

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

15. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
15th NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

8. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
8th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

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

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

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



Suorganizatori
Co-organizers



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

Osijek, 27.- 29.09.2017.

PLIN 2017

ZBRONIK RADOVA 8. MEĐUNARODNOG SKUPA O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI

PROCEEDINGS OF 8th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

Izdavač / Publisher: Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu

Email: 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
Zlatko TONKOVIĆ

PLIN 2017 Organizacijski odbor / PLIN 2017 Organization committee:

Marija RAOS, Hrvatska, predsjednica organizacijskog odbora
Tomislav GALETA, Hrvatska
Miroslav DUSPARA, Hrvatska
Josip CUMIN, Hrvatska
Renata ĐEKIĆ, Hrvatska
Nada FLANJAK, Hrvatska
Ismeta HASANBEGOVIĆ, BiH
Miroslav MAZUREK, Hrvatska
Ana RADONIĆ, Hrvatska
Pero RAOS, Hrvatska
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska

Sponzori / Sponsors



PLIN 2017 Počasni odbor / PLIN 2017 Honor committee:

Ivan SAMARDŽIĆ, predsjednik, Hrvatska
Bálint BACHMANN, Mađarska
Zvonko ERCEGOVAC, Hrvatska
Perica JUKIĆ, Hrvatska
Tomislav JUREKOVIĆ, Hrvatska
Damir PEĆUŠAK, Hrvatska
Božo UDOVIČIĆ, Hrvatska

PLIN 2017 Znanstveni odbor / PLIN 2017 Scientific committee:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska
Antun STOIĆ zamjenik pred., Hrvatska
Darko BAJIĆ, Crna Gora
Eraldo BANOVAČ, Hrvatska
Károly BELINA, Mađarska
Ivan BOŠNJAK, Hrvatska
Aida BUČO-SMAJIĆ, BiH
Zlatan ČAR, 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
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

POZVANA PREDAVANJA / INVITED LECTURES

UTJECAJ ZASJENJENJA NA FOTONAPONSKE SUSTAVE 1
D. Topić, G. Knežević, D. Šljivac, M. Žnidarec

ANALIZA SLOŽENIH TEHNIČKIH GVIK SUSTAVA KORIŠTENJEM DINAMIČKOG
MODELIRANJA 12
B. Delač, B. Pavković, K. Lenić

PRIMJENA INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U TEHNIČKIM SUSTAVIMA 33
H. Glavaš, T. Barić, M. Stojkov

PLIN I PLINSKA TEHNIKA / GAS AND GAS TECHNIQUE

PROCJENA RIZIKA PRILIKOM OŠTEĆENJA PLINOVODA UZROKOVANIH
ELEMENTARNIM NEPOGODAMA 51
M. Rašić, T. Šolić, D. Marić, M. Duspara, S. Aračić, I. Samardžić

DALJINSKO OČITANJE POTROŠNJE PLINA, UREĐAJI I PRINCIPI RADA 61
K. Pavelić, D. Hećimović, K. Stakor

PODACI O SUNČEVOM ZRAČENJU I MODELI PREDVIĐANJA SUNČEVOG ZRAČENJA
KAO FAKTOR UŠTEDE PRIRODNOG PLINA 67
K. Hornung, M. Stojkov, M. Hornung

MODELIRANJE POTROŠNJE PRIRODNOG PLINA JAVNIH ZGRADA INTELIGENTNOM
PODATKOVNOM ANALITIKOM 76
M. Zekić-Sušac

RAZVOJ PLINOFIKACIJE NA DISTRIBUTIVNOM PODRUČJU TVRTKE „PLIN PROJEKT“
D.O.O. - NOVA GRADIŠKA 86
M. Ivanović, L. Liović

PRIKAZ ISTRAŽIVANJA RAZVOJA SIMULACIJSKOG MODELA LANCA OPSKRBE
PRIRODNI PLINOM 97
J. Mesarić, D. Dujak, Z. Tonković

ELEKTROFUZIJSKO SPAJANJE CIJEVI ZA TRANSPORT PLINA IZRAĐENIH OD
POLIMERNIH MATERIJALA 110
V. Starčević, I. Baričić, A. Rebronja, I. Samardžić

