rizika zbog izloženosti opasnim kemikalijama na radu,
- Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu,
- Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom i dr.

Norme nisu obvezne kao zakonski propisi, ali njihova implementacija unapređuje poslovne sustave. Za pomoć organizacijama da smanje nezgode, bolesti i ozljede na radu, *International Organization for Standardization* (ISO) je razvio međunarodnu normu za zaštitu zdravlja i sigurnosti na radu - ISO 45001, *Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. Ta norma unapređuje upravljanje rizicima koji su povezani sa zdravljem i sigurnošću na radu i daje organizacijama okvir za proaktivno poboljšavanje učinaka zaštite na radu (ZNR). Norma ISO 45001 prihvaćena je u Hrvatskoj u originalu kao norma oznake HRN ISO 45001:2018 Sustavi upravljanja zaštitom zdravlja i sigurnosti pri radu – Zahtjevi s uputama za uporabu.

## 3. Opasnosti i procjena rizika

U ograničenim i skućenim prostorima radnicima mogu prijetiti brojne, različite opasnosti. Osim uvodno spomenutih opasnosti koje dolaze od radova koji se u njima obavljaju, pogubno može biti nakupljanje zapaljivih i otrovnih plinova ili nedostatak kisika u zraku, do čega dolazi npr. kada su ograničeni prostori povezani s kanalizacijom, u rezervoarima ili bunarima u kojima je mulj ili drugi nakupljeni talog, s čijim pomicanjem može doći do ispuštanja opasnih plinova, te u zatvorenim prostorima u kojima trune vegetacija ili metal i prirodni oksidacijski procesi troše kisik iz atmosfere. Opasnosti prijete i zbog neučinkovite izolacije postrojenja koja se nalaze u blizini ograničenih prostora, pa tako u šahtove u kontaminiranom tlu (ako npr. u blizini curi iz nekog podzemnog spremnika benzina) dolaze otrovni i zapaljivi plinovi, a iz cijevi spojenih na ograničeni prostor može doći do curenja (voda može potopiti prostor, a u cjevovodima mogu biti i otrovne tvari). Ograničeni prostor može postati nesiguran zbog nekih aktivnosti izvan njega, kao punjenja i pražnjenja susjednog odjeljka ili spremnika, vrućine ili zime izvana, pada atmosferskog tlaka, vjetera, udara munje itd [1]. U tablici 1 su navedene i pojašnjene različite opasnosti i štetnosti za





život i zdravlje radnika, koje mogu biti u skučenom i ograničenom prostoru, a česta i vrlo opasna su njihova kombinirana djelovanja.

**Tablica 1. Opasnosti i štetna djelovanja za radnike u ograničenim i skučenim prostorima**

Ugroze	Kako nastaju štetna djelovanja
<b>Biološke opasnosti</b>	U kanalizacijskim cijevima, šahtovima, silosima, gnojnicama, jamama, kavernama i dr. radnici mogu biti izloženi virusima, bakterijama, gljivicama, ubodima insekata, ugrizima zmija i glodavaca i sl.
<b>Padovi na istoj razini i s visine i u dubinu</b>	U skučenim prostorima radne površine često su neravne i zbog kondenzacije i prolijevanja mokre i skliske, što povećava rizik poskliznuća i padanja. Opasne su i pokretne ili nestabilne površine i oprema. (Zbog zaštitne opreme na sebi radnici su slabije sposobni izbjeći ovakve nezgode.) U nekim prostorima može biti opasnost od naglog propadanja radnika u uskladišteni materijal (pijesak, mulj i sl.), što može dovesti i do gušenja (ulaskom materijala u koji se upadne u dišni sustav)
<b>Udarci, uklještenja - utapanje</b>	Radnike mogu ozlijediti (zarobiti ili zdrobiti dio tijela) rotirajući i pomični dijelovi strojeva (miješalice, pužni transporter, transportne trake i sl.), a u skučenim i ograničenim prostorima je malo mjesta, pa je opasnost tim veća. Može doći do padanja na radnike materijala (zatrpavanja, npr. zemljom), alata, raznih dijelova i dr. unutar prostora ili izvana kroz nezaštićene gornje otvore. U nekim slučajevima radnicima prijete plutajući predmeti ili leteće čestice. Vrlo je opasno ako dođe do iznenadnog pokretanja / oslobađanje energije ili radnih medija i u skučeni, ograničeni prostoru naglo uđe neka opasna tekućina ili plinovi i pare. Tekući ili rastresiti materijali vrlo brzo mogu zarobiti ili zatrpati radnike. Čak i ako je voda, neplanirano, naglo podizanje njene razine u prostoru može dovesti do utapanja.
<b>Onečišćenje atmosfere toksičnim tvarima (koncentracija tvari iznad sigurne razine) i premalo kisika (manje od 19,5%) - kemijske štetnosti</b>	Otrovne tvari akumuliraju se kroz neke proizvodne, biološke i kemijske reakcije (može biti od nekih pohranjenih materijala). U radnom prostoru mogu biti otrovni plinovi i pare, a posebno je opasno kombinirano djelovanje više različitih plinova i para. Opasni plinovi su inertni zagušljivci (ugljični dioksid, metan etan, propan i dr.) i kemijski zagušljivci (ugljični monoksid, klor, amonijak, cijanovodik, sumporni dioksid). Naročito ugljični monoksid koji je bez boje i mirisa, a opasno djeluje već pri maloj koncentraciji u zraku (0,1 - 0,2%). (Koncentracija plina u skučenom prostoru može se brzo promijeniti.) Postoje tekućine i krute tvari koje mogu naglo isparavati ili ispuštati plinove i pare. Neke boje, lakovi, ljepila i otapala (sredstava za čišćenje i za razrjeđivanje boje) mogu proizvesti otrovne pare (uzrokuju vrtoglavicu i narušavaju sposobnost prosudbe radnika), a otrovni plinovi i pare nastaju i kod zavarivanja. U skučenim, ograničenim prostorima do nedostataka kisika može doći jer ga istiskuju iz prostora drugi plinovi ili se troši nekim radnim operacijama, od bakterija prilikom raspada organskih tvari, reakcijom između tla i kisika u atmosferi, korozijom (kod hrđe unutar čeličnih spremnika i posuda) i kod požara. Koncentracija kisika ispod 16% (normalno je 21%) stvara zdravstvene smetnje (otežano disanje, umor, vrtoglavice, nesvjestice, mučnine, povraćanje), pa i smrt (ako ga je u prostoru < 6%). Pri nekim radnim procesima (uporaba bušilica i brusilica) nastaje otrovna prašina. Razne kemikalije (npr. nagrizajuće) koje se koriste pri radu mogu uzrokovati jaku iritaciju očiju i kože ako izloženi radnici nemaju odgovarajuću zaštitnu opremu. Neke korozivne tvari nemaju trenutni učinak, ali duža izloženost dovodi do kancerogenih oboljenja.
<b>Požar i eksplozija</b>	Opasnost od požara i eksplozija postoji kada su prisutni zapaljivi i eksplozivni plinovi, pare i prašina. Zapaljivi plinovi (kao što su acetilen, butan, propan, vodik i metan) i pare često budu u ograničenom prostoru. Zapaljivu prašinu mogu npr. stvoriti nitratna gnojiva i kemijski elementi iz zemlje. Ako je u zraku povećana koncentracija kisika (>23%) to će još više pospješiti gorenje (npr. odjeće i kose) i rizik od eksplozije. Rizik od požara povećava uporaba otapala koja su zapaljiva i curenje benzina ili dizel goriva.
<b>Električne energija</b>	U skučenim i ograničenim prostorima povećana je opasnost od slučajnog dodira dijelova el. kabela pod naponom i električnog udara, pogotovo u vodljivim i mokrim prostorima.



<b>Buka</b>	Ovisno o izvoru buke (najčešće od alata i druge radne opreme) i materijalu od kojeg su stijene prostora, buka u ograničenim i skućenim prostorima može biti znatno pojačana zbog odbijanje zvuka. (To loše djeluje na sluh i ometa komunikaciju radnika.)
<b>Mikroklimatski uvjeti</b> (vrućina, hladnoća, vlaga u zraku, vjetar i dr.)	Povećana temperatura može biti zbog radova koji se odvijaju unutar skućenog i ograničenog prostora (npr. kod zavarivanja) ili dolaziti izvana, a dovodi do povećanog isparavanja i povećane iscrpljenosti radnika (dehidracija, toplinski umor, grčevi, nesvjestica i dr.). Posebno je opasna vrućina kada je visoki postotak vlage u zraku. Hladnoća uzrokuje smanjenje mentalnih i fizičkih sposobnosti zbog gubitka osjetljivosti i spretnosti prstiju. Vjetar povećava osjećaj hladnoće, a mokra stopala gube toplinu 25 puta brže od suhih.
<b>Slabo osvjetljenje</b>	Većina zatvorenih prostora je mračna, a slaba rasvjeta radnicima otežava ulazak, izlazak i rad u takvom prostoru.
<b>Fizička naprezanja - bolovi i oboljenja zbog položaja tijela pri radu</b>	Zbog skućenog prostora radnici su pri obavljanju radnih zadataka često u neprirodnim položajima (kleče, čuče i sl.), koji izazivaju statičko naprezanje mišića, grčenje mišića, bolove, ukočenost i druge neugodne posljedice (ako rad duže traje). Kretanje i rad s opremom koju radnik mora imati na sebi je fizički teže (ulaže veći napor i sporije radi ručne zadatke).

Usprkos legislativi i normama te propisanoj internoj kontroli (ovlaštenik ZNR, stručnjak ZNR, koordinator za ZNR u fazi izvođenja radova) i vanjskoj kontroli (inspekcija rada) njihovog provođenja [8], i u našoj praksi i u inozemstvu pri radovima u ograničenim i skućenim prostorima dolazi do nesreća s najtežim posljedicama. U Novom Zelandu ograničene prostore zbog brojnih žrtava rada u njima nazivaju serijskim ubojicom [4], a nažalost proteklih nekoliko godina su se u njima i u Hrvatskoj događale nesreće s više poginulih radnika.

Najčešći uzrok smrtnih stradanja u ograničenim i skućenim prostorima je nekorištenje propisane osobne zaštitne opreme i ne obavljanje radnih postupaka prema propisanoj proceduri [2]. Treba naglasiti da su više od polovice smrtno nastradalih u skućenim i ograničenim prostorima osobe koje su se bile u blizini i pokušale pomoći nastradalim radnicima [2, 9], ali se pri tome nisu pridržavali procedure za spašavanje niti su bili odgovarajuće opremljeni.

Rizik se sagledava kao umnožak vjerojatnosti neželjenog, opasnog djelovanja i težine posljedica, pa se zato prvo mora identificirati moguće opasnosti za život i zdravlje radnika i ocijeniti njihovo djelovanje. Poslodavac je obvezan imati procjenu rizika za sve poslove (osim onih za koje je prethodno procijenjen i dokumentiran mali rizik), koja odgovara postojećim rizicima na radu i u svezi s radom, te ona mora biti dostupna radnicima na mjestu rada [8]. Procjenu rizika mogu napraviti samo za to ovlaštene osobe [10], ali to treba biti uz aktivno sudjelovanje poslovođe i ključnih radnika koji obavljaju poslove, s uvažavanjem njihovih stavova. Postupak procjenjivanja rizika obuhvaća prikupljanje podataka na mjestu rada, analize i procjene tih podataka, plan mjera za uklanjanje, odnosno smanjivanje razine opasnosti, štetnosti i napora i dokumentiranje. Periodika revizije procjene rizika nije propisana, već bi je poslodavac trebao kontinuirano ažurirati tako da bude u skladu s postojećim stanjem unutar tvrtke (nova radna mjesta, novi tehnološki procesi, nova radna oprema, nove kemikalije u uporabi itd.) [11].

Nije dovoljno da je procjena rizika samo općenita za neko zanimanje ili radno mjesto, već se rizike treba sagledati na razini svake pojedine radne operacije i obzirom na specifične



opasnosti svakog pojedinog radnog mjesta. Uz izvore opasnosti i štetnosti u radnom prostoru i njegovoj blizini (ulaza), procjena rizika treba uzeti u obzir lokaciju, vrstu, veličinu i strukturu radnog prostora, izlazne puteve i mogućnost spašavanja te rasvjetu i izvor energije na mjestu rada [9].

Kao pomoć za identificiranje opasnosti na radnom mjestu mogu poslužiti kontrolne liste za specifične opasnosti u svezi neravnih ili skliskih površina, električnih instalacija i opreme, požara, eksplozija, kemijskih tvari, buke, osvjjetljenja, pokretnih dijelova stroja i dr., ali one ne pokrivaju sve moguće slučajeve u kojima postoje opasnosti. Za svaku listu dan je i popis primjera preventivnih mjera koje se mogu koristiti za smanjenje rizika [12].

#### **4. Mjere zaštite na radu – procedura za siguran rad**

Na temelju procjene rizika primjenjuju se odgovarajuća pravila zaštite na radu i preventivne mjere, organizira se i provodi radne postupke te poduzima druge aktivnosti za sprječavanje i smanjenje izloženosti radnika utvrđenim rizicima, kako bi se vjerojatnost ozljede ili oboljenja na radu otklonila ili barem svela na najmanju moguću mjeru [8].

Ako je rizik procijenjen kao visok i neprihvatljiv, obvezno se moraju poduzeti aktivnosti za njegovo izbjegavanje ili smanjivanje. Ako je rizik procijenjen kao srednji i prihvatljiv, preporučuje se planiranje aktivnosti radi smanjivanja njegove razine. Ako je rizik mali i prihvatljiv, potrebno je osigurati da ostane na istoj razini [12].

Jedno od osnovnih načela prevencije je izbjegavanje i uklanjanje rizika zamjenom opasnog neopasnim [8], ali u mnogim slučajevima na privremenim radilištima to nije moguće. To bi značilo izvođenje radova izvan opasnog prostora ili bez ulaženja radnika u njih, primjenom mehanizacije s kamerama i daljinskim upravljanjem, odnosno robota (sve češće u razvijenim državama). No, nekada se potreba za radom u skućenom i ograničenom prostoru može smanjiti boljim planiranjem rada ili drugačijim pristupom, tako da se na neki način prilagodi taj prostor (redizajn) ili drugo postrojenje [2].

Najčešće ostaju rizici za zdravlje radnika koji se ne mogu ukloniti ili se mogu samo djelomično ukloniti primjenom osnovnih pravila ZNR, pa je uz njih nužna primjena posebnih pravila ZNR. Ona se odnose na radnike, način obavljanja poslova i radne postupke i opremu [8]. Poslovi koji se obavljaju u prisilnom i nefiziološkom položaju tijela, rad u nepovoljnoj mikroklimi, poslovi pri kojima je radnik izložen različitim vrstama prašine i dimova te pari i dr. ubrajaju se u poslove s posebnim uvjetima rada i smiju ih obavljati samo radnici određene životne dobi (stariji od 18 godina), spola, stručne sposobnosti te zdravstvene i psihičke sposobnosti (zahtijeva provjeru na pregledima kod specijalista medicine rada u redovitim, propisanim periodima) [13].

Na vjerojatnost ozljede, odnosno rizik, uz situacijske čimbenike (izloženost opasnoj situaciji, vrsta posla i uvjeti rada - vidljivost, temperatura, tempo rada, raspoloživa zaštitna sredstva) djeluju i individualni čimbenici radnika. O njima ovisi opažanje opasnosti (senzorna sposobnost, razina budnosti i sl.) i donošenje odluke da se izbjegne opasnost (pored iskustva i obučenosti na to djeluju i osobni stavovi, motivacija, sklonost prihvaćanju rizika i druge osobne karakteristike radnika). Zbog svega toga jasno je koliko je važna obučenost i uvježbanost te profesionalna selekcija radnika za određena radna mjesta.

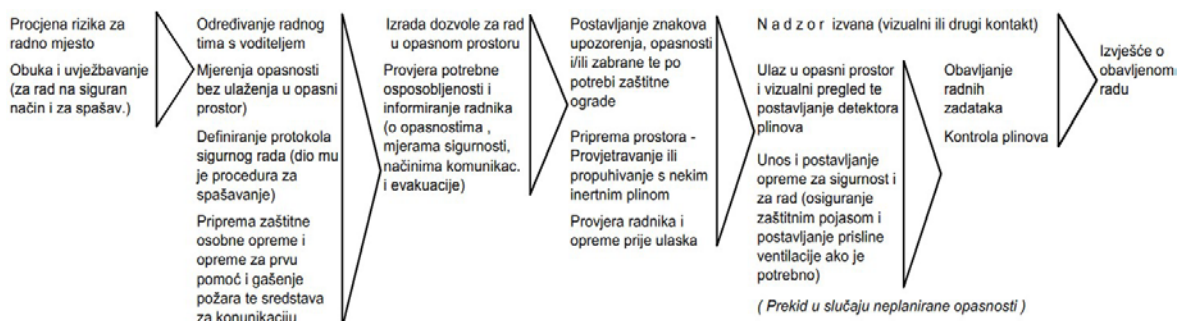
Na slici 2 su koraci koji vode k izbjegavanju ozljede, odnosno nesreće na radu, prikazani u formi sekvencijskog modela.



Slika 2. Slijed kojim radnik može izbjeći ozljeđivanje

Vidi se da zapravo svako nesigurno ponašanje ne završava uvijek s neželjenim posljedicama (samo je vjerojatnost za to puno veća), kao ni da sigurno ponašanje ne znači stopostotnu sigurnost. (Moguće je da ozljedu uzrokuje djelovanje neke više sile, ali to je vrlo rijetko.)

Ne može se očekivati da će u zakonu i pravilnicima te svakoj projektnoj i sigurnosnoj dokumentaciji (plan izvođenja radova na siguran način napravljen u fazi projektiranja) biti predviđeno i propisano sve što je potrebno za rad u skućenim ili ograničenim prostorima [2]. Pogotovo zbog mogućnosti da promjenama tijekom rada (uslijed oštećenja opreme i materijala, pucanja instalacija, djelovanja elementarnih nepogoda itd.) neočekivano nastane ograničeni prostor. Zato kod izvođača obučena i ovlaštena osoba/osobe treba identificirati i procijeniti sve moguće opasnosti i rizike, pa čak predvidjeti i one koji mogu nastupiti u slučaju određenih promjena tijekom daljnjeg rada [5]. Obično se počinje s ispitivanjem koncentracije kisika i prisutnosti opasnih plinova u ograničenom prostoru (po mogućnosti bez ulaženja). Postupci se nadalje općenito odvijaju kako pokazuje slika 3.



Slika 3. Redoslijed postupaka kod izvođenja radova u ograničenom i skućenom prostoru

Nakon što izvođač identificira potrebu radova u ograničenom i skućenom prostoru treba oformiti stručni tim i napraviti Protokol sigurnog rada. Taj plan sadrži imena radnika koji će ući u ograničeni prostor, imena osoba koje mogu odobriti određene poslove i ograničenja





njihovih ovlasti, mjere kontrole rizika, ime osobe koja je odgovorna za određivanje potrebnih mjera opreza i osobe koja boravi izvan ograničenog prostora. Protokol određuje razdoblje tijekom kojeg radnici mogu sigurno ostati u ograničenom prostoru.

Treba razraditi i usavršiti postupke za obavješćavanje hitnih službi (npr. vatrogasna služba) u slučaju potrebe (imati zapisan telefonski broj najbližeg pružatelja prve pomoći, što je pogotovo važno ako se radovi izvode u inozemstvu). Protokol sigurnog rada obvezno sadrži proceduru za spašavanje. Nužno je formulirati i provesti pripreme za hitne postupke (osigurati svu potrebnu opremu i dovoljan broj obučanih ljudi, upućenih u postojeće opasnosti, čije znanje treba osvježavati i uvježbavati ih koliko je potrebno da bi održali zadovoljavajuću razinu kompetencija [14]), u skladu s prirodom skućenog i ograničenog prostora, postojećim rizicima i predviđenim načinom evakuacije i spašavanja. S tim moraju biti upoznati svi koji sudjeluju u izvođenju radova u ograničenom prostoru.

Izvješće o procjeni rizika i Protokol sigurnog rada moraju biti istaknuti na vidljivom mjestu na ulazu u opasni prostor [2].

U SAD-u svi poslodavci uključeni u građevinske radove moraju detektirati ograničene prostore u kojima će njihovi radnici raditi i utvrditi jesu li to prostori za koje treba dozvola za rad. Izdavanje dozvole za rad potrebno je ako ograničeni prostor sadrži stvarni ili potencijalni rizik koji može prouzrokovati smrt, ozljedu ili akutnu bolest, onesposobljenost, zarobljavanje radnika ili na bilo koji drugi način ometati radnika da u nuždi napusti taj prostor. U slučajevima kada postoji potreba da radnici ulaze u takav prostor, poslodavci moraju poduzeti određene mjere opreza, a one obuhvaćaju [3]:

- navođenje mjera opreza koje treba poduzeti radi zaštite radnika u prostoru,
- osposobljavanje radnika kako bi znali zaštititi sebe i druge i
- planiranje brzog i sigurnog načina spašavanja ozlijeđenih radnika.

Da bi se radnicima koji rade u prostoru s dozvolom osigurala zaštita od opasnosti Standard ograničenih prostora (*Confined Spaces Standard*) definira dužnosti "poslodavcima koji ulaze" ("entry employers"), "poslodavcima domaćinima" ("host employers") i „nadzirateljima izvođača radova“ ("controlling contractors"). Obveze svih kategorija poslodavaca sažete su u tablici 2.

**Tablica 2.** Standard za ograničene prostore u SAD-u (prema [3])

Kategorije poslodavca	Obveze poslodavaca
Svi poslodavci	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificirati sve zatvorene prostore u kojima njihovi radnici mogu raditi i utvrditi postoje li prostori u koje se ulazi s dozvolom.</li> <li>• Poslodavci koji nisu "poslodavci koji ulaze" moraju osigurati da njihovi radnici ostanu izvan bilo kojeg prostora na gradilištu za koji se izdaje dozvola za rad.</li> </ul>
"Poslodavci koji ulaze" (Može ih biti više - svi poslodavci čiji zaposlenici moraju ulaziti u prostor za koji treba dozvola)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poštujući norme zaštititi radnike od opasnosti u prostoru za koji se izdaje dozvola.</li> <li>• Obavijestiti "nadziratelja izvođača" o programu koji slijedi i o opasnostima koje su se pojavile u prostorima u kojima se ulazi s dozvolom.</li> </ul>
"Nadziratelj izvođača" (Poslodavac - izvođač radova sa sveukupnom odgovornošću za radove na gradilištu)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Podijeliti informacije o opasnostima prostora u koji se ulazi s dozvolom s "poslodavcima koji ulaze" i s drugim poslodavcima čije aktivnosti mogu stvoriti opasnosti u prostoru u koji se ulazi s dozvolom.</li> <li>• Koordinirati operacije ulaznja u prostor u koji se ulazi s dozvolom kada postoji</li> </ul>





	<p>više "poslodavaca koji ulaze".</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koordinirati operacije u slučajevima kada se dozvoli ulazak u prostor tijekom drugih aktivnosti na gradilištu koje mogu stvoriti opasnost u prostoru u koji se ulazi s dozvolom</li> </ul>
<p>"Poslodavac domaćin" (Samo jedan - koji je vlasnik imovine na kojoj se odvijaju radovi ili onaj s kojim je vlasnik ugovorio upravljanje s njegovom imovinom)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Podijeliti informacije o opasnostima u svezi s prostorom u kojeg se ulazi s dozvolom s "nadzireteljem izvođača".</li> </ul>

Ni kod nas radnici ne smiju ulaziti i raditi u ograničenom i skučenom prostoru bez dozvole koju im daje poslodavac (samo onima koji imaju liječničko uvjerenje da su sposobni raditi na poslovima definiranim Pravilnikom o poslovima s posebnim uvjetima rada). Dozvolu za rad u takvom prostoru izrađuju voditelj radova, poslovođa i osposobljeni radnici, nakon pregleda i kategorizacije prostora, na temelju procjene opasnosti [2]. Ta dozvola se uvijek odnosi na točno određenog radnika (nije prenosiva na nekog drugoga) i točno određeni prostor. Ako radni zadatak nije obavljen u planiranom vremenu, radnici moraju dobiti novu dozvolu za ponovni ulaz i rad u predmetnom prostor. U dozvoli su osim vrste i lokacije prostora i imena i prezimena radnika, navedeni i odgovorna osoba koja nadzire radni proces, radni zadaci koje treba obaviti te opasnosti i štetnosti koje postoje, Također, pišu i mjere poduzete prije ulaska (provjetranje, ventilacija, grijanje i dr.), dogovoreni način komunikacije i popis osobne zaštitne opreme, detektora i radne opreme. U dozvoli radnik potpisuje da je razumio radni zadatak i mjere zaštite [9].

Izvođač je dužan osigurati i održavati ispravnu, za rad prilagođenu, sigurnu radnu opremu (za vrijeme rada ne smije ugrožavati sigurnost i zdravlje radnika), kao i svu potrebnu zaštitnu opremu, koja mora odgovarati radnicima i radnim zadacima. Za radove u ograničenim i skučenim prostorima najčešće se od osobne zaštitne opreme koristi kacige, zaštitne naočale ili vizire, zaštitu dišnih puteva (maske), antifone ili čepiće za uši, zaštitne rukavice, cipele ili čizme sa zaštitom, opremu za zaštitu od pada s visine (sigurnosni pojas) itd.

Radnici se nikad ne smiju osloniti na vlastiti osjećaj kod provjere atmosfere u ograničenom prostoru, jer mnoge opasne plinove i pare ne bi mogli na vrijeme primijetiti [15], nego se moraju koristiti ispravno kalibrirani mjerni instrumenti - indikatori (detektori s alarm sustavom).

U prostorima u kojima postoji električna vodljivost potrebno je koristiti svjetiljke i radnu elektroopremu sa sigurnosnim naponom od 25 V izmjenične struje ili 60 V istosmjernje struje. Zbog zaštite od udara električne struje poželjno je za vrijeme rada u skučenom i ograničenom prostoru isključiti opskrbu električnom energijom [16].

Treba izolirati onečišćenja i pokretne dijelove i spriječiti slučajno unošenje materijala (npr. pare, vode ili rasutih materijala, kroz cjevovode, kanale, ventilacijske otvore i sl.). U skladu s procjenom rizika treba osigurati ograničen prostor od iznenadnog pokretanja / oslobađanja energije ili radnih medija. (Primjenom *Lock-out Tag-out* sustava sprječava se neželjena otpuštanja opasne energije pri održavanju, pokretanju, zaustavljanju, čišćenju, kontroli i ostalim zahvatima na radnoj opremi i električnim i drugim instalacijama te se osigurava

visoka razina sigurnosti svih radnika i sprječava nastanak štete na radnoj opremi i instalacijama.)

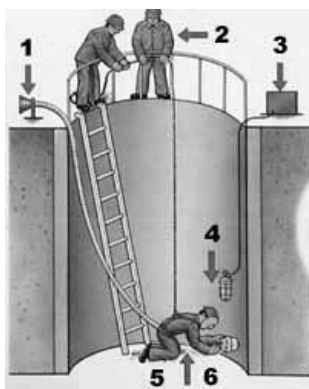
Da atmosfera ne bi postala zapaljiva zbog prevelike koncentracije kisika prostor se ne smije prozračivati s čistim kisikom nego samo sa zrakom. Ako prirodna ventilacija nije dovoljna, prozračivanje zatvorenih prostora može biti s mehaničkom opskrbom čistim vanjskim zrakom i ispuhom zraka iz njega (u većini slučajeva su za ventilaciju raznih spremnika i sličnih prostora potrebna fleksibilna crijeva i ventilatori visokog pritiska) ili prozračivanje samo zone disanja radnika (dotok čistog zraka ispod maske) [17]. Ako se prostor ne može ventilirati (primjerice kada se atmosfera zagađuje od rada koji se obavlja, kao što je pri uklanjanju mulja i nanošenju opasnih premaza) radnicima je potreban aparat za samostalno disanje ili respirator s dovodom zraka.

Kod ograničenog prostora postavljaju se potrebni znakovi upozorenja, opasnosti i zabrana, crvena traka i ime i prezime odgovornih osoba, službeni telefon poslovođe i nadzornika radova u ograničenom prostoru [5].

Prije samog ulaska u ograničeni i skućeni prostor dobro je imati kontrolnu listu da se vidi da li je napravljeno, odnosno pripremljeno i uzeto sve što je potrebno.

Osnovno pravilo koje vrijedi za rad u ograničenim i skućenim prostorima je: Nikad sam i bez nadzora. Osoba određena za pratitelja nadzire radnike (nalazi se neposredno uz ulaz/izlaz) koji rade u ograničenom i skućenom prostoru i mora neprekidno imati vizualni ili neki drugi kontakt s njima. Zato treba postojati pouzdan sustav komunikacije putem glasa, radija, ručnih signala ili dr [4]. Nadzornik ne smije paralelno imati ni jedan drugi zadatak. Nipošto ne smije ulaziti u ograničeni i skućeni prostor (prije dolaska ekipe za spašavanje) i mora znati koga pozvati u slučaju incidentne situacije [15].

Ruska pravila za obavljanje poslova zavarivanja unutar bubnjeva kotlova i spremnika dodjeljuju najmanje dvije osobe izvan njih za nadzor zavarivača i njegovo osiguravanje sa spasilačkim užetom [17] (pokazano na slici 4).



**Slika 4.** Zavarivanje u ograničenom prostoru (1- prijenosni ventilacijski agregat, 2 - promatrači koji nadziru, 3 - izvor napajanja, 4 - rasvjetna lampa, 5 - spasilačko uže, 6 - zavarivač) [17]

Vrijeme provedeno u skućenim uvjetima, kao i trajanje odmora, određuje osoba koja je izdala dozvolu, ovisno o uvjetima i prirodi rada. Za vrijeme dužeg sjedećeg rada, a pogotovo kada su radnici prisiljeni raditi u neugodnim, neprirodnim položajima (nekada im može



pomoći tronožac), potrebne su stanke za odmor i izvođenje posebnih fizičkih vježbi koje poboljšavaju cirkulaciju krvi u tijelu [18]. Češći i duži odmori potrebni su i kod izvođenja radova na vrućini ili hladnoći.

U slučaju problema koji prijete da radnici budu ozlijeđeni, nadzornik procjenjuje razinu rizika i odlučuje o pokretanju plana evakuacije i spašavanja. No, o prekidu rada zbog nastale opasnosti, nezgode i slično može donijeti odluku svaki radnik u ograničenom prostoru, kao i voditelj radova te osobe koje su vezane blizinom ili radom s ograničenim prostorima [2].

Nakon izlaska radnika iz skućenog i ograničenog prostora piše se izvješće, koje sadrži podatke o eventualnim novonastalim rizicima, promjenama i slično. Ako je došlo do izvanrednog prekida rada potrebno je opisati razloge i uzroke te što je poduzeto za otklanjanje opasnosti i nedostataka.

## 5. Zaključak

Radno mjesto nije nikada u potpunosti sigurno. Ne postoji nulti rizik, nego stanje u kojem je razina rizika prihvatljiva. Primjenom odgovarajućih i pravovremenih mjera ZNR, prije ulaska u ograničeni i skućeni prostor i tijekom rada u njemu, rizik pri radu mora se dovoljno sniziti. Zato je potrebno upravljanje rizicima kroz definiranje osnovnih i posebnih mjera za njihovo uklanjanje, smanjivanje i kontrolu, sve do zaustavljanje radova, ako je to nužno.

Osim s humane strane, izbjegavanje ozljeda i oboljenja radnika je važno i zbog direktnih i indirektnih troškova koje to stvara. Osim izbjegavanja tih troškova, ulaganje u sigurnost se višestruko vraća kroz veće zadovoljstvo radnika i posljedično veću produktivnost [19, 20].

Za sigurnost radnog mjesta od presudne važnosti su pripremne aktivnosti, a za izbjegavanje ozljeda i oboljenja od postojećih opasnosti sposobnost i spremnost radnika. Sposobnosti proizlaze iz tehničkih vještina stečenih obrazovanjem i iskustvom u praksi i daljnjim (cjeloživotnim) obučavanjem i uvježbavanjem, a ovisi i o zdravstvenom i psihičkom stanju radnika koje se mora redovito kontrolirati. Pokazalo se da spremnosti za siguran način rada dobro pomaže upoznavanje radnika s opasnostima i načinima njihovog izbjegavanja neposredno prije obavljanja posla (*Toolbox talk*).

Uz to je potrebna i voljnost radnika da rade na siguran način, čemu doprinosi način rukovođenja (davanje primjera pravilnog ponašanja i podupiranje sigurnog rada od nadređenih). Treba razvijati kulturu sigurnog načina rada i *kaizen* strategiju u organizaciji proširiti i na ZNR. To znači težiti svakodnevnim poboljšanjima sigurnosti kroz male korake na svim razinama organizacije.

No, koliko je moguće treba usvajati i tehnološki napredna rješenja koja smanjuju opasnosti za radnike. Zbog znanja i opreme koje zahtijevaju radovi u ograničenim i skućenim prostorima treba razmotriti da ih se prepusti specijaliziranim tvrtkama sa specijaliziranim resursima za takve poslove.

## 6. Literatura

- [1] Occupational health and safety code 2009: Explanation Guide. Part 5. Kanada: Alberta government, 3<sup>rd</sup> edition, 2009.
- [2] Vodič za siguran rad u skućenim prostorima. Zagreb: Ministarstvo rada i mirovinskog



sustava RH, 2019.

- [3] Protecting Construction Workers in Confined Spaces: Small Entity Compliance Guide. Occupational Safety and Health Act. SAD: Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 3825-09 2015
- [4] Confined spaces: planning entry and working safely in a confined space - Quick guide. Novi Zeland government: Worksafe Mahi Haimaru Aotearoa, 2020.
- [5] Toromanović, Husein. Dobra praksa i iskustvo rada u ograničenim prostorima iz Inozemstva // *Prezentacija na stručnom skupu Mjere zaštite na radu pri korištenju električne opreme u vlažnim i skučenim prostorima* / Ministarstvo rada i mirovinskoga sustava i Hrvatska udruga poslodavaca. Zagreb, 10. 07. 2019.
- [6] Pravilnik o zaštiti na radu na privremenim gradilištima // Narodne novine, 48(2018)
- [7] Pravilnik o zaštiti na radu za mjesta rada // Narodne novine, 29(2013)
- [8] Zakon o zaštiti na radu // Narodne novine, 71(2014), 118(2014), 94(2018) i 96(2018)
- [9] Rad u skučenim prostorima – smjernica dobre prakse. Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu. Zagreb [http://www.hzzzsr.hr/wp-content/uploads/2016/11/Skuceni-prostor\\_06.06.pdf](http://www.hzzzsr.hr/wp-content/uploads/2016/11/Skuceni-prostor_06.06.pdf) (Pristup 3.7.2020.)
- [10] Pravilnik o izradi procjene rizika // Narodne novine, 112(2014) i 129(2019)
- [11] Brunčić, T.: Iskustva s izradom i sadržajima procjene rizika // Sigurnost i zaštita na radu, Kem. Ind. 65(2016) 3-4, 233-236.
- [12] Osnovne postavke procjene rizika. Nurnberg: European Agency for Safety and Health at Work, 2007.
- [13] Pravilnik o poslovima s posebnim uvjetima rada // Narodne novine, 5(1984)
- [14] Code of Practice for Working in Confined Spaces. Health and Safety Authority, Regulations 2001. (ISBN 978-1-84496-135-1)
- [15] Damjanović Dešić, Sonja; Šarić, Zlatko. Skučeni prostori – opasnosti i štetnosti za zdravlje radnika // Sigurnost, 59(2017), 1; 49-53. (ISSN 0350-6886)
- [16] Technical Advisory on Working Safely in Confined Spaces. Workplace Safety and Health Council, 2015 <https://www.yumpu.com/en/document/read/44065597/technical-advisory-for-working-safely-in-confined-spaces-workplace-> (Pristup 5.7.2020.)
- [17] Korončik, Denis Aleksejevič; Buljigin, Jurij Igorevič; Čerevan, Julija Sergejevna; Legkonogih, Aleksandr Nikolajevič; Gajdenko, Anatolij Leonidovič. Влияние фактора стеснённых условий на условий труда сварщиков. [https://donstu.ru/science/scientific\\_research/publ%20.pdf](https://donstu.ru/science/scientific_research/publ%20.pdf) (Pristup 8.7.2020.)
- [18] Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями. RD 34.03.204, Ministarsvo energetike i elektrifikacije SSSR, 1985., odobreno 1996.
- [19] Joseph, A. J. Safety costs money and can save money // *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference of CIB Working Commission W99. Implementation of Safety and Health on Construction Sites* / Singh, Amarjit; Hinze, Jimmie; Coble, Richard J. (ur.) Honolulu, Hawaii, 24-27.03.1999.
- [20] Improving Safety Can Save You Money. The Center for Construction Research and Training, Construction Safety Association of Ontario. 2001. <http://elcosh.org/document/1452/d000505/improving-safety-can-save-you-money.html> (Pristup 8.7.2020.)



## **Građevinske dozvole – analiza izdavanja na području države, županije i grada** ***Building permits - issuance analysis for the area of state, county and city***

**D. Obradović<sup>1,\*</sup>, L. Međurečan<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Osječko-baranjska županija, Upravni odjel za prostorno uređenje, graditeljstvo i zaštitu okoliša, Osijek, Hrvatska

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

### **Sažetak**

Kako bi se pristupilo gradnji, potrebna je pravomoćna građevinska dozvola. Građenje građevine prema izdanoj građevinskoj dozvoli preduvjet je za dobivanje uporabne dozvole. Građevinske dozvole izdaje Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine, upravno tijelo velikog grada, Grada Zagreba i županije nadležno za upravne poslove graditeljstva. Sustav „eDozvola“ omogućava da se građevinska dozvola izdaje po jedinstvenim procedurama na području cijele Republike Hrvatske, a brzina izdavanja dozvola ovisi o organiziranosti tijela koja ih izdaju. U radu će se ukratko dati opći dio o građevinskim dozvolama, a u glavnom dijelu rada napraviti će se analiza izdavanja građevinskih dozvola za područje Republike Hrvatske, Osječko-baranjsku županiju i područje grada Donjeg Miholjca s prigradskim naseljima i pripadajućim općinama. Analiza će se napraviti za razdoblje od 2005. do kraja 2019. godine. Usporedit će se trend izdavanja građevinskih dozvola za navedena tri područja i dati komentar. Također, pokušat će se istražiti postoji li korelacija izdavanja građevinskih dozvola s registriranom nezaposlenosti i prosječnom mjesečnom isplaćenom neto plaćom po zaposlenome u pravnim osobama.

**Ključne riječi:** građevina, građevinska dozvola, postupak rješavanja, trend, zakonska regulativa

### **Abstract**

In order to begin construction, a valid building permit is required. Construction of a building according to the issued building permit is a prerequisite for obtaining a Certificate of Occupancy. Building permits are issued by the Ministry of Physical Planning, Construction and State Assets the governing body of the big city, the City of Zagreb and the county in charge of administrative construction work. The eDozvola (e-Permit) system allows a building certificate to be issued according to unique procedures throughout the entire territory of the Republic of Croatia, and the speed of issuing the permit depends on the





organization of the issuing bodies. The paper will briefly present a general section on building permits, and the main part will analyze the issuance of building permits for the territory of the Republic of Croatia, Osijek-Baranja County and the area of the town of Donji Miholjac with suburban settlements and associated municipalities. The analysis will be made for the period from 2005 to the end of 2019. The trend of issuing building permits for these three areas will be compared and commented. Moreover, an attempt will be made to investigate whether there is a correlation between the issuance of building permits with registered unemployment and the average monthly paid off net earnings per person in paid employment in legal entities.

**Key words:** building, Building permit, dispute resolving procedure, trend, regulations

## 1. Uvod

Građenju građevine može se pristupiti na temelju pravomoćne građevinske dozvole, a graditi se mora u skladu s tom dozvolom, ako Zakonom o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19) ili propisom donesenim na temelju Zakona o gradnji nije drukčije propisano [1].

Zahtjev za izdavanje građevinske dozvole podnosi investitor, a potrebno ga je uputiti Ministarstvu, nadležnom upravnom tijelu velikog grada, Grada Zagreba ili županije, nadležnom za upravne poslove graditeljstva ovisno o mjestu gdje se planira gradnja, odnosno rekonstrukcija građevine. Kako bi se omogućilo izdavanje građevinske dozvole, između ostalih dozvola i upravnih/neupravnih akata, uspostavljen je sustav „eDozvola“ koji sadrži jedinstvene procedure na području cijele Republike Hrvatske. Podnositelji zahtjeva putem sustava „eDozvola“ mogu elektronički ispuniti sve potrebne podatke, omogućeno je dodavanje priloga i projekata te se u svakom trenutku može vidjeti u kojoj je fazi rješavanje zahtjeva [2].

Građevinska dozvola je oduvijek bila potrebna i o tome svjedoče primjerci dozvola iz arhive iz pedesetih godina prošlog stoljeća. Poznato je da građevinska dozvola treba u raznim slučajevima. Građevina izgrađena bez građevinske dozvole, kao i građevina za koju se vodi postupak obustave građenja ili uklanjanja građevine prema posebnom zakonu ne smije se priključiti na komunalne vodne građevine. Građevinska dozvola nije dokaz vlasništva i nema pravnih učinaka na vlasništvo te druga stvarna prava na nekretnini za koju je izdana i ne predstavlja pravnu osnovu za ulazak u posjed nekretnine [1].

Zahtjevu za izdavanje građevinske dozvole za koju se prema posebnom zakonu ne izdaje lokacijska dozvola investitor prilaže:

1. glavni projekt u elektroničkom obliku
2. ispis glavnog projekta ovjeren od projektanata i glavnog projektanta ako je u njegovoj izradi sudjelovalo više projektanata
3. Iskaznicu energetskih svojstava zgrade u elektroničkom obliku, potpisanu elektroničkim potpisom
4. ispis Iskaznice energetskih svojstava zgrade ovjerene od projektanata i glavnog projektanta ako je u njezinoj izradi sudjelovalo više projektanata



5. pisano izvješće o kontroli glavnog projekta, ako je kontrola propisana
6. potvrdu o nostrifikaciji glavnog projekta, ako je projekt izrađen prema stranim propisima
7. dokaz pravnog interesa za izdavanje građevinske dozvole
8. dokaz da može biti investitor (koncesija, suglasnost ili drugi akt propisan posebnim propisom) ako se radi o građevini za koju je posebnim zakonom propisano tko može biti investitor i
9. dokaz da je vlasnik građevinskog zemljišta ispunio svoju dužnost prijenosa dijela zemljišta u vlasništvo jedinice lokalne samouprave, odnosno dužnosti sklapanja ugovora o osnivanju služnosti provoza i/ili prolaza, propisane posebnim zakonom kojim se uređuje prostorno uređenje, ako takva dužnost postoji [1,2]

i to ukoliko je zahtjev za izdavanje građevinske dozvole podnesen nakon izmjena i dopuna Zakona o gradnji koje su stupile na snagu 25. travnja 2019. godine.

Ako je zahtjev podnesen prije izmjena Zakona o gradnji (prije prethodno naznačenog datuma), onda investitor prilaže:

1. tri primjerka glavnog projekta
2. izjavu projektanta da je glavni projekt izrađen u skladu s prostornim planom i drugim propisima u skladu s kojima mora biti izrađen
3. pisano izvješće o kontroli glavnog projekta (ako je kontrola propisana)
4. potvrdu o nostrifikaciji glavnog projekta (ako je projekt izrađen prema stranim propisima)
5. potvrde javnopravnih tijela da je glavni projekt izrađen u skladu s posebnim propisima, odnosno posebnim uvjetima i/ili dokaz da je podnio zahtjev za izdavanje tih potvrda, odnosno utvrđivanje tih uvjeta ako iste nisu izdane u roku propisanom ovim Zakonom
6. potvrdu javnopravnog tijela da je glavni projekt izrađen u skladu s rješenjem o prihvatljivosti zahvata za okoliš (ako se radi o zahvatu u prostoru za koji se prema posebnim propisima provodi postupak procjene utjecaja zahvata na okoliš i/ili ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu)
7. dokaz pravnog interesa za izdavanje građevinske dozvole
8. dokaz da može biti investitor (koncesija, suglasnost ili drugi akt propisan posebnim propisom), ako se radi o građevini za koju je posebnim zakonom propisano tko može biti investitor
9. dokaz da je vlasnik građevinskog zemljišta ispunio svoju dužnost prijenosa dijela zemljišta u vlasništvo jedinice lokalne samouprave, odnosno dužnosti sklapanja ugovora o osnivanju služnosti provoza i/ili prolaza, propisane posebnim zakonom kojim se uređuje prostorno uređenje, ako takva dužnost postoji [1, 2].

Za izdavanje građevinske dozvole, rješenja o izmjeni i/ili dopuni građevinske dozvole, osim u pogledu promjene imena, odnosno tvrtke investitora i građevinske dozvole za



rekonstrukciju građevine plaćaju se sljedeći iznosi (osim u slučajevima kada je investitor jedinica lokalne samouprave):

1. građevine za koje pojedine dozvole izdaje ministarstvo nadležno za poslove graditeljstva od procijenjenih troškova građenja 0,17‰, s time da iznos upravne pristojbe ne može biti manji od 14.000,00 kuna,
2. građevine za koje se prema posebnim propisima posebni uvjeti utvrđuju u postupku procjene utjecaja na okoliš i u postupku ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu, osim građevina iz točke 1. ovoga stavka, od procijenjenih troškova građenja 0,17‰, s time da iznos upravne pristojbe ne može biti manji od 12.000,00 kuna,
3. zgradu koja nije veća od 600 m<sup>2</sup> građevinske (bruto) površine 800,00 kuna,
4. ostale građevine od procijenjenih troškova građenja 0,25‰, s time da iznos upravne pristojbe ne može biti manji od 1.000,00 kuna [3].

Građevinska dozvola prestaje važiti ako investitor ne pristupi građenju u roku od tri godine od dana pravomoćnosti dozvole. Važenje građevinske dozvole može se produžiti na zahtjev investitora jednom za tri godine ako se nisu promijenili uvjeti za provedbu zahvata u prostoru određeni prostornim planom. U tom razdoblju investitor je dužan formirati građevnu česticu te osam dana prije početka građenja tijelu graditeljstva pisano prijaviti početak građenja [1, 2]. Svi uvjeti za izdavanje građevinske dozvole, obuhvat i sadržaj građevinske dozvole, stranke u postupku te rok za dovršenje zgrade propisani su Zakonom o gradnji te se ovdje neće navoditi. Fokus ovog rada je stavljen na analizu izdavanja građevinskih dozvola te istraživanje korelacije izdavanja građevinskih dozvola, registrirane nezaposlenosti i prosječne mjesečne isplaćene neto plaće po zaposlenome u pravnim osobama.

## **2. Analiza izdavanja građevinskih dozvola na području Republike Hrvatske, Osječko-baranjske županije i Grada Donjeg Miholjca**

### **2.1. Površine i broj stanovnika po područjima**

Republika Hrvatska ima površinu od 56 594 km<sup>2</sup>, a broji 4 284 889 stanovnika [4].

Osječko-baranjska županija smještena je u sjeveroistočnom dijelu Republike Hrvatske u Panonskom prostoru i prostire na površini od 4 152 km<sup>2</sup> [5]. Prema zadnjim službenim podacima (popis stanovništva iz 2011. godine) na području Županije živi 305 032 stanovnika [4, 5].