BELOW-GRADE NATURAL GAS DISTRIBUTION STATION DESIGN FOR AN URBAN LOCATION..... 120

N. Bosković, A. Loge, R. Gomez, J. MacLennan, R. Dawes

TEHNOLOŠKI POSTUPCI IZRADE SPOJEVA VODOOPSKRBNOG SUSTAVA 133

F. Dako, A. Stoić, I. Samardžić, J. Zima, M. Duspara, D. Marić, V. Starčević, I. Putnik

ENERGETIKA / ENERGETICS

UČINKOVITA UPORABA ENERGIJE 139

S. Franjić

TERMODINAMIČKA ANALIZA RADA UGRAĐENIH PLINSKIH KONDENZACIJSKIH KOTLOVA..... 146

M. Živić, A. Galović, A. Barac, R. Končić

ENERGETSKA OBNOVA OBITELJSKIH KUĆA NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE..... 156

D. Hećimović, D. Vidaković, K. Pavelić

INDIKATORI KVARA U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI..... 166

M. Nađ, S. Kaluđer, K. Fekete

PRIMJENA RAČUNALNOG PROGRAMA THORIUM A+ ZA IZRAČUN UŠTEDE ZAMJENE STANDARDNOG KOTLA S KONDENZACIJSKIM I UGRADNOM TERMOREGULACIJSKIH VENTILA NA OGRJEVNA TIJELA..... 174

M. Rašić, D. I. Rendulić, H. Glavaš, D. Vidaković

SIMULACIJA UTJECAJA ZASJENJENJA NA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE FOTONAPONSKE ELEKTRANE 184

I. Radmanović, G. Knežević, D. Topić, K. Fekete

HEATING PERFORMANCES ANALYSIS A GHP WORKING WITH DIFFERENT HYDROCARBONS AND HEAT TRANSFER IN A BOREHOLE HEAT EXCHANGER..... 194

R. Bedoić, V. Filipan

BIOPLINSKE ELEKTRANE U SLAVONIJI I BARANJI 204

M. Ivanović, H. Glavaš, M. Vukobratović

UTJECAJ ATMOSFERSKOG PRAŽNENJA NA ELEKTRONIKU PLINSKIH BOJLERA .216

B. Perković, T. Barić, H. Glavaš

ENERGIJA IZ MULJA..... 226

T. Grizelj, E. Kamenjašević

ZAKONSKA I TEHNIČKA REGULATIVA U KORIŠTENJU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE230

E. Kamenjašević, T. Grizelj

KREMATORIJ – ENERGIJSKA EFIKASNOST I OBNOVLJIVI IZVOR ENERGIJE U ZAŠTITI PRIRODE I OKOLIŠA238

E. Kamenjašević, T. Grizelj

VODENI MULJ ALTERNATIVNI IZVOR ENERGIJE242

T. Grizelj, E. Kamenjašević

VODA / WATER

DISTRIBUTIVNA MREŽA VOĐENA POMOĆU SCADE247

F. Galović, S. Kaluđer, K. Fekete

PARAMETRI MODELIRANJA OBORINSKOG OTJECANJA SA ZELENIH URBANIH POVRŠINA.....257

D. Obradović

O RAZVOJU TEHNIČKIH SUSTAVA NA PRIMJERU VODNE REGULACIJE POBOSUĆA.....267

S. Maričić

VODA NAKON PRANJA VUNE – OTPAD I SIROVINA.....281

A. Tarbuk, B. Vojnović, A. Sutlović

OPTIMIZACIJA VODOOPSKRBE VIŠIH ZONA288

Em.Trožić, E. Smajić, En.Trožić

MOGUĆNOSTI KORIŠTENJA OBNOVLJIVIH IZVORA U VODOVODNIM SUSTAVIMA...294

E. Smajić, Em.Trožić, En.Trožić

EFEKTI USPOSTAVE DALJINSKOG NADZORA U VODOVODNOM SUSTAVU302

En.Trožić, B. Jakovac, Em.Trožić, E. Smajić

ISKUSTVA U ODRŽAVANJU VODOOPSKRBNOG SUSTAVA GRADA OSIJEKA311

F. Dako, P. Raos, A. Stoić, T. Šarić, G. Šimunović, I. Samardžić, J. Zima

PROIZVODNE TEHNOLOGIJE / PRODUCTION TECHNOLOGIES

RAZVOJNE FAZE I KLJUČNE KARAKTERISTIKE DBAAS CLOUD SERVISIA BAZIRANOG NA KONSOLIDIRANOM INFORMACIONOM MODELU KOMPANIJA ENERGETSKOG SEKTORA.....319