Grad Donji Miholjac ima površinu od 154 km<sup>2</sup>, a osim grada obuhvaća i šest prigradskih naselja: Sveti Đurađ, Podgajce Podravske, Rakitovicu, Miholjački Poreč, Radikovce i Golinice, a sveukupno ima 10 265 stanovnika [6]. Također, Donji Miholjac obavlja upravne i stručne poslove za područje Grada Donjeg Miholjca s prigradskim naseljima te općinama: Magadenovac, Marijanci, Podravska Moslavina i Viljevo [7]. Ukupna površina Grada Donjeg Miholjca s prigradskim naseljima i četiri općine (Magadenovac, Marijanci, Podravska Moslavina i Viljevo) iznosi 485 84 km<sup>2</sup>, a ukupan broj stanovnika iznosi 17 849 [8].

Sve gore navedeno je pregledno prikazano u tablici 1.

**Tablica 1.** Podatci o površini i broju stanovnika Republike Hrvatske, Osječko-baranjske županije i Grada Donjeg Miholjca s pripadajućim naseljima i općinama [4, 5, 9-13]

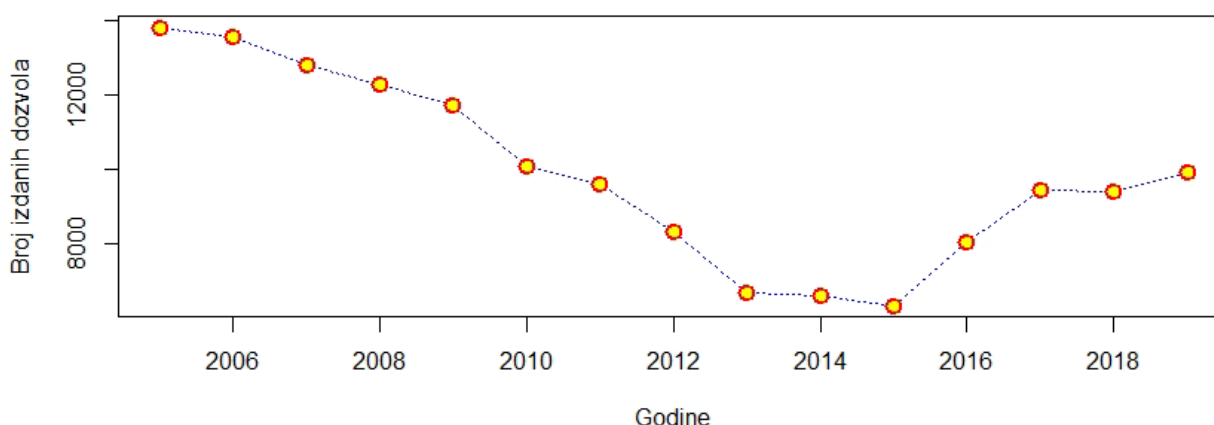
Naziv područja	Površina [km <sup>2</sup> ]	Broj stanovnika
Republika Hrvatska	56 594	4 284 889
Osječko-baranjska županija	4 152	305 032
Grad Donji Miholjac	154	10 265
Općina Magadenovac	112,06	1 928
Općina Marijanci	66	2 405
Općina Podravska Moslavina	42	1 186
Općina Viljevo	111,78	2 065

## 2.2. Analiza izdavanja građevinskih dozvola po područjima

Broj izdanih građevinskih dozvola za područje Republike Hrvatske, Osječko-baranjsku županiju i područje grada Donjeg Miholjca s prigradskim naseljima (Golinci, Miholjački Poreč, Podagajci Podravski, Rakitovica, Radikovci i Sveti Đurađ) i pripadajućim općinama (Magadenovac, Marijanci, Podravska Moslavina i Viljevo) je pregledno prikazan na Slikama 1. do 3.

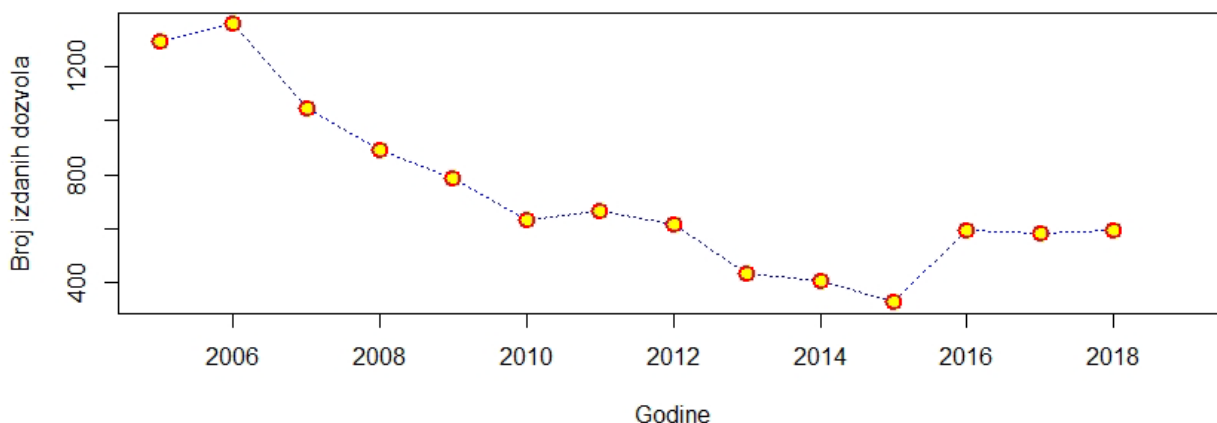
Izdane građevinske dozvole za Donji Miholjac su dane zbirno za sva prigradska naselja i općine jer Upravni odjel u Donjem Miholjcu izdaje građevinske dozvole za sva ta područja i vodi zbirnu evidenciju za to područje rada.

**Izdavanje građevinskih dozvola u Republici Hrvatskoj od 2005. do 2019. godine**



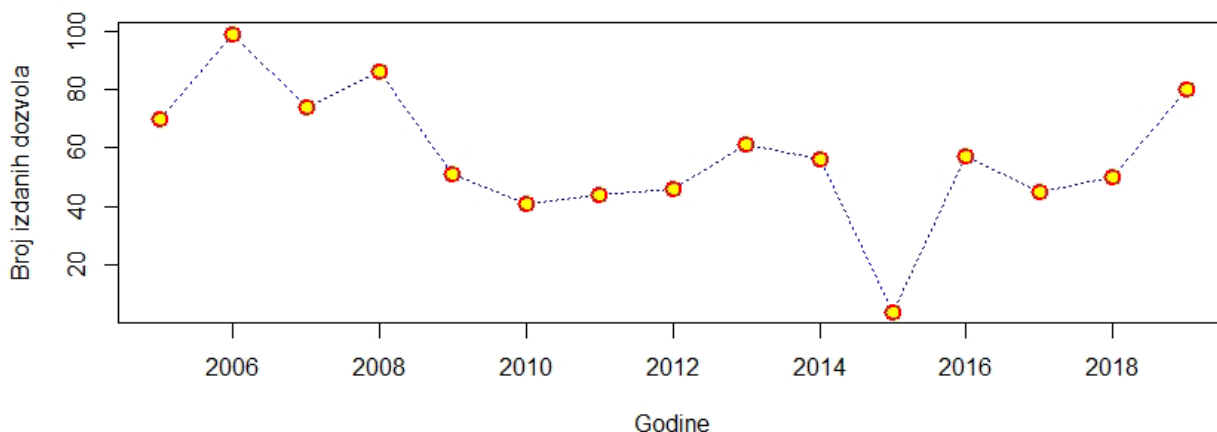
**Slika 1.** Izdavanje građevinskih dozvola u Republici Hrvatskoj [prema 14]

### Izdavanje građevinskih dozvola u Osječko-baranjskoj županiji od 2005. do 2019. godine



**Slika 2.** Izdavanje građevinskih dozvola u Osječko-baranjskoj županiji [prema 14]

### Izdavanje građevinskih dozvola u Donjem Miholjcu od 2005. do 2019. godine



**Slika 3.** Izdavanje građevinskih dozvola u Donjem Miholjcu

Isti oblik grafova je za područje Republike Hrvatske i Osječko-baranjske županije, dok je za područje Donjeg Miholjca malo drugačiji, ali karakteristične točke su iste. U promatranom razdoblju najviše građevinskih dozvola izdalo se 2006. godine, a najmanje je bilo 2015. godine.

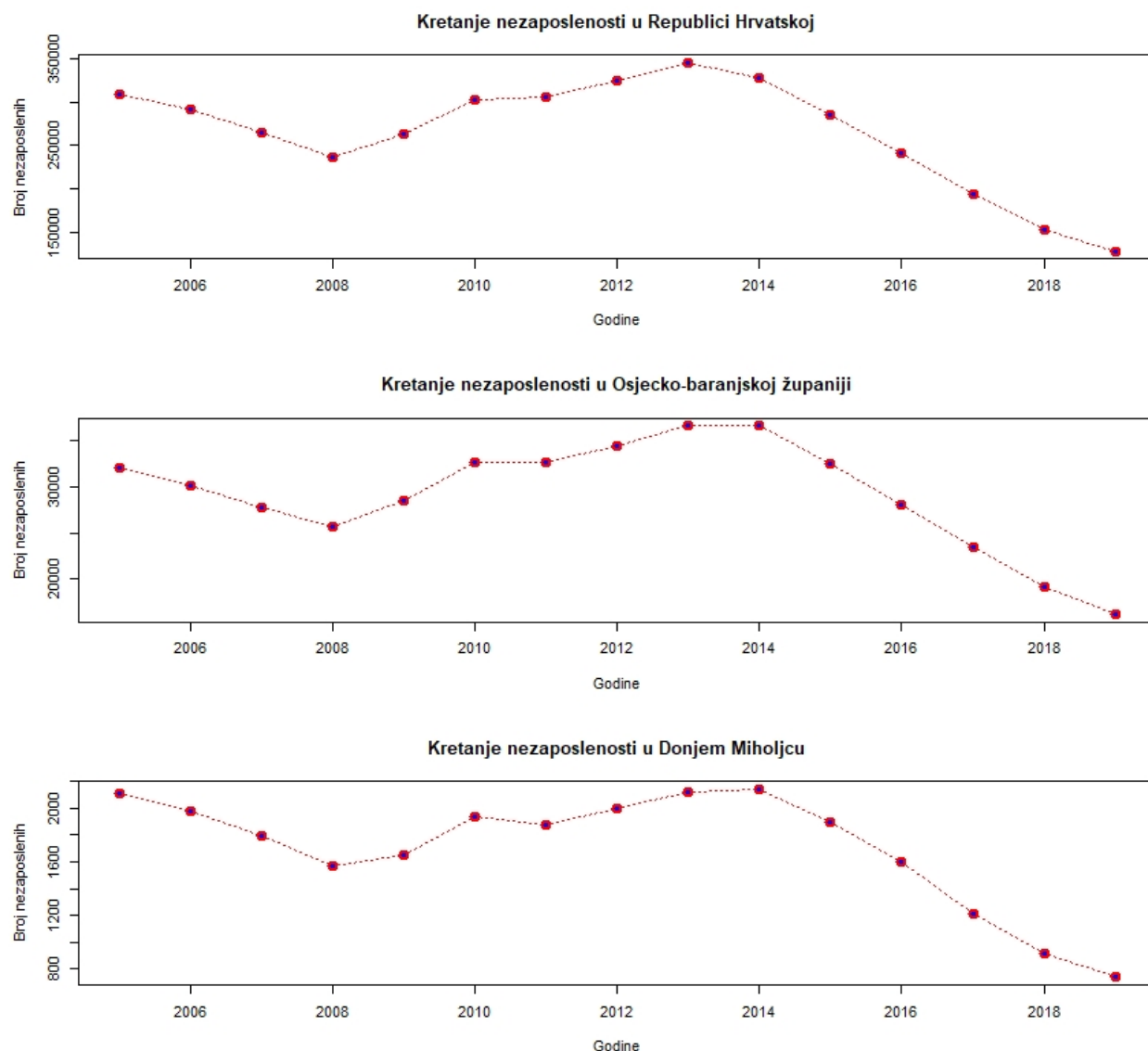
Na području Republike Hrvatske vidi se silazni trend od 2005. do 2015. godine te nakon toga počinje rasti. Slično se vidi na području Osječko-baranjske županije, ali uz razliku što od 2015. nije izražen rast nego više stagnacija pa čak i malo opadanje u odnosu na 2016. godinu kada je zabilježen najveći porast od 2015. godine. Na području Donjeg Miholjca nije izražen neki posebni trend, ali od 2015. godine je velik porast u 2016. te u 2019. godini.



### 3. Korelacija broja građevinskih dozvola s registriranom nezaposlenosti i prosječnom mjesečnom neto plaćom

#### 3.1. Kretanje registrirane nezaposlenosti na tri promatrana područja

Na sljedeća tri grafa (slike) prikazano je kretanje registrirane nezaposlenosti na sva tri promatrana područja.



**Slika 4.** Kretanje registrirane nezaposlenosti na tri promatrana područja [izrađeno prema 15]

Pogledom na prethodno prikazana tri grafa (Slika 4.) vidljivo je da je kretanje trenda registrirane nezaposlenosti približno jednako za sva tri promatrana područja. Najveći broj nezaposlenih osoba je bio u 2013. i 2014. godini, a najmanji broj je bio u 2019. godini.

### 3.2. Određivanje korelacije izdavanja građevinskih dozvola i registrirane nezaposlenosti

**Tablica 2.** Korelacija izdavanja građevinskih dozvola na sva tri područja i registrirane nezaposlenosti na sva tri područja

Variable	Correlations (za plin 2020 analiza) Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=14 (Casewise deletion of missing data)		
	nezaposlenost RH	nezaposlenost OBŽ	nezaposlenost DM
dozvole RH	-0.171868	-0.343198	-0.057675
dozvole OBŽ	-0.000527	-0.170905	0.130469
dozvole DM	0.000634	-0.138325	0.082690

Analizom prikazanom u tablici 2. je pokazano da ne postoji statistički značajna korelacija između broja izdanih građevinskih dozvola na bilo koja od tri područja s registriranom nezaposlenosti na bilo koja od tri promatrana područja.

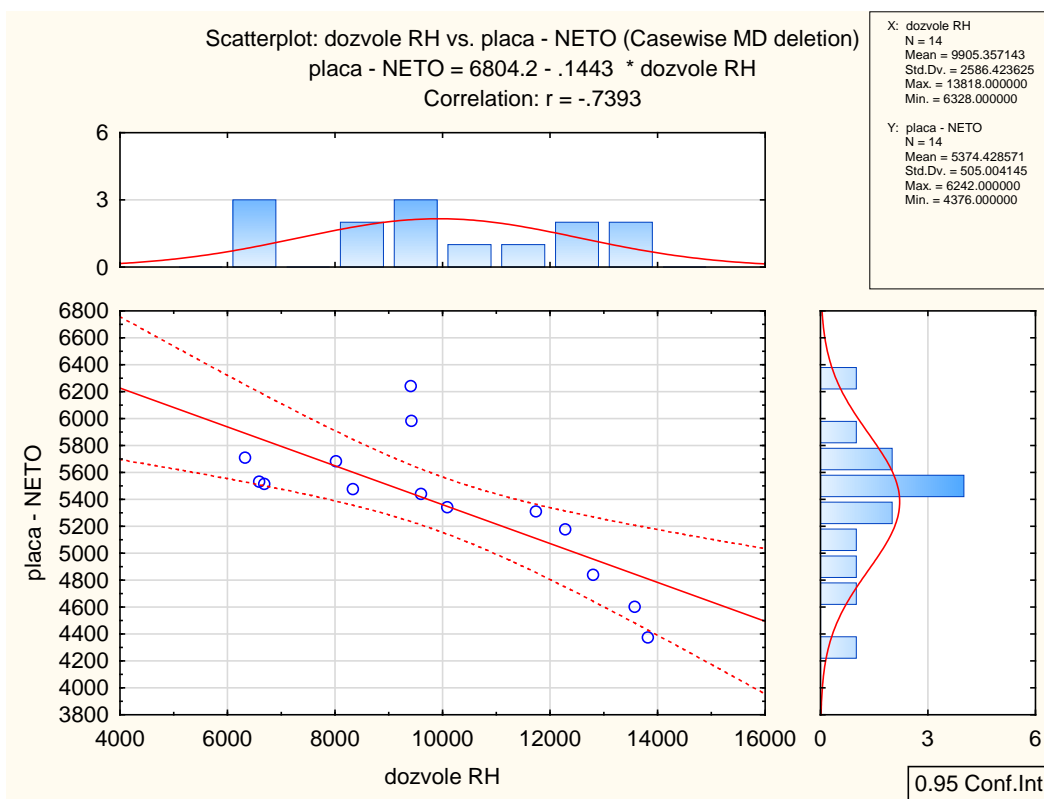
### 3.3. Određivanje korelacije izdavanja građevinskih dozvola i prosječne mjesečne neto plaće

**Tablica 3.** Korelacija izdavanja građevinskih dozvola na sva tri područja i prosječne mjesečne isplaćene neto plaće

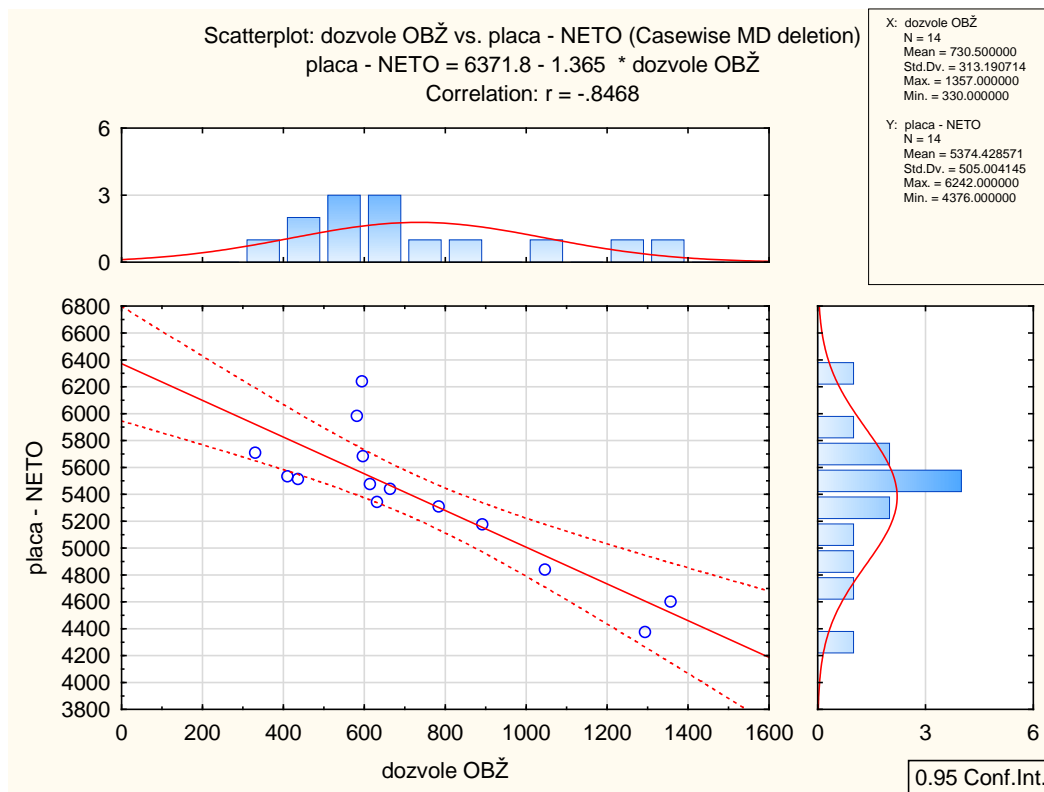
Variable	Correlations (za plin 2020 analiza) Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=14 (Casewise deletion of missing data)	
	placa - NETO	
dozvole RH	<b>-0.739290</b>	
dozvole OBŽ	<b>-0.846771</b>	
dozvole DM	<b>-0.620272</b>	

Analizom prikazanom u tablici 3. je pokazano da postoji statistički značajna korelacija između broja izdanih građevinskih dozvola na bilo koja od tri područja s prosječnom mjesečnom isplaćenom neto plaćom po zaposlenome u pravnim osobama.

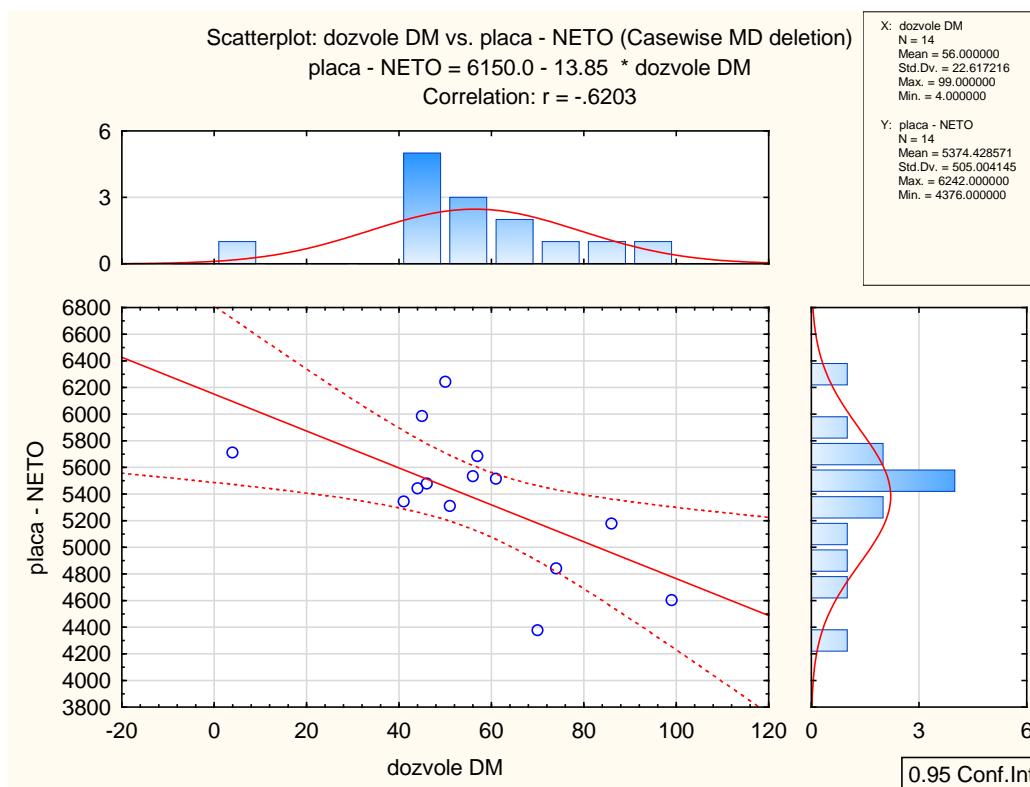
Navedene korelacije iz tablice 3. će u nastavku biti prikazane na dijagramima raspršenosti (Slike 5. do 7.)



Slika 5. Dijagram raspršenosti za izdane građevinske dozvole u Republici Hrvatskoj i prosječnu mjesečnu neto plaću



Slika 6. Dijagram raspršenosti za izdane građevinske dozvole u Osječko-baranjskoj županiji i prosječnu mjesečnu neto plaću



**Slika 7.** Dijagram raspršenosti za izdane građevinske dozvole u Donjem Miholjcu i prosječnu mjesečnu neto plaću

#### 4. Zaključak

Građevinska dozvola je zakonski obvezujući dokument, ukoliko Zakonom o gradnji ili propisom donesenim na temelju ovoga Zakona nije drukčije propisano, za gradnju te je oduvijek bila potrebna. Izdavanje građevinskih dozvola i ostalih akata je olakšano pomoću sustava „eDozvola“ koji sadrži jedinstvene procedure na području cijele Republike Hrvatske. Tim sustavom osigurana je ujednačena primjena pravila, postupaka izdavanja, praćenje izdavanja te vođenje svih potrebnih evidencija na svim nivoima. Također, podnositelji zahtjeva putem sustava „eDozvola“ mogu elektronički ispuniti sve potrebne podatke, omogućeno je dodavanje priloga i projekata te se u svakom trenutku može vidjeti u kojoj je fazi rješavanje zahtjeva.