J. Dizdarević

OPTIMUM DESIGN OF FIXED STORAGE TANK ROOF.....	329
F. Orban, G.C. Nagy	
UNAPRJEĐENJE IZVOĐENJA GRAĐEVINSKIH RADOVA PRIMJENOM LEAN METODOLOGIJE.....	335
D. Vidaković, Z. Lacković, M. Radman-Funarić	
RECIKLIRANJE ŽARULJA.....	347
Z. Mrčela, G. Rozing, T. Malijurek	
NUMERIČKA ANALIZA UDARA ZRAČNOG VALA NA PLINSKU BOCU.....	353
I. Grgić, D. Šotola, Ž. Ivandić	
SILA DUBOKOG VUČENJA.....	363
B. Grizelj, D. Grizelj, V. Jurić Šolto	
REVIEW OF MODELLING METHODS AND COMPUTER MODELS IMPLEMENTED IN RECENT NOWADAYS CAD SYSTEMS.....	373
M. Karakašić, H. Glavaš, M. Kljajin	
MENADŽMENT CJEVOVODNIH MREŽA.....	382
M. Šavar, S. Krizmanić, I. Jovan	
ANALIZA RECIKLIČNOSTI ELEKTRIČNIH KUĆANSKIH APARATA.....	392
I. Lovrić, G. Rozing, A. Katić	
PRIMJENA INFRACRVENE TERMOGRAFIJE U ZGRADARSTVU.....	401
H. Krstić, M. Teni, Ž. Koški	



Utjecaj zasjenjenja na fotonaponske sustave *Influence of shading on the photovoltaic systems*

D. Topić*, G. Knežević, D. Šljivac, M. Žnidarec

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

* Autor za korespondenciju. E-mail: danijel.topic@ferit.hr

Sažetak

Ovaj rad istražuje utjecaj zasjenjenja na fotonaponske sustave. Napravljen je pregled literature koja proučava utjecaj zasjenjenja i nataložene prljavštine na proizvodnju električne energije fotonaponskih sustava. Proučiti će se utjecaj zasjenjenja na karakteristike polikristalnih fotonaponskih modula temeljen na mjerenjima i analizi rezultata. Na temelju mjerenja, modelirati i izračunati će se utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponskih sustava s polikristalnim fotonaponskim modulima.

Abstract

This paper deals with influence of shading on photovoltaic systems. Review of scientific papers dealing with influence of shading and influence of dust deposition on electricity generation of the photovoltaic systems will be shown. Influence of shading on characteristic of the multicrystalline PV module will be measured and investigated. Based on measurement results, influence of shading on electricity generation of the PV system with multicrystalline PV modules will be modelled and expected electricity generation will be calculated.

Ključne riječi: zasjenjenje, polikristalni fotonaponski moduli, fotonaponski sustav, gubici električne energije, proizvodnja električne energije.

1. Uvod

Tranzicija gospodarstava razvijenih zemalja svijeta u nisko-ugljično gospodarstvo rezultiralo je masovnom integracijom elektrana na obnovljive izvore energije u elektroenergetski sustav. Razne potpore i pozitivna klima vezana uz obnovljive izvore energije rezultirale su procijenjenim udjelom u ukupno proizvedenoj električnoj energiji u 2016. godini od 24,5%, od kojih je 16,6% proizvedeno u konvencionalnim hidroelektranama. Najveću godišnju stopu rasta instalirane snage imaju fotonaponski (FN) sustavi s oko 75 GW novoinstaliranih kapaciteta, što čini rast od oko 33% u odnosu na 2015. godinu. Prema [1], procijenjena ukupna instalirana snaga FN sustava u 2016. godini je iznosila 303 GW [1].

Kako je svaki sustav za proizvodnju električne energije ovisan o raznim čimbenicima koji utječu na njega tako su i FN sustavi ovisni o nekoliko ključnih čimbenika. Prvi i najvažniji čimbenik je intenzitet sunčevog zračenja koji je neophodan za proizvodnju električne energije. Dođe li do promjene u intenzitetu sunčevog zračenja, doći će i do promjene izlazne snage ovih sustava. Čimbenici kao što su temperatura, klimatski uvjeti i zasjenjenje dodatno unose gubitke u proizvodnji električne energije [2]. Utjecaj zasjenjenja na strujno-naponske karakteristike FN modula proučen je u [3], [4], [5], [6] i [7]. Rezultati istraživanja su pokazali da gubici snage uslijed zasjenjenja ovise o veličini i položaju zasjenjene površine FN modula te konfiguraciji FN ćelija i zaobilaznih dioda. Matematički model za određivanje optimalne konfiguracije FN sustava uzimajući u obzir među-redno zasjenjenje FN modula je obrađen u [8]. Utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije FN modula uzimajući u obzir orijentaciju, broj zaobilaznih dioda, konfiguraciju FN ćelija i među-redno zasjenjenje proučen je u [9]. Zasjenjenje površine FN modula može nastati i uslijed taloženja čestica tijekom vremena. Količina nataloženih čestica ovisi u geografskom položaju, uvjetima instalacije FN sustava te o klimatskim uvjetima. Prema [10], slučaju dugih razdoblja bez kiša, proizvodnja električne energije FN sustava se može smanjiti i za 15%. Utjecaj taloženja čestica na karakteristike proučeni su i u [11] i [12].