Analizom sva tri grafa (Slike 1. do 3.) na kojima je prikazano kretanje izdavanja građevinskih dozvola na sva tri promatrana područja, vidljivo je da je trend izdavanja građevinskih dozvola za sva tri područja skoro isti. Nadalje, analizom sljedeća tri grafa (Slika 4.) vidljivo je da je kretanje registrirane nezaposlenosti približno jednako za sva tri promatrana područja. Najveći broj nezaposlenih osoba je bio u 2013. i 2014. godini, a najmanji broj je bio u 2019. godini.

Analizom korelacija utvrđeno je da ne postoji statistički značajna korelacija između broja izdanih građevinskih dozvola i registrirane nezaposlenosti, a postoji korelacija između broja



izdanih građevinskih dozvola na bilo koja od tri područja i prosječne mjesečne isplaćene neto plaće po zaposlenome u pravnim osobama.

## 5. Literatura

- [1] Narodne novine, Službeni list Republike Hrvatske, Zakon o gradnji, NN 153/13, 20/17, 39/19, Zagreb, 2013., 2017., 2019.
- [2] Središnji državni portal, Građevinska dozvola, <https://gov.hr/moja-uprava/stanovanje-i-okolis/izgradnja-i-obnova-kuce/gradjevinska-dozvola/338> (pristupljeno: 30.06.2020.)
- [3] Narodne novine, Službeni list Republike Hrvatske, Uredba o tarifi upravnih pristojbi, NN 8/17, 37/17, 129/17, 18/19, Zagreb, 2017., 2019.
- [4] Republika Hrvatska, Državni zavod za statistiku (DZS), [https://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/H02\\_02/H02\\_02.html](https://www.dzs.hr/Hrv/censuses/census2011/results/htm/H02_02/H02_02.html) (pristupljeno: 26.06.2020.)
- [5] Osječko-baranjska županija, Prostor, <http://www.obz.hr/index.php/prostor> (pristupljeno: 26.06.2020.)
- [6] Grad Donji Miholjac, <http://www.donjimiholjac.hr/polozej-grada>, (pristupljeno 14.07.2020.)
- [7] Ured državne uprave u Osječko-baranjskoj županiji, <http://www.udu-obz.hr/index.php/413>, (pristupljeno: 27.06.2019.)
- [8] Obradović, Dino; Teni, Mihaela; Međurečan, Livio. Problematika uporabnih dozvola za određene građevine – analiza odabranog područja // *Proceedings of 10th International natural gas, heat and water conference* / Raos, Pero (gl.ur.). (ISSN 1849-0638). Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 25.-27.09.2019., str. 210-218.
- [9] Grad Donji Miholjac, <http://www.donjimiholjac.hr/polozej-grada>, (pristupljeno 07.07.2020.)
- [10] Općina Magadenovac, <http://www.magadenovac.hr/>, (pristupljeno 09.07.2020.)
- [11] Općina Marijanci, <http://www.marijanci.hr/about/>, (pristupljeno 14.07.2020.)
- [12] Općina Podravska Moslavina, <http://www.podravskamoslavina.hr/opci-podaci/> (pristupljeno 07.07.2020.)
- [13] Općina Viljevo, <http://www.viljevo.hr/index.php/o-nama> (pristupljeno 20.07.2020.)
- [14] Republika Hrvatska, Državni zavod za statistiku (DZS), <https://www.dzs.hr/> (pristupljeno: 08.04.2020.)
- [15] Hrvatski zavod za zapošljavanje, Statistika, <https://statistika.hzz.hr/>, (pristupljeno: 08.04.2020.)
- [16] R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>
- [17] TIBCO® Statistica™, Version 13.3, URL: [https://docs.tibco.com/pub/stat/13.3.0/doc/pdf/TIB\\_stat\\_13.3\\_quick\\_ref.pdf?id=1](https://docs.tibco.com/pub/stat/13.3.0/doc/pdf/TIB_stat_13.3_quick_ref.pdf?id=1)





## **Seismic analysis of the support of steel hopper bottom silos**

**F. Orbán<sup>1,\*</sup>, Gy. Vasvári<sup>1</sup>, T. Zsebe<sup>1</sup>**

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

\* Corresponding Author. E-mail: [vasvari.gyula@mik.pte.hu](mailto:vasvari.gyula@mik.pte.hu)

### **Abstract**

The support of the steel hopper bottom silo is a square symmetrical portal frame. The easiest way to calculate the effect of an earthquake is by determining the horizontal force. The dead load multiplied by acceleration gives the static force. Some papers establish acceleration values for different earthquake scenarios, e.g. Gaylord (1984). According to Eurocode 8 (2008) static or dynamic analysis can be used for the seismic design. Linear design spectrum analysis is used when the first vibration mode determines the behaviour of structure and the natural vibration period  $T_n \leq 2$  sec. First the time period is calculated, for which there are some empirical data in the literature. There is a better approach for different structures, for example for frames (Chopra). If the dimensions of the structure are known, FEM gives a more precise value. In this paper we present an example for the design of the support of hopper bottom silos. First a predesign is developed for the dimensions of the support. In order to ease manufacturing we use equal square hollow sections (SHS) for beams and columns. Finally controlled calculations are made using FEM.

**Keywords:** Seismic analysis, vibration of SDOF ,frames

### **1. Introduction**

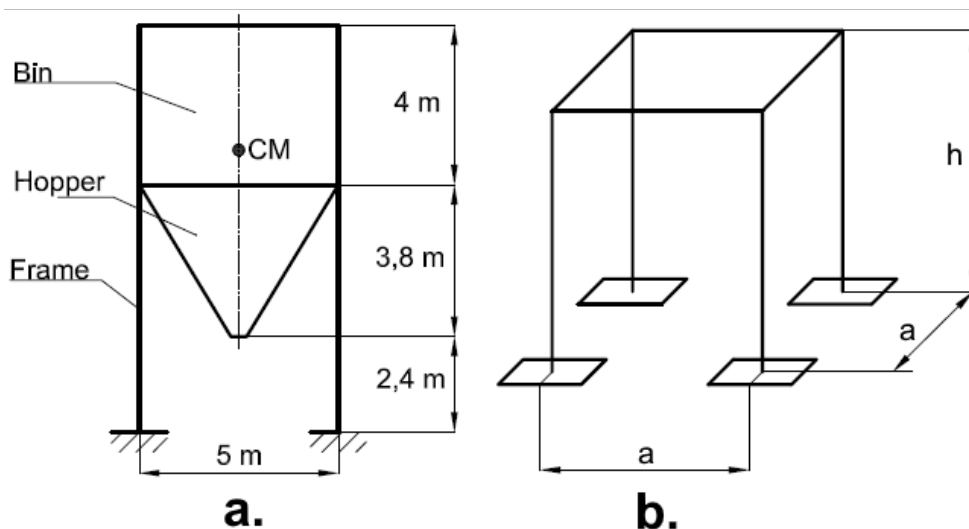
There are not too many earthquakes in Central Europe. A moderate earthquake is dangerous for industrial structures, e.g. tanks, water tower. Different studies deal with damage in multi-storey buildings. Only a few studies focus on industrial structures in spite of the fact that the economy and environmental damage is significant. Consider a square symmetrical portal frame shown in (Fig.1.) carrying a hopper bottom silo.

When designing the frame, loads are comprised self weight, weight of the stored material and earthquake effects.

Weight of the stored material is  $Q = \rho \cdot V \cdot g$

Volume of the hopper bottom silo is  $V = 135,92 \text{ m}^3$

Density of stored material is  $\rho = 1600 \text{ kg/m}^3$



**Figure 1. a.** Main dimensions of steel hopper bottom silo in m; **b.** supporting portal frame  
Taking the self weight into account, we increase the stored material weight with 10%

$$1,1 Q = 2346,74 kN$$

According to Gaylord [1] the effect of earthquake can be calculated.

The horizontal force is:

$$F_b = 0,2 \cdot Z \cdot Q$$

For moderate damage  $Z = 3/8$  thus

$$F_b = 0,2 \cdot \frac{3}{8} \cdot 2346,74 = 176 kN$$

This force is acting at height of centre of gravity.  $h_{CM} = 7,387 m$ .

Effect of this force for the frame is

$$F'_b = 176 \frac{7,387}{6,2} = 209,7 kN$$

Supporting portal frame structure with forces shown in (Fig.2.)

$$q = \frac{1,1 \cdot Q}{4 \cdot a} = 118,2 kN/m$$

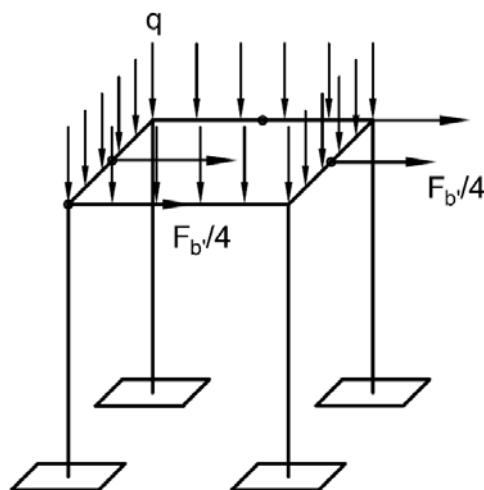


Figure 2. Portal frame with vertical and horizontal forces

## 2. Normal Forces and Bending Moments in Vertical Frames.[3]

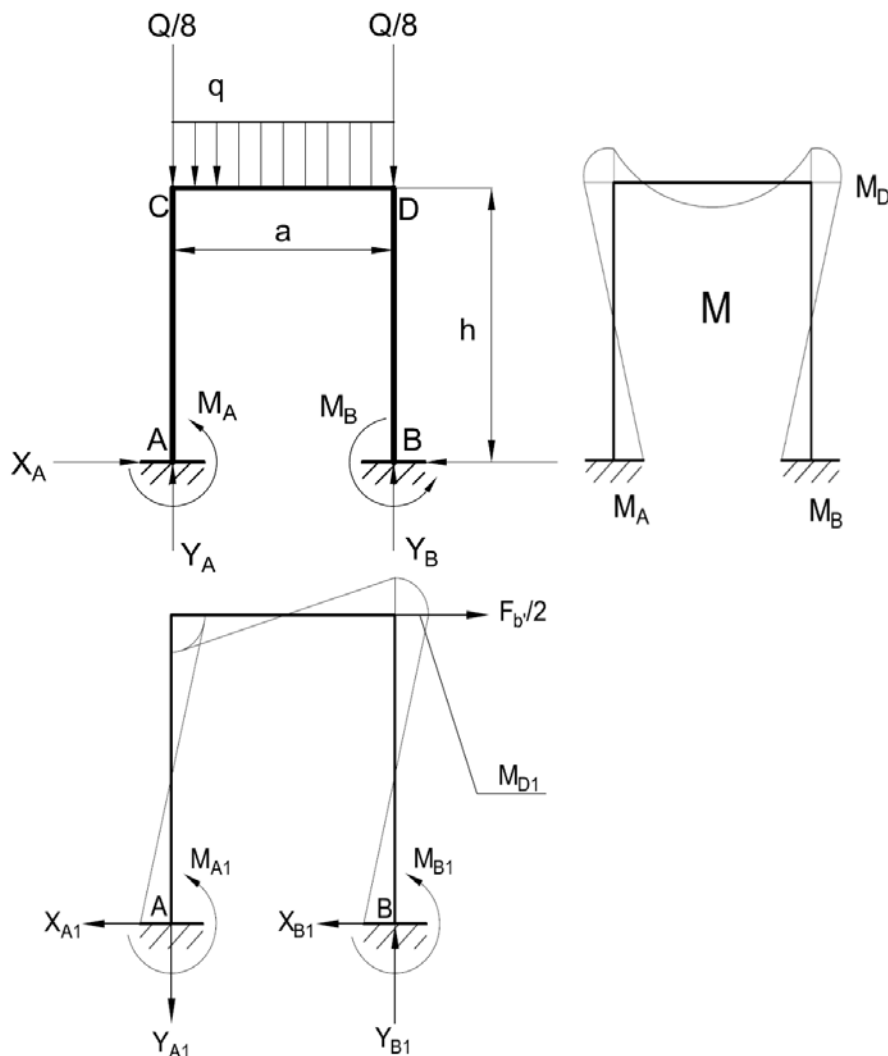


Figure 3. Diagrams for the bending moment

$$X_A = \frac{q \cdot a^3}{4(h^2 + 2ah)}$$

$$Y_A = \frac{Q}{8} + \frac{q \cdot a}{2}$$

$$M_A = \frac{qa^3}{12(h + 2a)}$$

$$X_{A1} = X_{B1} = \frac{F'_b}{4}$$

$$Y_{A1} = \frac{3h^2}{a^2 + 6 \cdot ah} \frac{F'_b}{2}$$

$$M_{A1} = \frac{3h^2 + ah}{12h + 2a} \frac{F'_b}{2}$$

Cross section of the frame is a square hollow section (SHS)

### 3. Stress Constraint for the columns.

According to Eurocode 3 for hollow section if the cross section class 3.

$$\frac{N}{\chi \cdot A \cdot f_y} + \frac{k_x \cdot M_D}{W_{el} \cdot f_y} + \frac{k_y (M_{D1} + M_D)}{W_{el} \cdot f_y} \leq 1$$

Dimension of SHS profile: 400 x 12. Structural material is steel of yield strength 235MPa.

$$\frac{646,2 \cdot 10^3}{0,924 \cdot 180 \cdot 10^2 \cdot 235} + \frac{0,9 \cdot 152 \cdot 10^3}{2216 \cdot 235} + \frac{0,9 \cdot 295,2 \cdot 10^3}{2216 \cdot 235} = 0,93 < 1$$

Control calculation of the horizontal beam where the bending moment is dominant.

$$M_{el \cdot Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M_0}} = 520,7 \text{ kNm}$$

$$M_{el \cdot Rd} > M_D + M_{D1} = 295,2 \text{ kNm}$$

### 4. Calculation of the seismic forces

According to Eurocode 8 [2]

$$F_b = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda$$

where  $S_d(T)$ , the ordinate of the design spectrum at period  $T$ ,  $m$ , the silo mass,  
 $\lambda$  correction factor

It is very important to determine the time of period.

There are some approximation to calculate the  $T$ , e.g.

$$T = C_1 \cdot H^{0,75}$$

$$C_1 = 0,085$$

$H$  – height of structure.

It is better to calculate according Chopra. [4] (Fig. 4.)

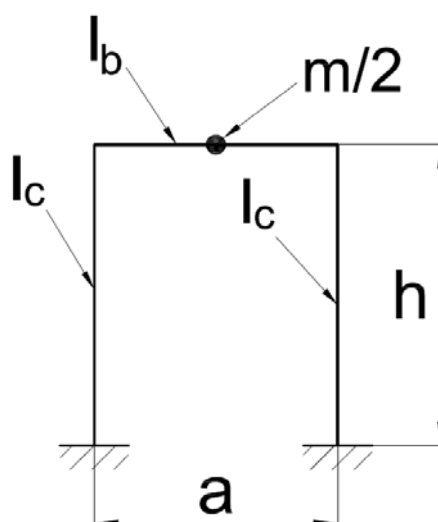


Figure 4. Frame

The lateral stiffness of such a frame:

$$k = \frac{24 \cdot E \cdot I_c}{h^3} \cdot \frac{12\rho + 1}{12\rho + 4} = 7882 \frac{kN}{m}$$

$$\rho = \frac{I_b \cdot h}{I_c \cdot a} = 1,24$$

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} = 0,739 \text{ sec}$$

Calculation with FEM,. gives better results.  $T = 0,792 \text{ s}$



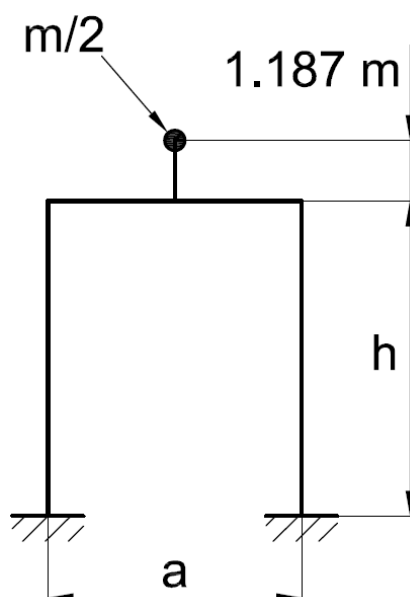


Figure 5. Vibration model

Values of the parameters describing the recommended Type 1 design response spectra are as follows: ground type C is selected,  $S = 1,15$ ,  $T_B = 0,2$ ,  $T_C = 0,6$ ,  $T_D = 2,0$

$$S_d = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} = 1,28 \frac{m}{s^2}$$

The behaviour factor is  $q=2$

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} = 0,8 \cdot 0,15g = 1,177 \frac{m}{s^2}$$

$$F_b = 1,28 \cdot 217,47 \cdot 10^3 \cdot 0,85 = 236,6 \text{ kN}$$

$$F'_b = 236,6 \cdot \frac{7,387}{6,2} = 282 \text{ kN}$$

The lateral force is bigger than horizontal force after previously defined. We choose a stronger hollow section, SHS 400 x 16 is correct.

We made control calculation with Geostar. Maximum stress is 169 MPa, maximum displacement from  $F_b$  is 8,3 mm. (Fig.6.)

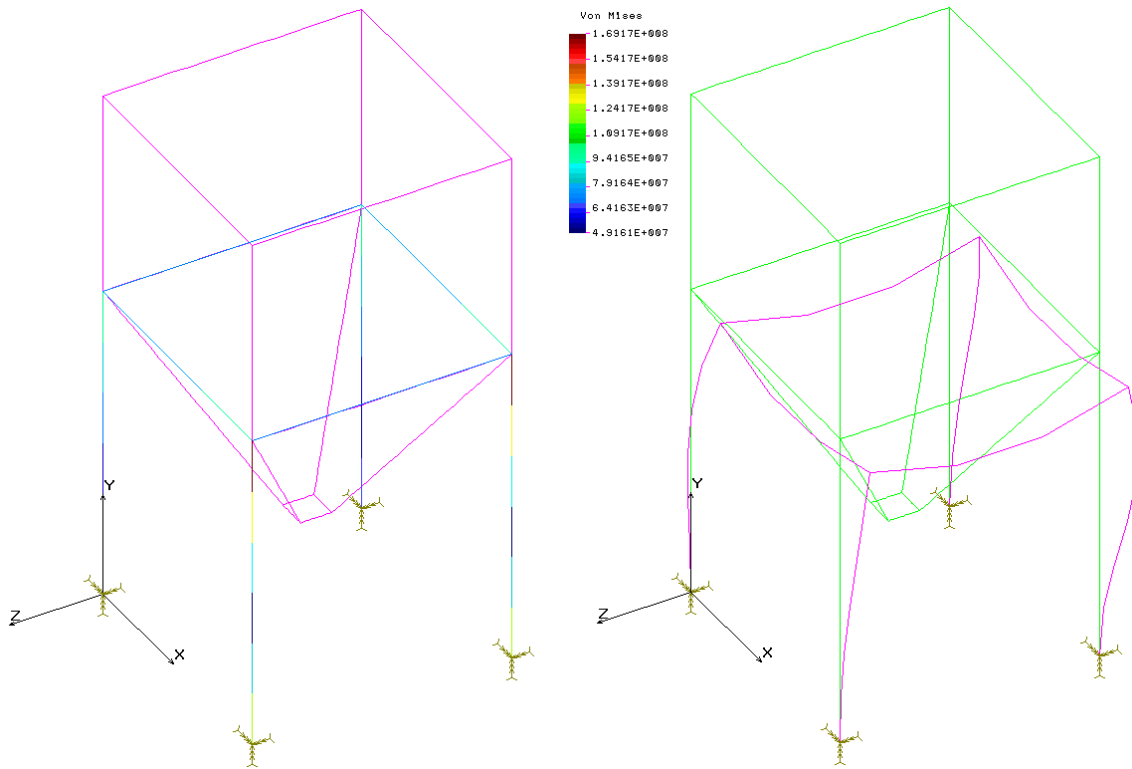


Figure 6. FEM results

### 5. X braced portal frame.

The calculation will change if we use X –braced portal frame. (Fig.7.)

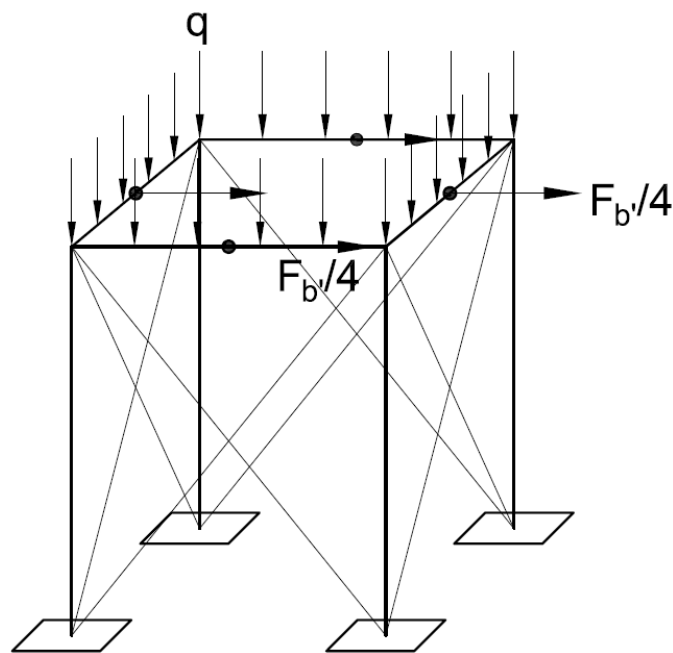
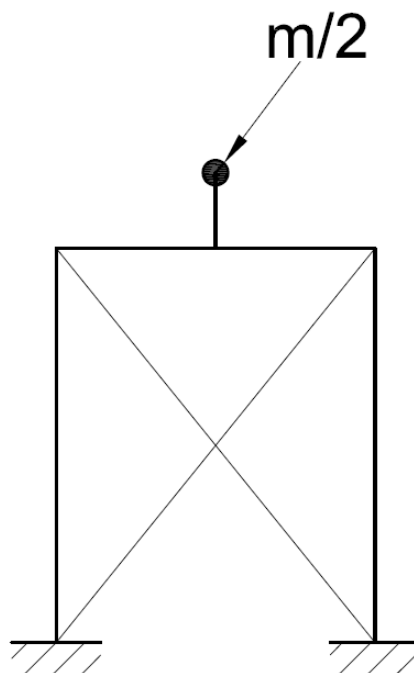


Figure 7. Supporting X-braced portal frame structure with vertical and horizontal forces.

First we determine the time of period  $T$ . The vibration model in this case according (Fig.8.)



**Figure 8.** Vibration model

If we use bracing the internal forces and reaction forces and moments will change.

When the dimension of frame SHS 300 x 16 and brace pipe Ø127 x 5 the time of period will be  $T = 0,502$  sec.