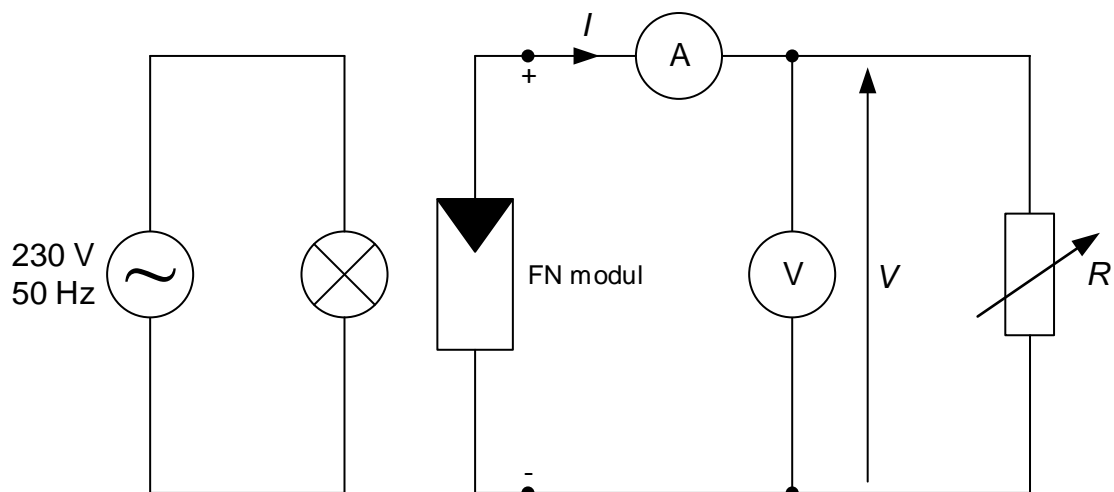
U 2. poglavlju rada opisana je metoda mjerenja $I-U$ karakteristika, tehničke karakteristike FN modula na kojemu su mjerenja izvršena te su opisani scenariji zasjenjenja. Rezultati mjerenja su grafički prikazani u 3. poglavlju pomoću $I-U$ i $P-U$ karakteristika. U 4. poglavlju je izvršena analiza utjecaja zasjenjenja na izlaznu snagu modula i proizvodnju električne energije FN sustava snage 10 kW_p.

2. Metodologija mjerenja

Sva mjerenja na FN modulima su izvršena u Laboratoriju za obnovljive izvore energije na FERIT-u Osijek.

2.1. Mjerenje $I-U$ karakteristika

Kao izvor svjetlosti, za mjerenja je korišten umjetni izvor svjetlosti sastavljen od halogenih žarulja. Valna duljina svjetlosti halogenih žarulja se najbolje podudara s valnom duljinom svjetlosti Sunca. Za mjerenje $I-U$ karakteristika korišteni su izmjenični izvor električne energije za napajanje izvora svjetlosti, piranometar za mjerenje intenziteta svjetlosnog zračenja, digitalni vatmetar za mjerenje napona i struje, regulacijski otpornik i spojni vodiči. Električna shema korištena za mjerenje $I-U$ karakteristike prikazana je na slici 1 dok je postupak mjerenja u laboratorijskim uvjetima prikazan na slici 2.



Slika 1. Shema strujnog kruga za mjerenje $I-U$ karakteristika



Slika 2. Mjerenje $I-U$ karakteristika u laboratoriju

Utjecaj zasjenjenja ispitivan je mjerenjima na polikristalnom FN modulu BISOL BMU-250. Tehničke karakteristike FN modula BISOL BMU-250 prikazane su u tablici 1 [13].