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 0,843 \frac{m}{s^2}$$

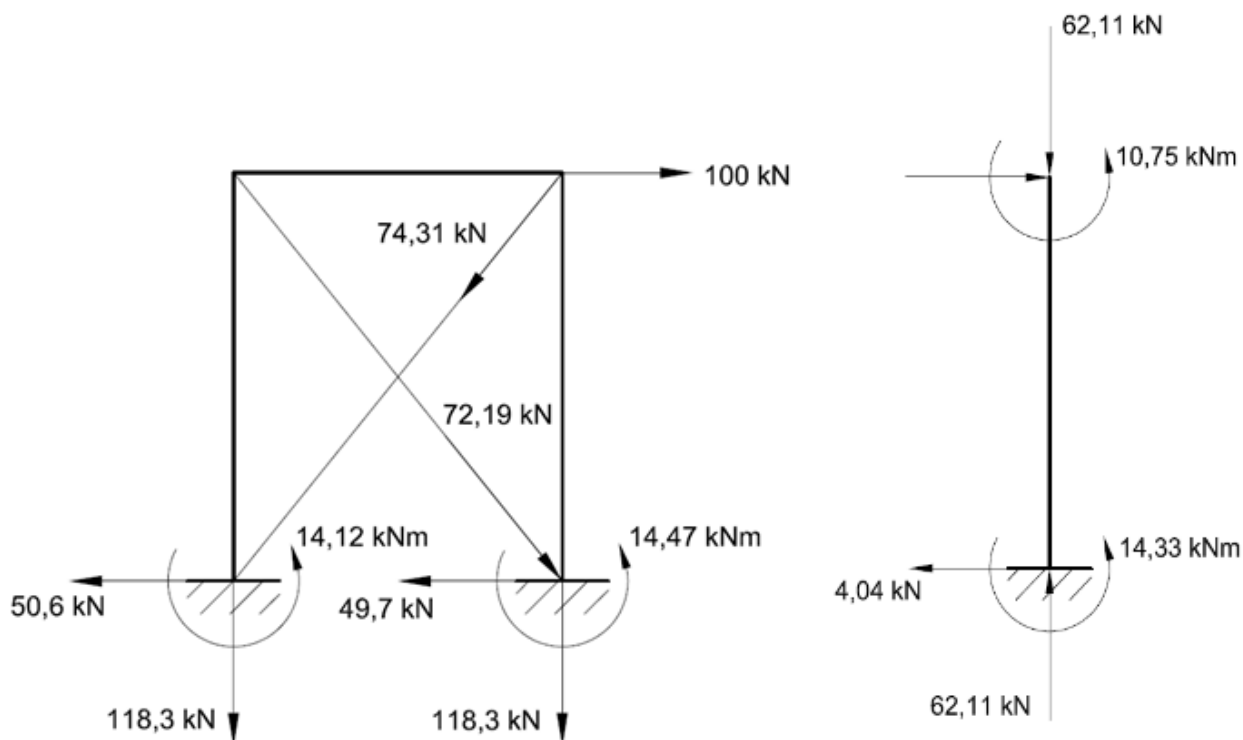
The behaviour factor  $q = 4$  in this case. The lateral forces:

$$F_b = 217,5 \cdot 0,846 = 184 \text{ kN}$$

The lateral forces thank to height of centre of gravity and the frame height is not equal.

$$F'_b = 184 \cdot \frac{7,387}{6,2} = 219 \text{ kN}$$

The reaction forces and moments when the horizontal force 100 kN (Fig.9.)



**Figure. 9.** Reaction forces and moments

Stress constraints for columns

$$\frac{656 \cdot 10^3}{0,9528 \cdot 171 \cdot 10^2 \cdot 235} + \frac{0,9 \cdot 152 \cdot 10^3}{1472 \cdot 235} + \frac{0,9 \cdot 163,6 \cdot 10^3}{1472 \cdot 235} = 0,98 < 1$$

Dimensions of SHS profile: 300 x 16.

Bending moment:

$$M_{Ed} = 217 < M_{el-Rd} = \frac{1472 \cdot 235}{1} = 345,9 \text{ kNm}$$

## 6. Conclusion

The horizontal seismic forces is calculated according to Eurocode 8. The frame with rigid points supports a hopper bottom silo, the failure of which caused by earthquake can be dangerous. The stress constraints for columns and beams are formulates according to Eurocode 3. The frame is welded from SHS profiles. For the fabrication reasons the section width of columns and beams should be equal.

The use of braces results in significant saving in weight of the whole structure.

## 6. References

- [1] Gaylord, E.H.jr, Graylord, Ch.N. (1984) Design of steel bins for storage of bulk solids. Prentice Hall, Engle wood Cliffs. New Jersey.
- [2] Eurocode 8. (2004) Design of structures for earthquake resistance Brussels, CEN
- [3] Farkas J .,Jármai .K :Optimum design of steel structures.Springer 2013
- [4] Anil K. Chopra: Dynamics of Structures. Fourth edition. Pearson Education.



## ***Casting mould creation using additive manufactured base pattern***

**Gy. Vasvári<sup>1,\*</sup>, T. Zsebe<sup>1</sup>, D. Novoselović<sup>2</sup>, F. Dako<sup>2</sup>, D. Csonka<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, J. J. Strossmayer University of Osijek, Croatia

\*Corresponding Author. E-mail: [vasvari.gyula@mik.pte.hu](mailto:vasvari.gyula@mik.pte.hu)

### **Abstract**

The role of additive manufacturing is increasing in the casting industry. The traditional manufacturing of complex base patterns requires considerable time and labour. As it is typically machining, it produces high amount of waste, the machinery is significantly more expensive and requires higher proficiency than 3D printers. Additive manufacturing can support sand casting technology efficiently as it facilitates rapid, precise and cheap production of even more complex base patterns. Thus, in our study we assess the additive manufactured pattern for sand casting.

In our research we manufacture a daily used storage crucible capable of safely holding a sample of Cesium-137 isotope. An adequately thick lead shielding was required to protect against  $\gamma$ -emission. The sample size was the main input parameter for the design. Sand casting seemed a proper technology manufacturing the crucible as machining soft lead work pieces precisely is difficult. We hypothesized that additive manufacturing would be the simplest way to create the base pattern. A model suitable both for 3D printing and sand casting was designed using CAD software considering the abovementioned factors. Using a slicer software, the G-code was generated for the fused deposition modelling printer using polylactic acid filament.

Additive manufacturing was utilized with high efficiency in the process. Before creating the sand mould, a layer of putty was applied to smoothen the 3D printed surface. The quality and size of the end product was satisfactory. Casting the thick wall model resulted in cavities due to the shrinkage of the cooling material, but these deformations were very small and easily removable after casting. Acrylic coating was applied to prevent skin contamination. We experienced no other difficulties using the 3D printed base pattern. Our hypothesis was confirmed, we were able to create a 3D printed base pattern with lower cost and in shorter time compared to traditional methods.

**Keywords:** Sand Casting, 3D printing, Sand mould, CAD design,



## 1. Introduction

There are procedures of making complex base patterns for casting technology. Nowadays 3D printing is a well-known technology and most areas of manufacturing try to apply it in their processes. 3D printing is also called additive technology because during the fabrication, the product is built layer by layer from solid or liquid printing materials. This manufacturing is very common in fast prototyping because the production time and cost is lower compared with traditional ways of production, for example cutting. Based on these it seems to be obvious that we use additive technology for making base patterns.

## 2. Modeling

In our work we designed a lead crucible (Fig. 1.) to store a sample of Cesium-137 isotope. We got this order from the Department of Biophysics, University of Pécs, Hungary. It is a daily used sample and they need protection against  $\gamma$ -emission. It is a good opportunity to test additive manufacturing technology for base pattern making. The part is hollow, with both convex and concave surfaces. During the part design we were considering some ideas from the available professional literature [1][2]. We made the CAD model of lead crucible with CAD Software. This container consists of two pieces, the bed part and the cover. Because of the appropriate  $\gamma$ -emission shielding the parts need 20 mm wall thickness. The diameter of the Cesium-137 preparatum is  $\varnothing 40$  mm and its thickness is 5 mm. These dimensions determine the size of the cover and the bed part.



**Figure 1.** CAD model of the lead crucible

In casting technology there are two main categories of mould:

1. Non-expandable-mould processes. The mould is reusable. Possible to use for further manufacturing.
2. Expandable-mould processes. - New mould must be created for each product.



### 3. Non-expandable-mould

First, we made a non-expandable-mould plaster of plaster using a 3D printed pattern. We expected that we can make two cast parts with the same plaster mould. We worked with a Prusa i3 3D printer which has 250x210x210mm working area. That was enough for this procedure. We used PLA (polyactic acid) filament to build the mould pattern(Fig.2.) for the plaster casting. The storage crucible is hollow, thus we need to use a plaster core piece to achieve this internal surface within the part. The plaster mould of the cover part is separated to two halves that is why the PLA mould contains a wall as a dividing plane.



**Figure 2.** The PLA mould for plaster mould

PLA pattern was filled with plaster. After it was dried up we melt the plastic off the mould pattern(Fig.3.). As a result of heating unfortunately the plaster mould had a lot of tiny cracks on its surfaces.



**Figure 3.** Plaster mould after PLA melting

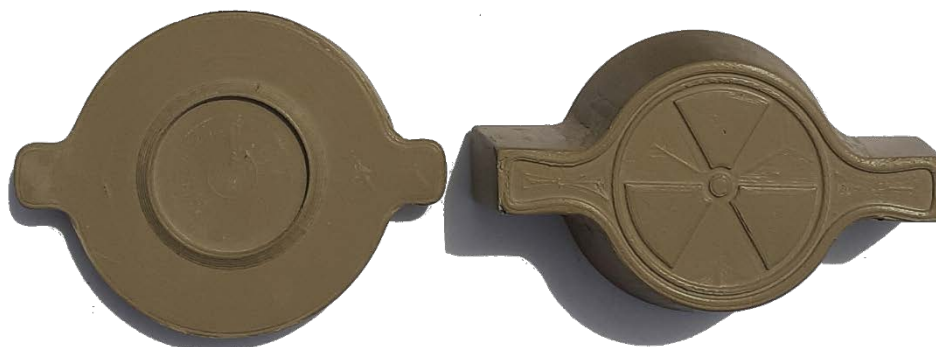
Nevertheless, the product would be good functionally but after the casting the tiny lines on the surfaces did not look too aesthetic. We planned to use the non-expandable-moulds to make more parts, but the moulds completely cracked during casting. Probably the plaster raw material could not withstand the heat input. While making the casting mould we made some mistakes. The PLA mould pattern was too closed and we did not wait enough for drying. When we melt the PLA out of the plaster mould it probably contained some water. In the furnace, high temperature generated steam from water which made some cracks. As a result, the heat of casting totally cracked the plaster moulds.



**Figure 4.** Storage crucible after plaster mould casting

#### 4. Expandable-mould

Finally, we opted for sand casting. We redesigned the form of the lead crucible in order to the base patterns body adjust to the sand casting technology. Practically the FDM (Fused filament fabrication) printing is a plastic welding thus during the printing of the base pattern residual stress is generated when the extruder builds the body layer by layer. As a result, the printed part deformed a little. This deformation looked mainly at the contact of the part and the printer bed. The deviation from the plane on the large connected surfaces reached 0.8 mm. This surface defects were corrected with putty and spray filler(Fig.5.).



**Figure 5.** Corrected bed- and cover part



Green sand was used to make Drag(Fig.6.) and Cope(Fig.7.). The molten lead was poured through the runner into the drag and the cope which includes risers and the core.



**Figure 6.** Mould cavity in the Drag

First time the core ( $\varnothing 40$  mm and 60 mm height) was broken because the sand could not cohere enough. Finally we placed a piece of wet wood into the sand core what could hold and the sand together producing a massive core on the cope.

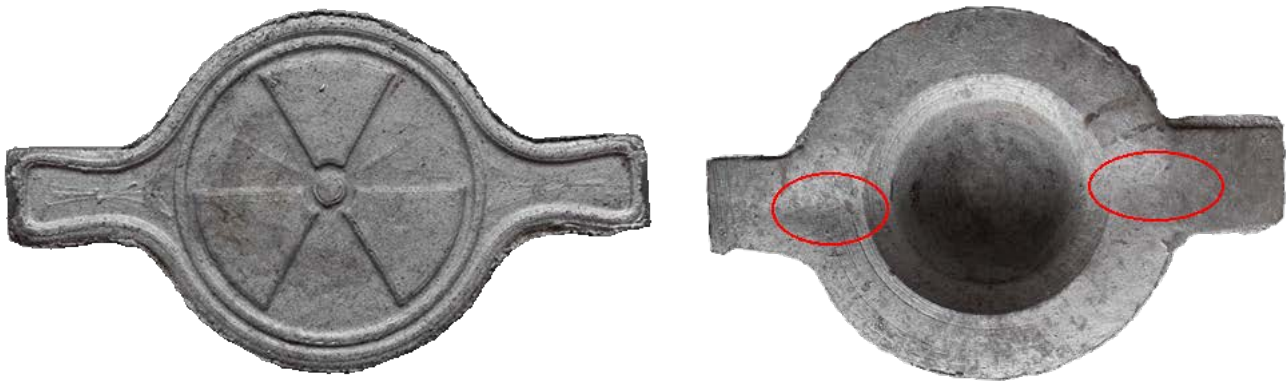


**Figure 7.** Cope with core, runner and riser

#### 4. Experiences of sand casting



The lead casting and the fabricate of base pattern have been done without serious problems. Using FDM technology and PLA filament produced good surface quality of the parts. After the casting, burrs were formed at the sharp corners. These were removed mechanically. During the solidification, the metal shrunk and made cavities(Fig.8.) on the bottom of the handles. The entire bottom of the cover part was machined to flat. Thereby proper closing of the parts is ensured.



**Figure 8.** Cast cover part with cavities

After finishing the surfaces, the parts were coated with acrylic paint. This was necessary because raw lead parts get the hands dirty.



**Figure 9.** Lead crucible bed- and cover part

## 5. Conculsion

We managed to develop a suitable technology with FDM 3D printer. We can state the presented technology is suitable for industrial manufacturing. The base pattern can be created directly form the CAD model. This way significant manufacturing costs can be saved. During design attention have to be paid for the deformation of the plastic welding and available printer area. Cavities of surfaces caused by shrinkage is avoidable if we build risers for thicker parts.

## 6. Acknowledgments

We would like to thank for the Önitató Kft. for the help with the base pattern design and the sand casting.

## 7. References

- [1] Lovas, László. Casting Mold Realisation with 3D printing // Gép, LXVII.évfolyam, 2016, Miskolc (**conference paper**)
- [2] Beeley, Peter. Foundry Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. (ISBN 0 7506 4567 9) (**book**)
- [3] Snelling, Dean; Blount, Heather; Forman, Charles; Ramsburg, Kelly; Wentzel, Andrew; Williams, Christopher; Durschitz, Alan. The effects of 3D printed molds on metal casting // Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium (2013) **conference paper**)
- [4] Hawaladar, Nishant; Zhang, Jing. A comparative study of sand casting mold using additive manufacturing and conventional process // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 1037–1045(2018) (**journal article**)



## Neki utjecaji na mehanička svojstva čelika *Some influences on the mechanical properties of steel*

B. Grizelj<sup>1,\*</sup>, S. Resković<sup>2</sup>, D. Marić<sup>1</sup>, M. Duspara<sup>1</sup>, T. Brlić<sup>2</sup>, K. Vuletić<sup>1</sup>, I. Putnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>2</sup>Metaluški fakultet u Sisku, Sveučilište u Zagrebu, Sisak, Hrvatska

\*Autor za korespondenciju. E-mail: bgrizelj@sfsb.hr

### Sažetak

Svojstva materijala određuju pretpostavke primjene postupka oblikovanja metala deformiranjem. Izazvan vanjskim silama, materijal mora kod odgovarajućeg napreznja dopustiti promjenu oblika pomoću oblikovanja (plastičnost) bez gubljenja kohezije.

U radu se ispituju različiti utjecaji na svojstva materijala. Želimo imati najbolja moguća plastična svojstva materijala. Prema današnjem saznanju, kretanje dislokacija je osnovni mehanizam plastičnih deformacija. Vanjske sile izazivaju polje napreznja koje se postiže dislokacijama. Postignuta su napreznja nastala od odgovarajuće veličine kretanja dislokacije.

**Ključne riječi:** oblikovanje metala deformiranjem, metalurgija, svojstva materijala

### Abstract

The application of metal-forming processes presupposes certain material properties: Under an acting stress caused by external forces, the material must deform like plastic without undergoing a loss in cohesion.

The paper examines various influences on material properties. We want to have the best possible plastic properties of the material. Movement of the dislocations is the basic mechanism of plastic deformation. The external forces cause stress fields which are superimposed on those of the dislocations. If the stresses of the resulting stress fields reach a certain magnitude, the dislocations begin to move.

**Key words:** metal forming, metallurgy, material properties

### 1. Introduction

Among the materials having plastic properties, metals occupy the most important position in production engineering. The plastic behavior of metals can be observed in tensile tests. In the tensile test the sample is slowly and continuously extended until it finally breaks. Thereby force is plotted versus extension.

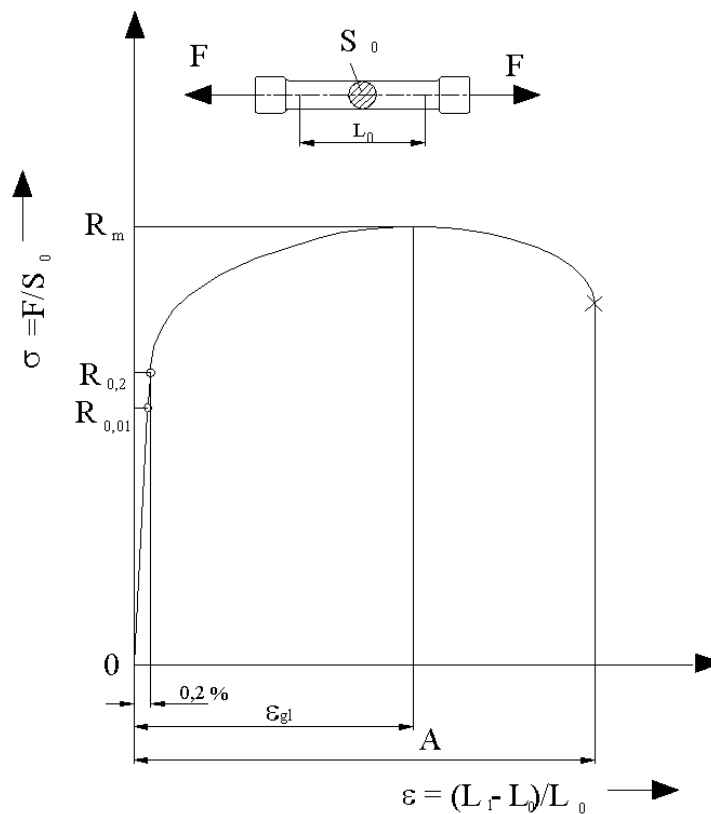
It is usual in testing of materials to define stress as the acting force  $F$  per initial area  $S_0$

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1)$$

Correspondingly, strain is defined as the extension  $\Delta L = L - L_0$  divided by initial length

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

The stress  $\sigma$  versus strain  $\varepsilon$  gives the stress-strain diagram, as shown in Fig. 1.



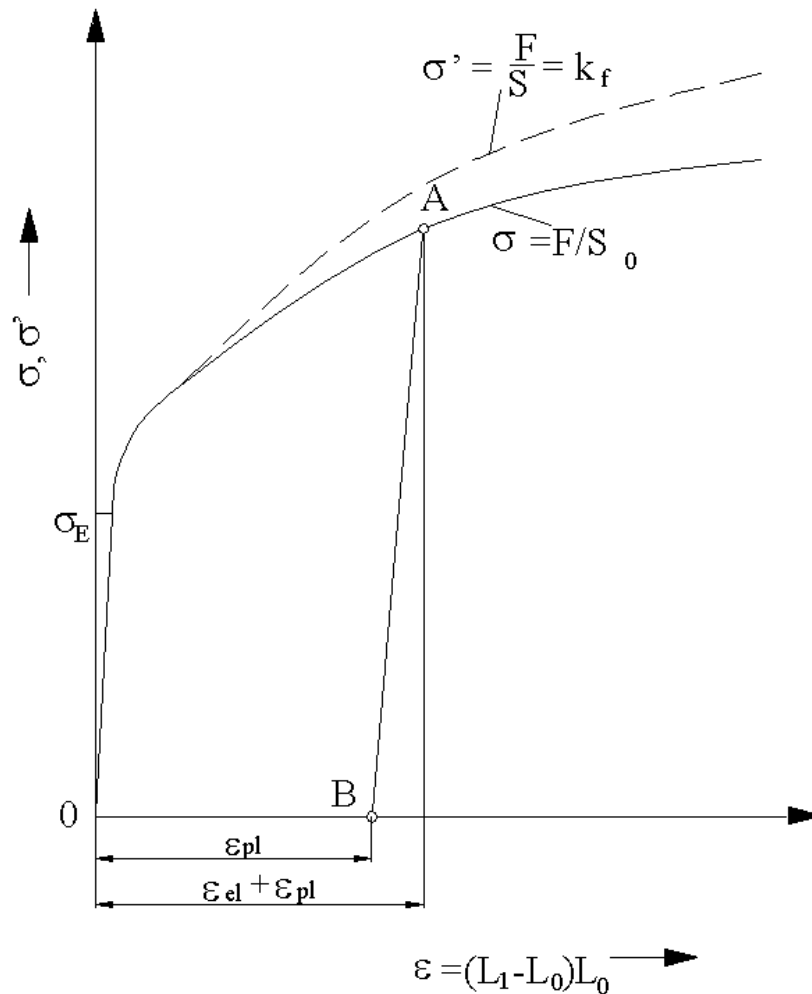
**Figure 1.** Schematic stress-strain curve of a metal without upper yield stress in tensile test [1-6]

There are two regions of different behavior of materials.

Elastic range. By definition no permanent deformations are achieved in the elastic range. For metallic materials there is a linear relationship between stress and strain (Hookes's law):

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3)$$

The modulus of elasticity  $E$  determines the behavior of a material under normal stresses. The elastic range is limited by the elastic limit  $\sigma_E$  (Fig. 2).

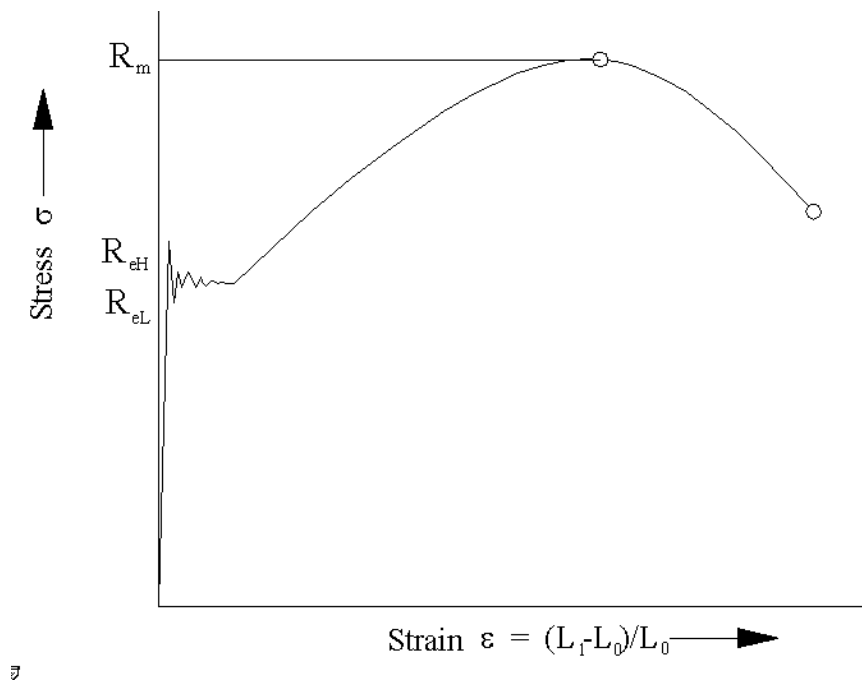


**Figure 2.** First part of the stress-strain

Elastoplastic range. If the test piece is subjected to stress beyond its elastic limit, the material begins to „flow“like plastic. The sample shows permanent non-proportional elongation even after stress is removed. The term proof stress was introduced as a measure of the plastic range. Proof stress gives the magnitude of force per initial cross section by which a given permanent non-proportional elongation is obtained Technically the 0,01 proof stress  $R_{p0,01}$  (non-proportional elongation of 0,01%), which is also called technical elastic limit, together with the 0,2 proof stress  $R_{p0,2}$  (non-proportional elongation of 0,2%) are important (Fig.1).

For some metallic materials there appears an unsteadiness at the beginning of plastic flow (Fig. 3).





**Figure 3.** Stress-strain curve of metal with sharp yield point

In this case it is possible to determine a (natural) yield point. For materials with steady force-elongation curves, the 0.2 proof stress is considered to be the yield point.

Beyond the elastic limit, the total extension under stress is given by the sum of the elastic elongation  $\varepsilon_{el}$  and the plastic elongation  $\varepsilon_{pl}$ . After release of stress, the plastic elongation  $\varepsilon_{pl}$  remains. Fig. 2 illustrates this relationship for load applied from 0 to A and the subsequent for load from A to B.

Metal-forming processes take place in the elastoplastic range. In addition to required permanent deformations there also appears the elastic resilience. Though elastic deformations normally are rather small, their effects must be taken into consideration (e.g., resilience in bending).

In order to achieve true stresses in the longitudinal direction, the force  $F$  must be divided by the instantaneous cross section  $S$

$$\sigma' = \frac{F}{S} \quad (4)$$

For comparison, the stress  $\sigma' = f(\varepsilon)$  is plotted in Fig.2. In tensile tests in the range of uniform extension  $\varepsilon_{gl}$  that is, before necking, there is a uniaxial stress state. In this range the stress  $\sigma' = F/S$  in the plastic range corresponds to the yield stress  $k_f$ . The stress  $\sigma' = F/S$  increases until fracture. With increasing elongation, the stress required for further deformation also increases the material hardness.

The above described behavior of a metal is based upon atomistic processes in the structure. These processes are examined by methods of metal-physics and metallurgy. It is possible,

starting from elementary processes, to interpret the observed macroscopic phenomena and to calculate certain characteristic properties.

## 2. Elastic and plastic deformation of single crystals or ideal crystals

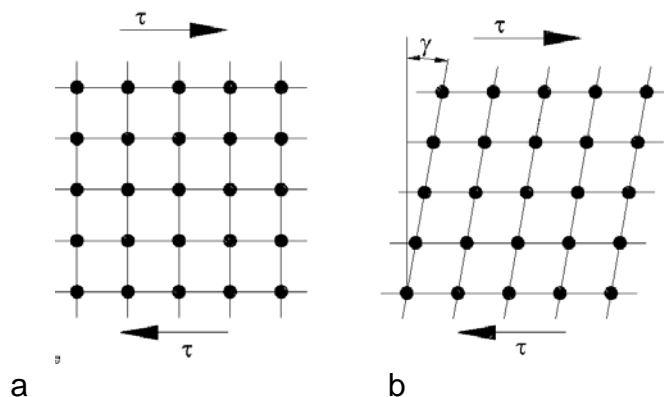
Shape changes of metallic materials by metal forming result from the combined effects of elementary processes within each grain. For an understanding of the mechanisms of plastic deformation, it is useful to neglect at first the interaction between grains and the influence of grain boundaries. For this purpose, single crystals are examined, which in their initial state have no grain boundaries and only a low density of other lattice defects. There are different methods to produce big single crystals which can be used for tensile or upsetting tests. Schmid and Boas [20] give a comprehensive overview of single-crystal investigations.

### 2.1 Elastic deformation

Similarly to Hooke's law for tensile or compressive stresses, there exists a linear relationship between shear stress  $\tau$  and the resulting displacement  $\gamma$

$$\tau = C\gamma \quad (5)$$

The shape changes are based on translations of atoms in the crystal lattice. This can be explained with the help of a cubic-primitive lattice, where the atoms are positioned at the corners of cubes. Fig 4 demonstrates how an angular change in a perfect crystal is related to the movement of s out of their equilibrium positions.



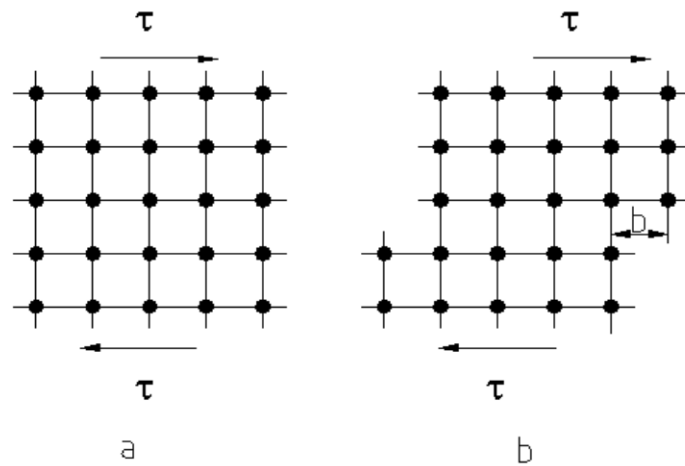
**Figure 4.** Elastic distortion of a crystal lattice, a-initial state, undistorted, b-distorted

In elastic distortion the displacement of atoms is so small that they return to their equilibrium positions after removal of the stress.

### 2.2 Plastic deformation

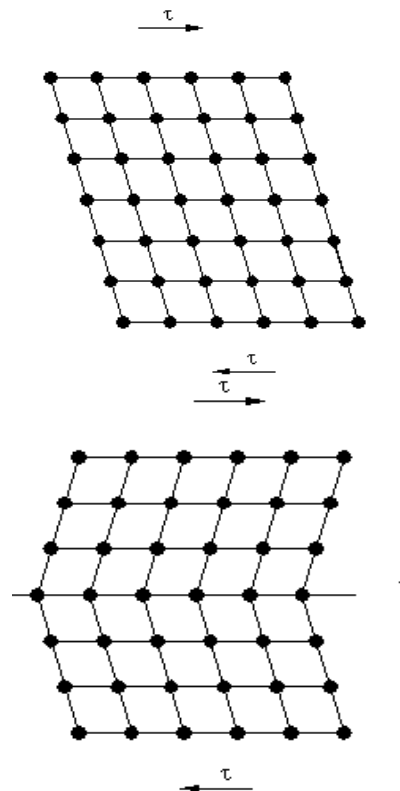
There are two basic mechanisms which result in the plastic deformation of metals:

1. Model representation of plastic deformation of a crystal lattice by slipping, where all atoms on both sides of the lattice planes are moved at the same time. A-Initial state, B-After slipping (Fig.5).



**Figure 5.** Representation of plastic deformation of a crystal lattice by slipping, a-Initial state, b-after slipping

2. Scheme of the twin formation in crystal lattice (Fig.6).



**Figure 6.** Scheme of the twin formation in crystal lattice

Most important slip system of some metals (Fig. 7).

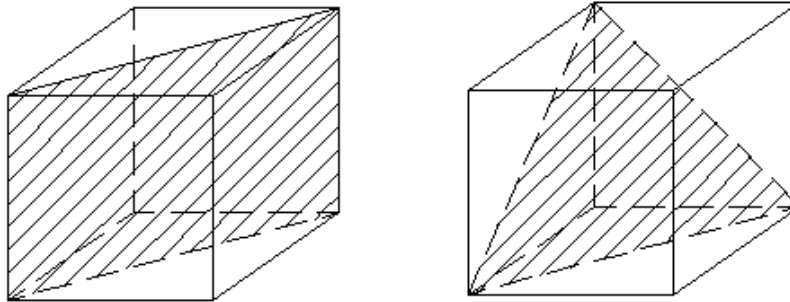


Strukture, metals	Slip systems	Number of		
		slip planes	slip directions	slip systems
Kfz. Cu,Al,Ni Pb,Au,Ag, Fe		4	3	12
Krz. Fe,W,Mo		6	2	12
		12	1	12
		24	1	24

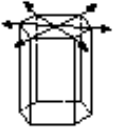

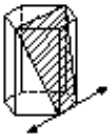
Slip plane Slip direction

Kfz =FCC  
 Krz =BCC

\*Structure, metals, Number of, slip systems



Slip plane:  
 a BCC, b FCC

Structure, metals	Slip systems	Number of		
		Slip planes	Slip directions	Slip systems
Hexagonal Cd,Zn,Mg Ti,Be		1	3	3
		3	1	3
		6	1	6


Slip plane  Slip direction

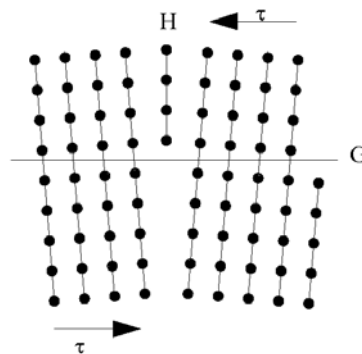
Figure 7. Most important slip system of some metals

### 3. Dislocations and material properties

#### 3.1 Plastic deformation by dislocation movement

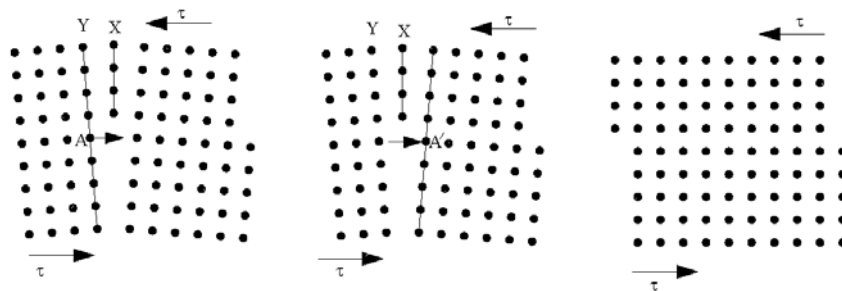
Movement of the dislocations is the basic mechanism of plastic deformation. The external force causes stress fields which are superimposed on those of the dislocations. If the stresses of the resulting stress fields reach a certain magnitude, the dislocations begin to move. To understand the process of dislocation movement, let us consider a step dislocation. Fig. 8 is a top view of the crystal with step dislocation.





**Figure 8.** Crystal lattice with step dislocation; H half plane caused by step dislocation, slip plane G

The half-plane *H* traverses fully from the front to the back across the crystal. It ends in the slip plane *G*. The movement of the dislocation under shear stress  $\tau$  can be explained by the fact that vertical atom arrays below the slip plane against the atoms lying above by one atomic distance to the right. Fig. 9a shows a crystal with a step dislocation.



**Figure 9.** Slipping by movement of step dislocation (Reed-Hill [1-6]), a-initial state, b-dislocation having moved to the left for 1 atomic distance, c-dislocation having passed through crystal

Atoms on the plane *Y* move to the right due to the acting shear stress. Atom takes position *A'*, and so on, as shown in Fig. 9b. Now plane *X* traverses continuously from top to bottom, while plane *Y* ends in the slip plane. So the dislocation line has moved by 1 atom distance to the right. The movement of a dislocation consists of gliding of atoms above and below the slip plane, the dislocation line being the boundary between the sheared and un-sheared crystal parts. Fig. 9c shows the crystal after completion of the dislocation movement. The upper half of the crystal has sheared by 1 atomic distance along the slip plane against the lower half. During the dislocation movement the atoms of a plane do not slip simultaneously but step by step, and the force required is much smaller than that for a simultaneous movement.

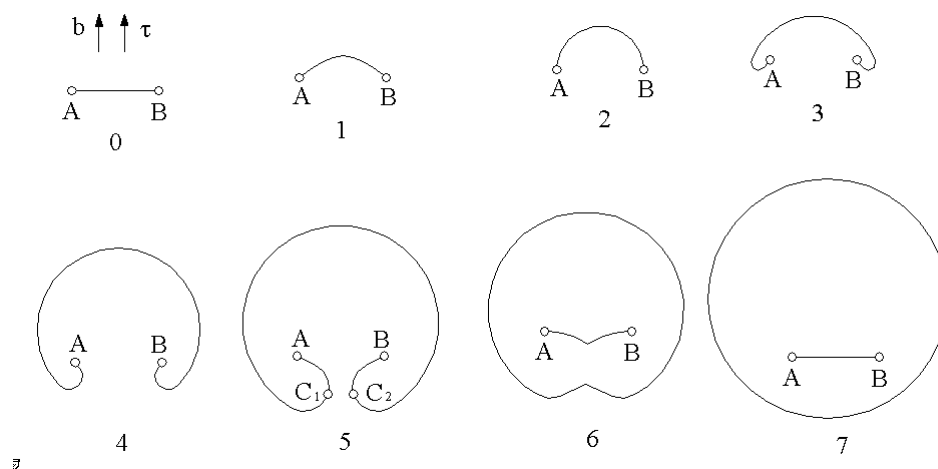
### 3.2 Production of dislocations and dislocation sources

Dislocations are generated during the growth of crystals out of melts. The total slip of a crystal can be estimated from the dislocation density, the length of the dislocation paths, and the amount of the Burgers vectors [1-6].

A typical value of the dislocation density for soft-annealed metals is approximately  $10^7$  dislocations per square centimeter. Estimation of the dislocation density from a measured slip as well as its direct determination under an electron microscope showed that during the deformation, multiplication of the dislocations must have occurred. After large deformations, dislocation densities of nearly  $10^{12}$  dislocations per square centimeter were observed under an electron microscope. Dislocations are produced both at grain boundaries and inside grains.

### 3.2.1 Frank-Read Mechanism

According to the Frank-Read mechanism, closed dislocation loops can be produced under shear stress acting in a slip system. Let points  $A$  and  $B$  be the knots of a dislocation network on which the dislocation line  $AB$  ( $O$ ) is pinned (Fig. 10).

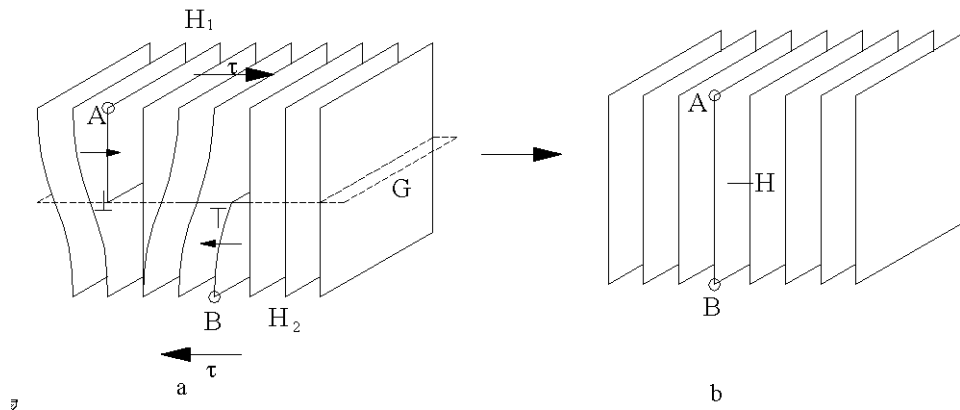


**Figure 10.** Scheme of a Frank-Read Mechanism; different stages of dislocations formation[1-6]

The line  $AB$  lies on a slip plane and bends under the influence of an external stress  $\tau$ . The dislocation line takes forms 1 to 7 because the force acting on an element of the dislocation line acts vertically to the tangent of this element [1-6].

The segments at points  $C_1$  and  $C_2$  in stage 5 are screw dislocations with opposite signs. Their stress fields evoke attracting forces on the dislocation loops. Finally, dislocations with opposite signs contact one another and annihilate the screw. A closed dislocation ring and a new dislocation  $AB$  have emerged, which may now form another dislocation ring (Fig. 10), stages 6 and 7.

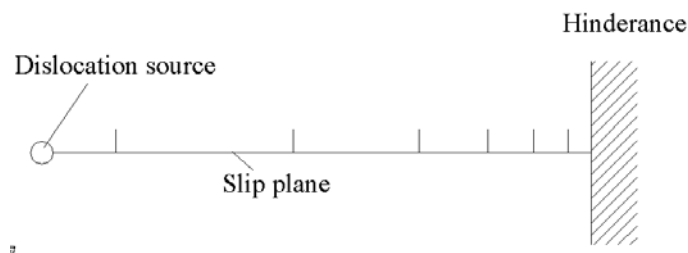
Annihilation of dislocations with opposite signs shall be explained with an example of step dislocation. Fig. 11a shows a crystal with a positive step dislocation (short sign  $T$  half-plane  $H_1$ ), and a negative step dislocation (short sign  $\bar{T}$ , half-plane  $H_2$ ).



**Figure 11.** Annihilation of two step dislocation having opposite signs [1-6]

The crystal lattice is indicated by a group of planes. Both step dislocations move toward each other under the effect of shear stress. The complete lattice plane H is formed by both half-planes  $H_1$ ,  $H_2$  if they meet. The dislocations are annihilated, and the lattice is now undisturbed (Fig. 11b).

A dislocation source cannot produce an unlimited number of dislocations because the produced dislocations are stopped at obstacles, and act back toward the source through their fields. Obstacles may consist of stationary dislocations, precipitations, or grain boundaries. The loops of dislocation rings which are lying in the same direction starting from the source, have the same sign and repel one another. Thus, the dislocations emanating from the source are backing up (Fig. 12), resulting in an increase in the stress field so that subsequent dislocations come to a standstill. Finally, the source ceases to function when the effective shear stress is compensated by the stress field of the backed-up dislocations.



**Figure 12** Congested dislocation between a dislocation source and an obstacle

The Frank-Read source is just one of the possibilities for the formation of new dislocations by stress. Grain boundaries or boundary planes between crystals of different structures can also act as sources.

#### 4. Conclusion

Movement of the dislocations is the basic mechanism of plastic deformation. The external for cause stress fields which are superimposed on those of the dislocations. If the stresses of the resulting stress fields reach a certain magnitude, the dislocations begin to move.



## 5. References

- [1] Lange, Kurt. Lehrbuch der Umformtechnik Bd 1-3 Berlin /Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 1972-1975.
- [2] Lange, Kurt. Handbook of metal forming McGraw-Hill, 1985.
- [3] Lange, Kurt. Lehrbuch der Umformtechnik Bd 1-4 Berlin /Heidelberg/New York: Springer-Verlag, 1988-1993.
- [4] Grizelj, Branko. Oblikovanje metala deformiranjem Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2002.
- [5] Grizelj, Branko. Oblikovanje metala deformiranjem, Umformtechnik, Metalforming, Slavonski Brod Strojarski fakultet, 2018.
- [6] Rešković, Stoja; Grizelj, Branko; Brlić, Tin; Balenović, Marijan; Jandrić, Ivo. Application of factorial experiment with repeated measurements in research on the properties of niobium macroalloyed cold-drawn welded steel tubes, Transactions of FAMENA, **43** (2019), 4; 17-26



# **Primjena tehnologije zavarivanja austenitnog Cr-Ni nehrđajućeg čelika s ugljičnim čelikom pri izradi kompenzatora**

## ***Application of welding technology of austenitic Cr-Ni stainless steel with carbon steel in the manufacture of compensators***

**A. Tunuković<sup>1</sup>, D. Marić<sup>2</sup>, T. Šolić<sup>2,\*</sup>, M. Duspara<sup>2</sup>, J. Pavić<sup>1</sup>, I.  
Samardžić<sup>2</sup>, A. Stoić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Đuro Đaković Kompenzatori d.o.o., Slavonski Brod, Hrvatska

<sup>2</sup>Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod,  
Hrvatska

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

### **Sažetak**

Proizvodnja kompenzatora, koji su zbog svoje sposobnosti prihvaćanja pomaka skupljanja ili produljenja u aksijalnom smjeru neizostavni dio pri izradi cjevovoda, podrazumijeva primjenu tehnologije zavarivanja raznorodnih materijala. U skladu s tim, u radu će biti prikazana tehnologija zavarivanja austenitnog Cr-Ni čelika sa ugljičnim čelikom. Polazi se od općenitih informacija o kompenzatorima kao što su njihova primjena i podjela, preko obrade poglavlja o materijalima koji se koriste pri izradi, sve do same tehnologije izrade. Najveći naglasak će biti na detaljnom opisu tehnologije zavarivanja spomenutih materijala korištenih pri izradi kompenzatora. Za postizanje što bolje kvalitete zavarenog spoja austenitnih čelika s drugim čelicima bitno je voditi računa o raznim čimbenicima. Prvenstveno se pri tome misli na utjecajne faktore kao što su uvjeti eksploatacije, sastav dodatnog materijala, parametri zavarivanja te miješanje osnovnog i dodatnog materijala. U eksperimentalnom dijelu rada će biti prikazana provedena usporedba dvaju različitih postupaka zavarivanja materijala i to MAG postupka zavarivanja sa praškom punjenom žicom te TIG postupka zavarivanja sa primjenom pune žice. Praktičnom primjenom dvaju različitih pristupa i načina zavarivanja ostvareni su različiti parametri, na osnovu kojih se uz dodatnu provedbu ispitivanja zavarenih spojeva (vizualna kontrola, ispitivanje penetrantima, radiografsko ispitivanje, ispitivanje makrostrukture, ispitivanje mikrostrukture te ispitivanje tvrdoće) izvršio odabir optimalnog postupka zavarivanja.

**Ključne riječi:** zavarivanje, austenitni čelik, ugljični čelik, kompenzator





## Abstract

Production of compensators, which are due to their ability of accepting shrinking or extending in the axial direction an indispensable part in the construction of pipelines, implies the application of welding technology of various materials. Accordingly, the paper will present the technology of welding austenitic Cr-Ni steel with carbon steel. It starts from general information about compensators such as their application and distribution, through the processing of chapters about materials used in the production, all the way to the manufacturing technology itself. The greatest emphasis will be on a detailed description of the welding technology of the mentioned materials used in the production of compensators. In order to achieve the best possible quality of the welded joint of austenitic steels with other steels, it is important to take into account various factors. This primarily refers to influential factors such as operating conditions, composition of additional material, welding parameters and mixing of basic and additional material. In the experimental part of the paper, a comparison of two different welding procedures of the material will be presented and that are MAG welding process with powder filled wire and TIG welding process using solid wire. By practical application of two different approaches and welding methods, different parameters were achieved, on the basis of which, with the additional testing of welded joints (visual inspection, penetrant testing, radiographic testing, macrostructure testing, microstructure testing and hardness testing), the selection of a more optimal welding procedure was performed.

**Key words:** welding, austenitic steel, carbon steel, compensator

## 1. Uvod

Metalni kompenzatori su strojni elementi koji su vrlo često izrađeni od kombinacije različitih materijala npr. nehrđajući odnosno korozijski postojani čelik / ugljični čelik, legura nikla / korozijski postojani čelik, legura nikla / ugljični čelik i slične kombinacije. Upravo radi vrlo česte upotrebe različitih materijala na kompenzatorima u ovoj temi je obrađeno zavarivanje raznorodnih materijala na realnom primjeru. Zavarivanje raznorodnih materijala se javlja u slijedećim slučajevima: zavarivanje različitih vrsta čelika, navarivanje nelegiranog odnosno niskolegiranog čelika slojem čelika boljih svojstava (korozijski postojanog čelika, legure nikla) u ovisnosti o mehaničkim svojstvima koja se žele postići, te zavarivanje istorodnih čelika sa dodatnim materijalom različitog kemijskog sastava [1]. Prilikom izrade tehnologije zavarivanja raznorodnih materijala potrebno je obratiti pažnju na vrstu dodatnog materijala koja se bira na osnovu kemijskog sastava i svojstava osnovnog materijala na način da se za nelegirane, niskolegirane, i srednjelegirane čelike bira zavarljiviji (niskolegirani) dodatni materijal, a za spojeve između nelegiranog i visokolegiranog preporučuje se visokolegirani dodatni materijal. Svi ostali parametri zavarivanja kao što su unos topline, režim zavarivanja te toplinska obradba trebaju biti optimalno odabrani [1].



## 2. Kompenzatori

Kompenzatori su strojni elementi koji sadrže jedan ili više kompenzacijskih elemenata koji se upotrebljavaju u preuzimanju promjene duljine cjevovoda. Kompenzacijski element je mijeh koji se sastoji od jednog ili više valova koji su gipki dio kompenzatora, a ukupan pomak kompenzatora je proporcionalan broju valova. Kompenzator se sastoji od kompenzacijskog dijela - mijeha, priključaka koji mogu biti cijevni nastavci za zavarivanje ili prirubnički za spoj s rastavljivom vezom vijcima. Osim priključaka kompenzator može imati unutarnju zaštitu mijeha koja se zove rukavac ili vanjsku zaštitu mijeha. Kod spregnutih kompenzatora postoje i spreznici elementi. Kako bi se pravilno odabrao kompenzator potrebno je odrediti slijedeće tehničke podatke: tlak, temperatura, medij koji teče kroz kompenzator, način priključka kompenzatora, pomaci, tip kompenzatora. Kompenzatori se dijele prema vrsti pomaka na aksijalne, lateralne i kutne, te prema djelovanju tlaka na nespregnute i spregnute kompenzatore. Neki od tipova kompenzatora su: aksijalni kompenzator, aksijalni samovodeći kompenzator, aksijalni kompenzator sa tlakom izvana, dvostruki nespregnuti kompenzator, dvostruki spregnuti kompenzator, jednozglobni kompenzator, dvozglobni kompenzator, itd.

### 2.1. Izrada kompenzatora

Osnovni princip proizvodnje kompenzatora se sastoji od proizvodnje mijeha i ostalih elemenata te montaža i zavarivanje dijelova u jednu cjelinu. Mijeh je moguće formirati mehaničkim ili hidrauličkim oblikovanjem. Lim za mijeh se reže na mjeru te savija u cilindar i uzdužno zavaruje na poluautomatskim TIG uređajima bez dodatnog materijala. Izvedeni zavari imaju dobra mehanička svojstva, a materijal nije zadebljan što uvelike pomaže formiranju mijeha. Nakon zavarivanja mijeh se formira na specijalnim strojevima za formiranje mjehova. Formiran mijeh ide na daljnju obradu: šavno zavarivanje, obrezivanje rubova mijeha - manžeta, ekspaniranje manžeta na točno zadani promjer, sabijanje mijeha na odgovarajuću dužinu. Tako formiran mijeh ide na montažu i zavarivanje sa cijevnim nastavcima ili prirubnicama. Nakon zavarivanja mijeha sa nastavcima montiraju se i zavaruju ostali elementi: poluge, svornjaci, prstenovi, unutarnje i vanjske zaštite i sl. [2].

## 3. Zavarivanje austenitnog Cr-Ni čelika s drugim čelicima

Za kvalitetu zavara austenitnog čelika s drugim čelicima bitno je obratiti pažnju na uvjete eksploatacije, sastav dodatnog materijala, parametre zavarivanja te miješanje osnovnog i dodatnog materijala. Ukoliko je spoj izložen visokim temperaturama pri naknadnoj toplinskoj obradi ili u eksploataciji, zavareni spojevi različitih oblika mogu biti skloni migraciji ugljika. Ugljik migrira u uvjetima kada postoji razlika u sadržaju elemenata karbidotvoraca kao što su: krom, molibden, niobij i ostali. Ugljik će migrirati iz materijala koji ima niži sadržaj kroma u materijal koji ima viši sadržaj kroma, a ukoliko je razlika u sadržaju kroma, molibdena, niobija i drugih karbidotvoraca dovoljno visoka, ugljik može prelaziti iz materijala koji ima niži sadržaj ugljika u materijal koji ima viši sadržaj ugljika. Budući da se najčešće spaja nelegirani ili niskolegirani čelik sa oko 0.15 % ugljika s visokolegiranim Cr-Ni čelikom, koji sadrži oko 0.08 % ugljika, razlika koncentracije ugljika može pored razlike drugih legiranih elemenata pospješiti migraciju ugljika u Cr-Ni čelik. Migracija ugljika uzrokuje razugličenje zone uz

granicu taljenja u materijalu s nižim sadržajem kroma i/ili višim sadržajem ugljika. Širina zone razugljičenja i količina migriranog ugljika ovisit će o razlici ostalih legirnih elemenata, a ponajviše o kromu, ugljiku te temperaturi i vremenu kojem je bio izložen. U zoni koja je osiromašena s ugljikom čvrstoća će biti manja, a u zoni koja je obogaćena ugljikom doći će do stvaranja karbida, smanjenja istežljivosti te povećanja čvrstoće i tvrdoće. Na samom mjestu spoja između feritnog i austenitnog materijala nastaju toplinska naprezanja koja su uzrokovana razlikom u koeficijentima linearnog istežanja, što može dovesti do pojave pukotina uslijed višekratnih promjena temperature. Do pukotina obično dolazi i u zoni nelegiranog ili niskolegiranog materijala, pri visokim temperaturama. Kako bi se smanjila temperaturna naprezanja, koristiti se dodatni materijal na bazi nikla za spajanje visokolegiranog i nelegiranog ili niskolegiranog čelika, koji imaju koeficijent linearnog istežanja sličan feritnom čeliku. Na sadržaj ferita utječe izgaranje i dolegiranje alfa i gama elemenata. Dolegiranje u kupci rastaljenog metala iz obloge elektrode, praha ili iz osnovnog materijala i izgaranje pojedinih elemenata u električnom luku ovisno je o naponu i struji zavarivanja. Rezultat se može izračunati vektorski te ucrtati u Schaeffler-ov dijagram. Schaefflerov dijagram je vrlo koristan alat za odabir sastava dodatnog materijala za zavarivanje. U ovisnosti o legirnim elementima nehrđajućem čeliku, Schaefflerov dijagram pruža informacije o mikrostrukturi materijala. Ekvivalent kroma se računa iz masenog udjela elemenata koji proširuju područje ferita (Cr, Si, Mo, Nb, W), a ekvivalent nikla se računa iz masenog udjela elemenata koji proširuju područje austenita (C, Ni, Mn, Cu, N). Položaj u Schaefflerovom dijagramu definiran ekvivalentima Cr i Ni daje omjere martenzita, austenita i ferita u rezultirajućoj mikrostrukturi [3].

## 4. Eksperimentalni dio

### 4.1 Kemijski sastav osnovnog materijala

Austenitni Cr-Ni-Mo čelik EN 1.4404 sa niskim sadržajem ugljika je jedan od najkorištenijih čelika ove grupe materijala. Zbog dodavanja Mo, čelik ima visoku korozivnu otpornost u atmosferi koja sadrži kloride. Otporan je na interkristalnu koroziju u primjeni do 300 °C. Ima dobru zavarljivost i obradivost. Kemijski sastav čelika prikazan je u tablici 1 [4].

**Tablica 1.** Kemijski sastav materijala EN 1.4404

KEMIJSKI SASTAV								
C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	N %
≤0,03	≤1,0	≤2,0	≤0,045	≤0,015	16,5-18,5	2,00-2,50	10,0-13,0	≤0,11

Ugljični čelik 1.0566 (P355NL1) odlikuje povišena čvrstoća 275-460 MPa, dobra zavarljivost i obradivost te visoka žilavost što mu daje mogućnost upotrebe pri niskim temperaturama. Najčešće se koristi za posude i opremu pod tlakom, cjevovode, kotlove, kompresore i slično. Kemijski sastav prikazani je u tablici 2 [5].



**Tablica 2.** Kemijska sastav materijala EN 1.0566

KEMIJSKI SASTAV											
C %	Si %	Mn %	P %	S %	N %	Cu %	Ni %	Ti %	V %	Nb %	Al %
≤0,1 8	≤0,5 0	1,10- 1,70	≤0,02 5	≤0,01 5	≤0,01 2	≤0, 3	≤0, 5	≤0,0 3	≤0,1 1	≤0,0 5	≥0,0 2

#### 4.2. Zavarivanje ispitnih ploča

Zavarivanje ispitnih ploča provedeno je od strane atestiranog zavarivača uz prisustvo osobe ovlaštene za nadzor zavarivačkih radova. Prilikom zavarivanja evidentiraju se svi parametri zavarivanja i izrađuje se protokol zavarivanja. Ispitne ploče su slijedećih dimenzija 10x200x450 mm za TIG postupak i 16x150x350 mm za MAG postupak sa praškom punjenom žicom. Priprema zavara je izvedena sukladno zahtjevima iz pWPS-a.

##### 4.2.1. Zavarivanje ispitnih ploča TIG postupkom

Zavarivanje je provedeno aparatom za zavarivanje TransTig 3000 proizvođača Fronius. TransTig 3000 je u potpunosti digitalizirani DC izvor napajanja. Sa zadnje strane zavara osigurana je zaštitna atmosfera pomoću inertnog plina argona u svrhu formiranja korijena zavara pa ukoliko je zavar pravilno izveden nije potrebno žlijebljenje niti popravak zavara sa zadnje strane. Kako bi se osigurao pravilan početak i kraj zavarivanja postavljene su dodatne pločice za zavarivanje. Zavarivanje se vrši u horizontalnom položaju, a ploče su radi olakšavanja položaja zavarivanja postavljene na odgovarajuće postolje. Glavnim parametrima zavarivanja kao što su broj prolaza, vrsta postupka, jakost struje, napon struje, vrsta struje i polaritet te brzina zavarivanja i unos topline mogu se vidjeti u tablici 3 [6].

**Tablica 3.** Parametri zavarivanja TIG postupkom

Prolaz br.	Postupak	Promjer DM (mm)	Jakost struje (A)	Napon (V)	Polaritet	Brzina žice (m/min)	Brzina zavarivanja (cm/min)	Unos topline (kJ/mm)
1	141	2,4	80 – 120	10 – 15	DC-	-	5 – 10	≤0,800
2 - n	141	2,4	120 – 150	10 – 15	DC-	-	5 – 10	≤1,200

##### 4.2.2. Zavarivanje ispitne ploče MAG postupkom

Zavarivanje se vrši aparatom za zavarivanje TPSi 320 proizvođača Fronius. Zavarivanje je izvedeno od strane atestiranog zavarivača prema uputama iz pWPS-a, a parametri se mogu vidjeti u tablici 4.

**Tablica 4.** Parametri zavarivanja za MAG postupak

Prolaz br.	Postupak	Promjer DM (mm)	Jakost struje (A)	Napon (V)	Polaritet	Brzina žice (m/min)	Brzina zavarivanja (cm/min)	Unos topline (kJ/mm)
1	136-P	1,2	180 – 220	24 – 28	DC+	6 – 10	10 – 20	≤2,000
Zavarivanje sa keramičkom podlogom								
2 - n	136-P	1,2	180 – 220	24 – 28	DC+	6 – 10	25 – 50	≤1,500

#### 4.3. Ispitivanje ispitnih ploča zavarenih TIG postupkom

Na ispitnim uzorcima vršena su ispitivanja u skladu sa važećim normama. Provedena su slijedeća ispitivanja: vizualno ispitivanje, ispitivanje penetrantima, ispitivanje radiografijom, metalografsko ispitivanje (makrostruktura, mikrostruktura), ispitivanje tvrdoće.

##### 4.3.1. Vizualni pregled

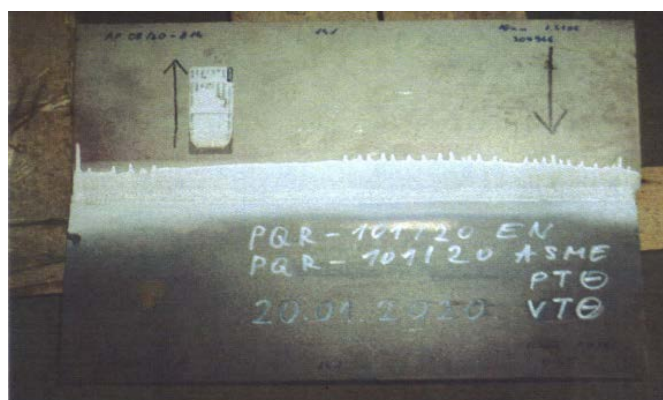
Vizualni pregled zavara izveden je prema slijedećim normama: EN 15614-1, PED 2014/68/EU, AD2000 HP 2/1, EN ISO 17637, EN ISO 5817. Pregled je rađen sa udaljenosti 500 do 600 mm uz pomoć slijedećih uređaja: luxmetar, lampa i fotoaparatus. Vizualnim pregledom zavarenog spoja ispitnih ploča prema pWPS br: TR10/G1.2-G8.1/20 EN zavarenim TIG postupkom uočeno je slijedeće: zavareni spoj pravilnog je oblika, na spoju nema pukotina i nepravilnosti (rupa, poroznosti i nedozvoljenih zajedaja), dimenzije i nadvišenje zavarenog spoja zadovoljavaju propisanu normu [7]. Rezultat vizualnog pregleda prikazan je na slici 1.



**Slika 1.** Vizualni pregled – TIG [7]

##### 4.3.2. Ispitivanje penetrantima

Ispitivanje penetrantima je izvedeno u opsegu od 100 % prema slijedećim normama: EN 15614-1, PED 2014/68/EU, AD2000 HP 2/1, EN ISO 3452-1. Površina je prije ispitivanja odmaščena, a temperatura ispitivanja je 20 °C. Rezultat penetrantskog ispitivanja, prikazan na slici 2, ukazuje na prihvatljivost prema EN ISO 23277.



**Slika 2.** Ispitivanje penetrantima – TIG [7]



#### 4.3.3. Radiografsko ispitivanje

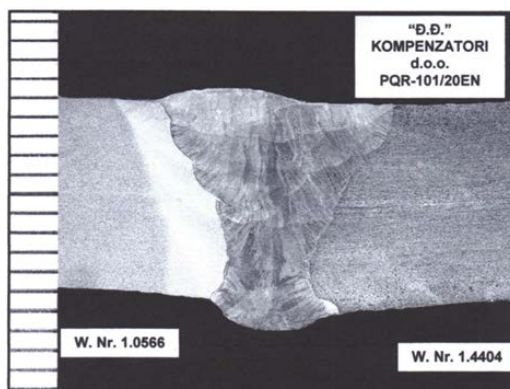
Radiografsko ispitivanje je izvršeno u opsegu od 100 % prema slijedećim normama: EN 15614-1, PED 2014/68/EU, AD 2000 HP 2/1, EN ISO 17636-1. Izvor zračenja je bio RÖNTGEN BALTEAU CERAM 235, a film i folija AGFA D5 [7]. Parametri ispitivanja su bili slijedeći: ekspozicija: 200 kV; 5,0 mA; 1,5 min, FF – udaljenost: 550, zacrnjenje: 2,4, indikator: 10FE EN, kvaliteta slike: W=14. Rezultat radiografskog ispitivanja, prikazan na slici 3, ukazuje na prihvatljivost prema EN ISO 10675-1.

CJELV BROJ No.	OZNAKA FILMA Marks on film	NALAZ ISPITIVANJA Report of examination																OCJENA Evaluation		
		KLASIFIKACIJA NEPRAVILNOSTI PREMA EN ISO 6520-1 Classification of irregularities by EN ISO 6520-1																PRIHVATLJIVO Acceptable	NEPRIHVATLJIVO Not acceptable	
		2011	2012	2016	301	3012	4012	402	1011	102	5011	5012	504	515	3041	2024				
I.	PQR-101/20 AP08/20 Z14	X																	X	X

Slika 3. Nalaz radiografskog ispitivanja – TIG [7]

#### 4.3.4. Ispitivanje makrostrukture, mikrostrukture i tvrdoće

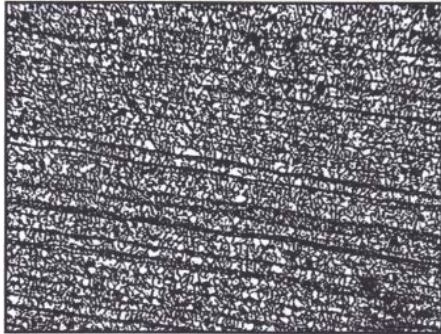
Na predmetnom uzorku izvršeno je ispitivanje makrostrukture zavarenog spoja. Uzorak je bez anomalija kao što su mikropukotine, pukotine i slično.



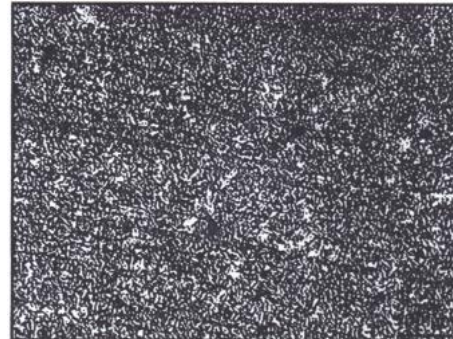
Slika 4. Makrostruktura zavara - TIG [7]

Ispitivanjem mikrostrukture i određivanje veličine zrna izvršeno je pod povećanjem 100:1. Za određivanje prosječne veličine zrna korištena je ručna komparacija sa standardiziranim slikama. Slika 5 prikazuje mikrostrukturu osnovnog materijala EN 1.0566 prosječne veličine zrna 10 po EN ISO 643. Struktura je feritno-perlitna, sitnozrnata, djelomično usmjerena bez anomalija. Slika 6 prikazuje strukturu zone utjecaja topline sa strane materijala 1.0566 koja je feritno-bainitna, bez anomalija. Slika 7 prikazuje austenitnu strukturu zavara, bez anomalija sa urednom linijom staljivanja. Na slici 8 je struktura ZUT-a sa strane materijala 1.4404. Struktura je austenitna, bez anomalija sa urednom linijom staljivanja. Slika 9 prikazuje

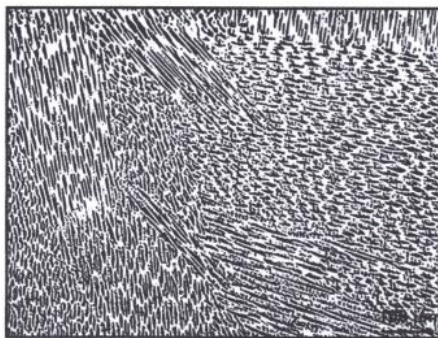
mikrostrukturu osnovnog materijala EN 1.4404 prosječne veličine zrna 6,5 po EN ISO 643. Struktura je austenitna, bez anomalija. U strukturi vidljivo nešto delta ferita [7].



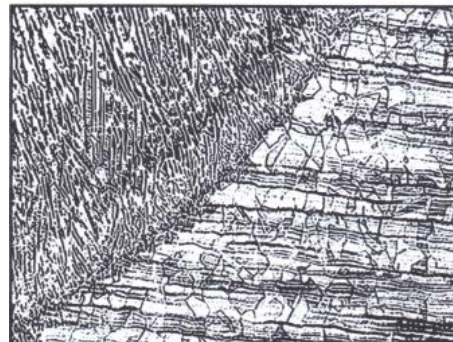
**Slika 5.** Struktura OM 1.0566 - TIG [7]



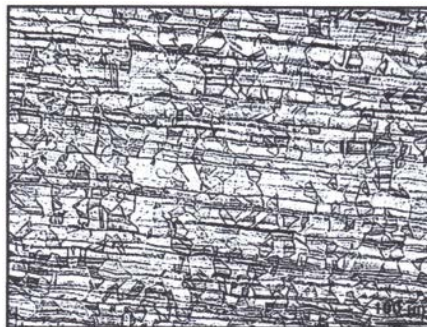
**Slika 6.** Struktura ZUT (sa strane materijala 1.0566) - TIG [7]



**Slika 7.** Struktura depozita zavara - TIG [7]

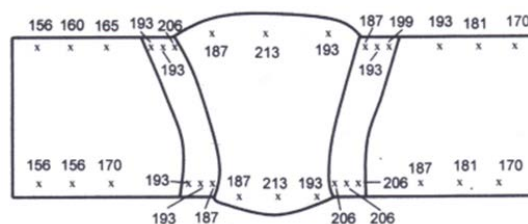


**Slika 8.** Struktura ZUT (sa strane materijala 1.4404) - TIG [7]



**Slika 9.** Struktura OM 1.4404 - TIG [7]

Na slici 10 prikazani su rezultati ispitivanja tvrdoće HV 10 – tvrdoća ispitivanog uzorka je prihvatljiva.



**Slika 10.** Ispitivanje tvrdoće HV 10 - TIG [7]



#### 4.4. Ispitivanje ispitnih ploča zavarenih MAG postupkom

##### 4.4.1 Vizualni pregled

Vizualni pregled zavara zavarenog MAG postupkom izveden je prema slijedećim normama: EN ISO 17637, EN ISO 5817. Pregled je rađen sa udaljenosti 500 do 600 mm uz pomoć slijedećih uređaja: luxmetar, lampa i fotoaparata. Vizualnim pregledom zavarenog spoja ispitnih ploča prema pWPS br: MAG10/FC/G8.1-G1.2/16 EN zavarenim MAG postupkom uočeno je slijedeće: zavareni spoj pravilnog je oblika, na spoju nema pukotina i nepravilnosti (rupa, poroznosti i nedozvoljenih zajedaja), dimenzije i nadvišenje zavarenog spoja zadovoljavaju propisanu normu [8]. Rezultat vizualnog pregleda prikazan je na slici 11.



**Slika 11.** Vizualni pregled – MAG [8]

##### 4.4.2. Ispitivanje penetrantima

Ispitivanje penetrantima je izvedeno u opsegu 100 % prema: EN 571-1, EN ISO 5817, klasa B. Površina je prije ispitivanja bila odmaščena. Temperatura ispitivanja je 20°C [8]. Rezultat penetrantskog ispitivanja, prikazan na slici 12, ukazuje na prihvatljivost prema EN ISO 5817 klasa B.



**Slika 12.** Ispitivanje penetrantima – MAG [8]



#### 4.4.3. Radiografsko ispitivanje

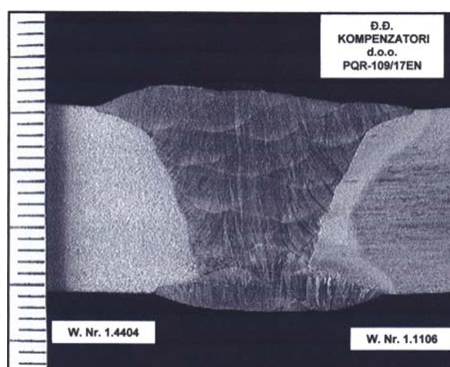
Radiografsko ispitivanje je izvršeno u opsegu 100 % prema EN ISO 17636-1. Izvor zračenja je bio RÖNTGEN ANDREX 225 a film i folija AGFA D5 [8]. Parametri ispitivanja su bili slijedeći: ekspozicija: 170 kV; 4,0 mA; 2,5 min, FF – udaljenost: 700, zacrnjenje: 2,3, indikator: 10FE EN, kvaliteta slike: W=14. Rezultat radiografskog ispitivanja, prikazan na slici 13, ukazuje na prihvatljivost prema EN ISO 5817 klasa B.

BROJ No.	OZNAKA FILMA Marks on film	NALAZ ISPITIVANJA Report of examination														OCJENA Evaluation		
		KLASIFIKACIJA NEPRAVILNOSTI PREMA EN ISO 6520-1 Classification of irregularities by EN ISO 6520-1														PRIHVATLJIVO Acceptable	NEPRIHVATLJIVO Not acceptable	
		201 Aa	2011 Aa	2016 Ab	301 Ba	3011 Ba	401 C	402 D	101 Ea	102 Eb	5011 F	5012 F	504 -	515 -	304 H			2024 K
1	PQR-109/17 EN										X						X	

Slika 13. Nalaz radiografskog ispitivanja – MAG [8]

#### 4.4.4. Ispitivanje makrostrukture, mikrostrukture i tvrdoće

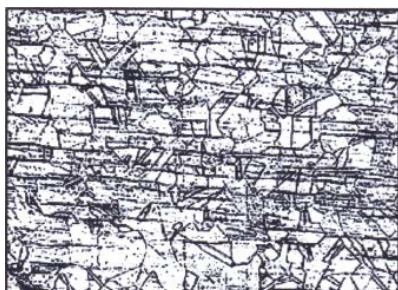
Na predmetnom uzorku izvršeno je ispitivanje makrostrukture zavarenog spoja. Uzorak je bez anomalija kao što su mikropukotine, pukotine i slično.



Slika 14. Makrostruktura zavara - MAG [8]

Ispitivanje mikrostrukture, procjena metalurške čistoće (uključci) i određivanje veličine zrna izvršeno je pod povećanjem 100:1. Za određivanje prosječne veličine zrna korištena je ručna komparacija sa standardiziranim slikama. Slika 15 prikazuje mikrostrukturu osnovnog materijala EN 1.4404. Struktura je austenitna, prosječne veličine zrna 6,5 po EN ISO 643, bez anomalija. Slika 16 prikazuje struktura zone utjecaja topline sa strane materijala 1.4404. Struktura je austenitna, bez anomalija. Na slici 17 je struktura zavara koja je sitnozrnata, dendritna, bez mikropukotina, pukotina i slično. Struktura ZUT-a sa strane materijala 1.1106 prikazana je na slici 18, ista je sitnozrnata, ferlitno-perlitna, bez anomalija. Slika 19 prikazuje

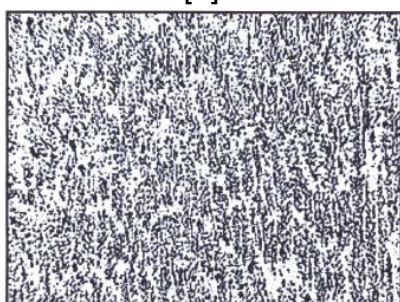
mikrostrukturu osnovnog materijala EN 1.1106. EN ISO 643. Struktura je feritno-perlitna, usmjerena, prosječne veličine zrna 10 po EN 643, bez anomalija.



**Slika 15.** Struktura OM 1.4404 - MAG [8]



**Slika 16.** Struktura ZUT (sa strane materijala 1.4404) - MAG [8]



**Slika 17.** Struktura depozita zavara - MAG [8]

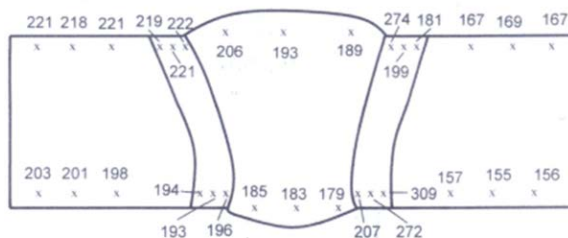


**Slika 18.** Struktura ZUT (sa strane materijala 1.1106) - MAG [8]



**Slika 19.** Struktura OM 1.1106 - MAG [8]

Slika 20 prikazuje rezultate ispitivanja tvrdoće HV 10 – tvrdoća ispitano uzorka je prihvatljiva.



**Slika 20.** Ispitivanje tvrdoće HV 10 - MAG [8]





## 5. Zaključak

Prilikom izrade i zavarivanja kompenzatora susrećemo se sa različitim materijalima i različitim kombinacijama materijala za što je potrebno atestirati mnogo postupaka zavarivanja. Jedna od kombinacija koja je vrlo zastupljena je zavarivanje austenitnog Cr-Ni čelika sa ugljičnim čelikom. Izrada tehnologije zavarivanja za ovakvu proizvodnju i vrstu proizvoda od izuzetne je važnosti za kvalitetu proizvoda a istovremeno i za produktivnost u proizvodnji. U navedenom radu je opisana je izrada tehnologije zavarivanja za dva različita postupka TIG postupak i MAG postupak sa praškom punjenom žicom za iste kombinacije materijala. S obzirom su oba provedena postupka atestirana, tvornica odnosno tehnolog zavarivanja može odabrati za zavarivanje spomenutih kombinacija materijala bilo koji od ova dva postupka ili pak kombinaciju ovih postupaka sve dok su parametri u skladu sa atestima postupaka. Iako su svojstva zavarenog spoja što je vidljivo iz ovog rada, zadovoljavajuća u oba postupka brzina zavarivanja odnosno produktivnost MAG postupka u odnosu na TIG je pogodnija i mogla bi prevagnuti u odabiru načina zavarivanja.

## 6. Literatura

- [1] Lukačević, Zvonimir. Zavarivanje. Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 1998. (ISBN 953-6048-12-4 )
- [2] ĐĐ Kompenzatori, Slavonski Brod, Hrvatska – katalog proizvoda
- [3] WELDING-ALLOYS, Florence, SAD. URL: <https://www.welding-alloys.com/uploads/pdf/tool-box/schaeffler-diagram.pdf> (20.05.2020.)
- [4] METALCOR, Essen, Njemačka URL: <http://www.metalcor.de/en/datenblatt/12/> (12.05.2020.)
- [5] SALZGITTER, Salzgitter, Njemačka: URL :[https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgawalzte\\_produkte/eng/P355NL1.pdf](https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgawalzte_produkte/eng/P355NL1.pdf) (14.05.2020.)
- [6] ĐĐ Kompenzatori: pWPS TR 10/20 (Interni dokument), Slavonski Brod 2020.
- [7] ĐĐ Kompenzatori: Atest postupka TR 10/20 (Interni dokument), Slavonski Brod 2020.
- [8] ĐĐ Kompenzatori: Atest postupka MAG 10/16 (Interni dokument), Slavonski Brod 2020.



## Ispitivanje pregrijača komore metodom metalografskih replika *Examination of the chamber superheaters by metallographic replica method*

N. Berić<sup>1,\*</sup>, I. Opačak<sup>1</sup>, I. Kladarić<sup>1</sup>, A. Milinović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>StrojarskifakultetuSlavonskomBrodu, SveučilišteJ.J. StrossmayerauOsijeku, SlavonskiBrod,  
Hrvatska

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

### Sažetak

Kod strojnih elementa i dijelova konstrukcija, uslijed djelovanja eksploatacijskih uvjeta, tijekom rada mogu nastati promjene u strukturi i neželjene promjene svojstava. Da bi se utvrdilo dolazi li do strukturnih promjena tijekom eksploatacije i na vrijeme otkrili potencijalni kvarovi, nužno je njihovo praćenje. Većina metalografskih metoda za određivanje strukture metala su metode s razaranjem i zbog toga zahtijevaju izrezivanje uzorka. Kada se radi o strojnim elementima koje je potrebno kontrolirati tijekom eksploatacije, primjena metalografskih metoda s razaranjem često je teško provediva i neprihvatljiva. Metoda ispitivanja strukture primjenom metalografskih replika je razvijena kao nerazorna metoda u okviru metalografskih ispitivanja. Ova metoda ima široku primjenu i često se primjenjuje kod metalografskih ispitivanja dijelova termoelektrana. Kod termoelektrana pojedini konstrukcijski elementi i sklopovi izloženi su djelovanju povišene ili visoke temperature i zbog toga postoji opasnost od pojave neželjenih strukturnih promjena. U ovome radu provedeno je ispitivanje strukture metodom metalografskih replika na pregrijaču komore ekonomajzera izrađenom od čelika 13CrMo4-5. Pored ispitivanja metalografskim replikama provedeno je i ispitivanje tvrdoća. Ispitivanja su provedena na pregrijaču prije puštanja u rad s ciljem utvrđivanja njegove strukture i tvrdoće. Analizom metalografskih replika napravljenih na pregrijaču utvrđena je feritno-perlitna struktura koja odgovara deklariranom materijalu. Izmjerene vrijednosti tvrdoće odgovaraju vrijednostima spomenute strukture.

**Ključne riječi:** metalografija, replike, pregrijač komore

### Abstract

In the case of machine elements and parts of constructions, due to the influence of exploitation conditions, changes in the structure and unwanted changes in properties may occur during operation. In order to determine whether structural changes occur during exploitation and to detect potential failures in time, it is necessary to monitor them. Most metallographic methods for determining metal structure are destructive methods and



therefore require sample cutting. When it comes to machine elements that need to be controlled during exploitation, the application of metallographic methods with destruction is often difficult to implement and unacceptable. The method of structure testing using metallographic replicas has been developed as a non-destructive method within metallographic tests. This method has a wide application and is often used in metallographic testing of parts of thermal power plants. In thermal power plants, individual structural elements and assemblies are exposed to elevated or high temperatures and therefore there is a risk of unwanted structural changes. In this paper, the structure was tested by the method of metallographic replicas on an economizer chamber superheater made of 13CrMo4-5 steel. In addition to testing with metallographic replicas, a hardness test was also performed. Tests were performed on the superheater before commissioning in order to determine its structure and hardness. The analysis of metallographic replicas made on the superheater determined the ferrite-perlite structure corresponding to the declared material. The measured hardness values correspond to the values of the mentioned structure.

**Key words:** metallography, replicas, chamber superheater

## 1. Uvod

Usljed djelovanja eksploatacijskih uvjeta kod strojnih elemenata i dijelova konstrukcije mogu nastati neželjene promjene strukture, a time i neželjene promjene svojstava. Zbog toga je nužno tijekom eksploatacije pratiti promjene u strukturi čelika kako bi se na vrijeme otkrili potencijalni kvarovi. Iako su u tu svrhu razvijene brojne metode, metode za praćenje promjena strukture tijekom eksploatacije još uvijek su slabo razvijene. Metalografske metode koje se pri tome koriste obuhvaćaju postupke sa ili bez razaranja. Kada je riječ o kontroli tijekom eksploatacije, metode s razaranjem su često neprihvatljive te su za takve uvjete primjenjivije metode bez razaranja. Jedna od takvih metoda je ispitivanje strukture primjenom metalografskih replika. Ova metoda ima široku primjenu i često se primjenjuje kod metalografskih ispitivanja dijelova termoelektrana jer su pojedini konstrukcijski elementi (npr. kotlovske cijevi) i sklopovi izloženi djelovanju povišene ili visoke temperature. Pod djelovanjem povišenih i visokih temperatura može doći do promjene strukture čelika, pojave razugljičenja, nastanka grafitizacije, rasta kristalnog zrna, pojave puzanja i nastanka mikro i makro pukotina. Primjenom metalografskih replika moguće je brzo i relativno jednostavno na željenom konstrukcijskom elementu, bez njihovog razaranja, utvrditi stanje strukture.

Jedan od čelika koji se najčešće primjenjuje za izradu dijelova termoenergetskih postrojenja je čelik 13CrMo4-5. Čelik 13CrMo4-5 pripada skupini niskolegiranih Mo-Cr čelika za rad pri povišenim temperaturama ( $\vartheta_r < 550^\circ\text{C}$ ). Kod nelegiranih čelika pri dugotrajnom radu uz povišenu temperaturu dolazi do slabljenja mehaničkih svojstava zbog rekristalizacije matrice i koagulacije cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Ove pojave kod niskolegiranih čelika za rad pri povišenim temperaturama reduciraju se putem legiranja karbidotvorcima (Mo, Cr, V) i elementima koji povišuju temperaturu rekristalizacije (Mo). Karbidi molibdena usporavaju puzanje, sprječavaju pojavu krhkosti, doprinose povišenju otpornosti na popuštanje i povišenju



prokaljivosti. Dodatak Cr u Mo-čelike povisit će vremenske čvrstoće ( $R_{m/t}$ ,  $R_{p0,2/t}$  i  $R_{p1/t}$ ), vremensku duktilnost ( $A_{5/t}$  i  $Z/t$ ) te oksidacijsku otpornost. Pri visokim temperaturama ( $> 550^{\circ}\text{C}$ ) Mo-karbidi  $\text{Mo}_2\text{C}$  polako će prelaziti u  $\text{Mo}_6\text{C}$  i pri tome koagulirati u veće, ali rjeđe čestice te osiromašiti željeznu matricu na Mo te tako sniziti  $\vartheta_r$ . Sve ovo su razlozi zbog kojih ova grupa čelika nije primjenjiva za dugotrajan rad pri  $\vartheta_r > 550^{\circ}\text{C}$  [1]. U ovome radu provedeno je ispitivanje strukture metodom metalografskih replika na pregrijaču komore ekonomajzera izrađenom od čelika 13CrMo4-5. Pored ispitivanja metalografskim replikama provedeno je i ispitivanje tvrdoća.

## 2. Metalografske replike

Ispitivanja mikrostrukture pomoću metalografskih replika provode se prema normi HRN ISO 3057: 1999 (ISO 3057:1998) [2].

Ispitivanje uzimanjem metalografskih replika na objektu obuhvaća pripremu površine metala brušenjem i poliranjem do dubine  $< 0,15$  mm, nagrizanje u 5 %-tnoj otopini nitratne kiseline u etilnom alkoholu te utiskivanje folije-replike (Transcopy-Replica). Nakon toga potrebno je provesti fotografiranje mjesta uzimanja metalografske replike.

Nakon uzimanja metalografske replike, analiza mikrostrukture provodi se u metalografskom laboratoriju pomoću svjetlosnog mikroskopa. Pri tome se karakteristična mjesta promatraju i snimaju uz povećanja 100:1 i 200:1. Nakon pregleda mikrostrukture potrebno je analizirati i dati ocjenu stanja strukture korištenjem normi i propisa koji se primjenjuju za ispitivani čelik.

## 3. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je ispitivanje mikrostrukture i tvrdoće na pregrijaču komore ekonomajzera izrađenom od čelika 13CrMo4-5. Ispitivanje strukture provedeno je primjenom metode metalografskih replika na tri ispitna mjesta, dok je ispitivanje tvrdoća provedeno UCI metodom (UltrasonicContactImpedance, DIN 50159, ASTM A1038) prijenosnim uređajem MIC 10 DL (Krautkrämer, Njemačka) na Vickersovoj skali tvrdoće. Ispitivanje je provedeno na pregrijaču prije puštanja u rad s ciljem utvrđivanja početnog stanja strukture i tvrdoće koji bi se kasnije mogli služiti za usporedbu s rezultatima periodičnih ispitivanja tijekom eksploatacije.

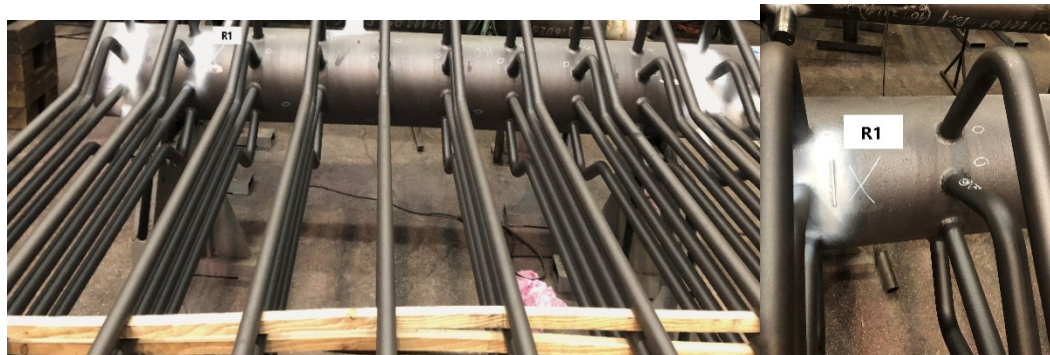
Kemijski sastav čelika 13CrMo4-5 prema normi EN 10216-2 prikazan je u tablici 1 [3].

**Tablica 1.** Kemijski sastav čelika 13CrMo4-5

C	Si max	Mn	P max	S max	Cr	Mo	N max	Cu max
0,08 – 0,18	0,35	0,4 – 1	0,025	0,01	0,7 – 1,15	0,4 – 0,6	0,012	0,3



Na slici 1 prikazan je dio komore na kojemu je provedeno ispitivanje kao i mjesto uzimanja metalografske replike (ispitno mjesto R1). Na slici 2 prikazano je ispitno mjesto R1 s postavljenom metalografskom replikom.

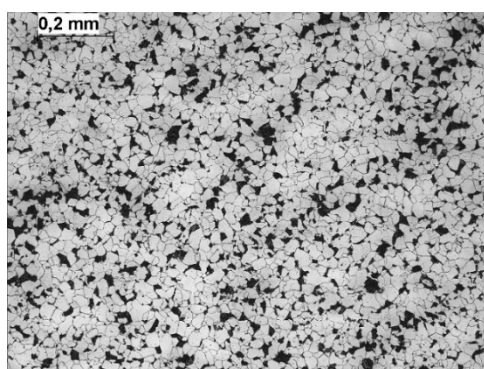


**Slika 1.** Dio komore s označenim mjestom uzimanja metalografske replike za ispitno mjesto R1

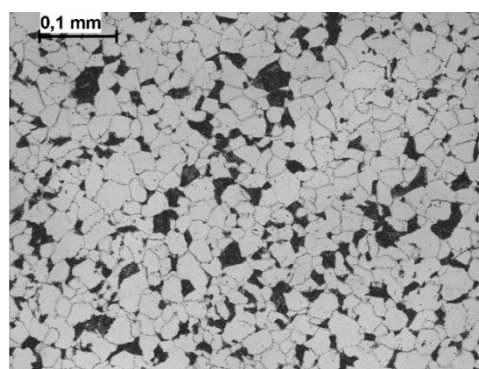


**Slika 2.** Metalografska replika postavljena na ispitno mjesto R1

Mikrostruktura pregrijača na ispitnom mjestu R1 prikazana je na slici 3.



a) 100:1



b) 200:1

**Slika 3.** Mikrostruktura pregrijača na ispitnom mjestu R1 snimljena pri povećanju 100:1 (a) i 200:1 (b)





Na slici 4 prikazan je dio komore na kojemu je provedeno ispitivanje kao i mjesto uzimanja metalografske replike (ispitno mjesto R2). Na slici 5 prikazano je ispitno mjesto R2 s postavljenom metalografskom replikom.

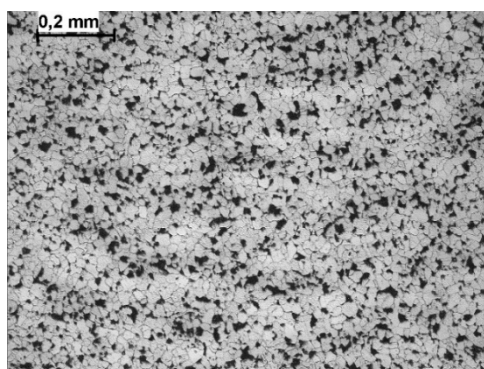


**Slika 4.** Dio komore s označenim mjestom uzimanja metalografske replike za ispitno mjesto R2

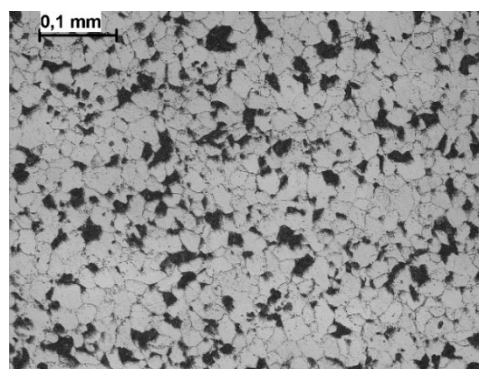


**Slika 5.** Metalografska replika postavljena na ispitno mjesto R2

Mikrostruktura pregrijača na ispitnom mjestu R2 prikazana je na slici 6.



a) 100:1



b) 200:1

**Slika 6.** Mikrostruktura pregrijača na ispitnom mjestu R2 snimljena pri povećanju 100:1 (a) i 200:1 (b)

Na slici 7 prikazan je dio komore na kojemu je provedeno ispitivanje kao i mjesto uzimanja metalografske replike (ispitno mjesto R3). Na slici 8 prikazano je ispitno mjesto R3 s postavljenom metalografskom replikom.

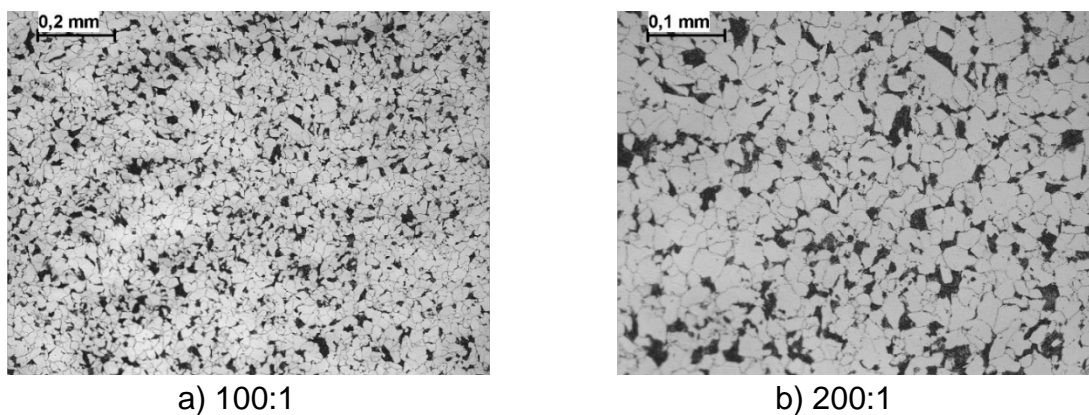


**Slika 7.** Dio komore s označenim mjestom uzimanja metalografske replike za ispitno mjesto R3



**Slika 8.** Metalografska replika postavljena na ispitno mjesto R3

Mikrostruktura pregrijača na ispitnom mjestu R3 prikazana je na slici 9.



a) 100:1  
b) 200:1  
**Slika 9.** Mikrostruktura pregrijača na ispitnom mjestu R3 snimljena pri povećanju 100:1 (a) i 200:1 (b)





Nakon ispitivanja metodom metalografskih replika, na sva tri ispitna mjesta provedeno je mjerenje tvrdoće HV metodom. Na svakom ispitnom mjestu provedeno je 5 mjerenja, a rezultat izmjerene vrijednosti tvrdoće za svako ispitno mjesto predstavlja njihova aritmetička sredina. Rezultati mjerenja tvrdoće prikazani su u tablici 2.

**Tablica 2.** Izmjerene vrijednosti tvrdoća ispitivanih mjesta

Red.br. mjerenja	R1, tvrdoća/HV	R2, tvrdoća/HV	R3, tvrdoća/HV
1.	137	145	138
2.	143	136	133
3.	130	136	132
4.	139	137	152
5.	138	150	142
<b>Prosječna tvrdoća/HV</b>	≈ 137	≈ 141	≈ 139

#### 4. Analiza rezultata

Na slici 3, slici 6 i slici 9 prikazana je mikrostruktura ispitnih mjesta snimljena pod povećanjima 100:1 i 200:1. Pregledom i analizom mikrostrukture utvrđeno je kako se radi o sitnozrnatoj feritno-perlitnoj strukturi koja je karakteristična za čelik 13CrMo4-5. Veličina zrna određena je prema normi ASTM E112 i za sva tri ispitna mjesta iznosi 7 – 8. U tablici 2 dani su rezultati mjerenja tvrdoće za sva tri ispitna mjesta. Tvrdoće za ispitno mjesto R1 iznosi ≈ 137 HV, za ispitno mjesto R2 iznosi ≈ 141 HV, dok za ispitno mjesto R3 iznosi ≈ 139 HV. Izmjerene vrijednosti tvrdoća odgovaraju feritno-perlitnoj strukturi ovog čelika.

#### 5. Zaključak

Rezultati provedenih ispitivanja pokazuju da je metoda metalografskih replika vrlo pouzdana metoda za ispitivanje stanja strukture na konstrukcijskom elementu, prije ili tijekom eksploatacije, bez potrebe za njegovim razaranjem. Metoda je prihvatljiva jer se mogu ispitivati pojedini konstrukcijski elementi bez potrebe zaustavljanja postrojenja i stvaranja dodatnih troškova. Rezultati ispitivanja metalografskim replikama pokazali su da je struktura na sva tri ispitna mjesta feritno – perlitna. Prema normi ASTM E112 utvrđeno je da veličina zrna na ispitnim mjestima u intervalu između 7 i 8. Prosječne vrijednosti izmjerene tvrdoće na ispitnim mjestima (137, 141 i 139 HV) odgovaraju navedenoj strukturi. Rezultati ispitivanja pokazali su uobičajenu strukturu i tvrdoću za čelik 13CrMo4-5, a dobiveni rezultati moći će se koristiti za usporedbu s rezultatima ispitivanja koja će se dobiti tijekom periodičnih ispitivanja tijekom eksploatacije. Njihovim uspoređivanjem moći će se utvrditi je li tijekom rada došlo do promjene strukture, a posljedično i do promjene svojstava.

## 6. Literatura

- [1] Novosel, Mladen; Krumes, Dragomir; Kladarić, Ivica: *Željezni materijali konstrukcijski čelici*, Slavonski Brod, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2013.
- [2] Hrvatski normativni dokument: HRN ISO 3057: 1999 (ISO 3057:1998).
- [3] Kemijski sastav čelika 13CrMo4-5.  
URL: [http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=445](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=445)