Tablica 1. Tehničke karakteristike FN modula BISOL BMU-250

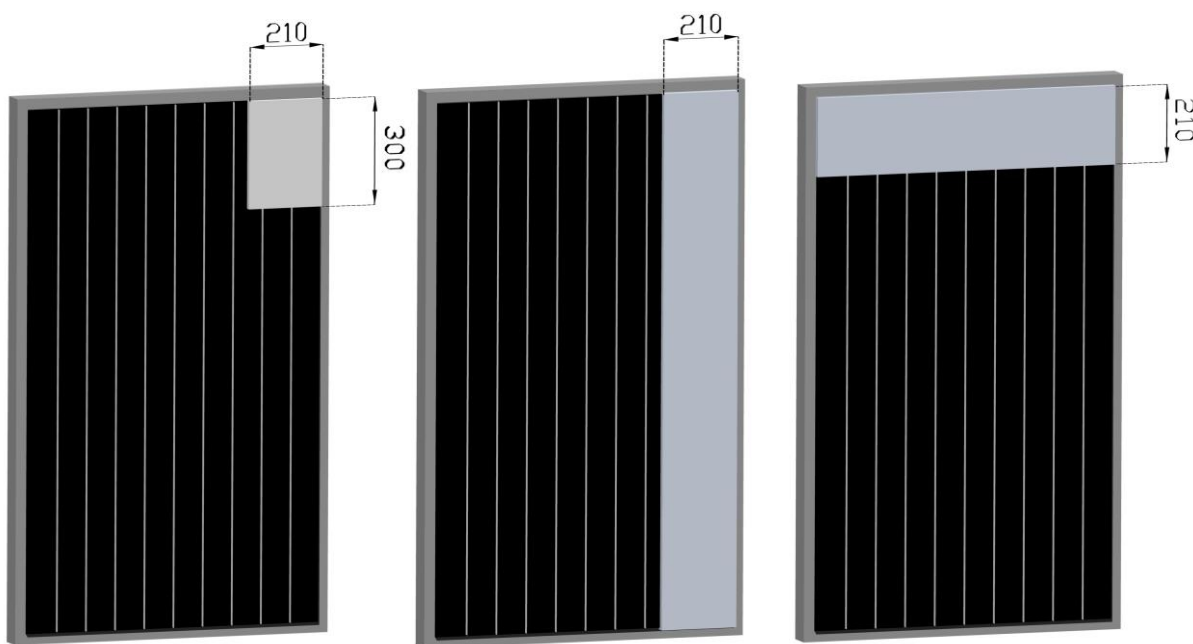
Nazivna snaga P_{mpp} [W]	250
Napon u točki maksimalne snage U_{mpp} [V]	30,3
Struja u točki maksimalne snage I_{mpp} [A]	8,25
Struja kratkog spoja I_{sc} [A]	8,75
Napon praznog hoda U_{oc} [V]	38,4
Učinkovitost FN modula η_m [%]	15,3
Učinkovitost FN ćelije η_c [%]	17,1
NOCT [°C]	44
Temperaturni koeficijent struje α [mA/°C]	+4,9
Temperaturni koeficijent napona β [mV/°C]	-121
Temperaturni koeficijent snage γ [%/°C]	-0,35
Dimenzije (D x Š x V) [mm x mm x mm]	1649 x 991 x 40

2.2. Simulacija zasjenjenja

U ovom radu je izvršeno snimanje I - U karakteristika za sljedeće scenarije zasjenjenja:

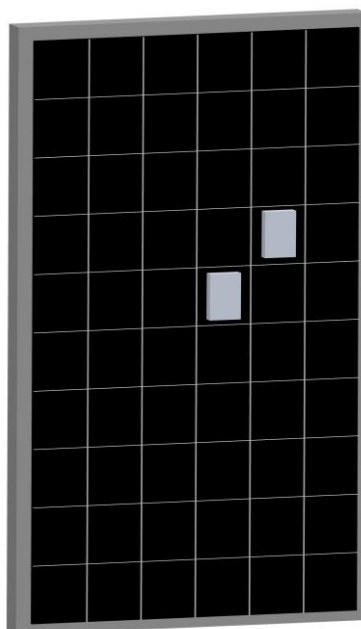
- Zasjenjen gornji desni kut
- Zasjenjen desni stupac
- Zasjenjen prvi red
- Simulacija ptičjeg izmeta kao zasjenjenja

U prvom scenariju zasjenjenja, gornji desni kut, zasjenjena je površina dimenzija 210 x 300 mm u gornjem desnom kutu FN modula. Ova vrsta scenarija prekriva dvije FN ćelije prva dva reda u stupcu najbližem desnom rubu. Površina scenarija zasjenjenja desnog stupca prekriva stupac FN ćelija uz desni rub modula čija širina iznosi 210 mm, a dužina mu je jednaka dužini cijelog FN panela. Površina scenarija zasjenjenja prvog reda prekriva red FN ćelija uz gornji rub modula čija je širina jednaka širini cijelog modula. Modeli FN modula s prva tri scenarija zasjenjenja te dimenzijama zasjenjene površine prikazani su na slici 3.



Slika 3. Prikaz scenarija zasjenjivanja FN modula: gornji desni kut (lijevo), desni stupac (sredina), prvi red (desno)

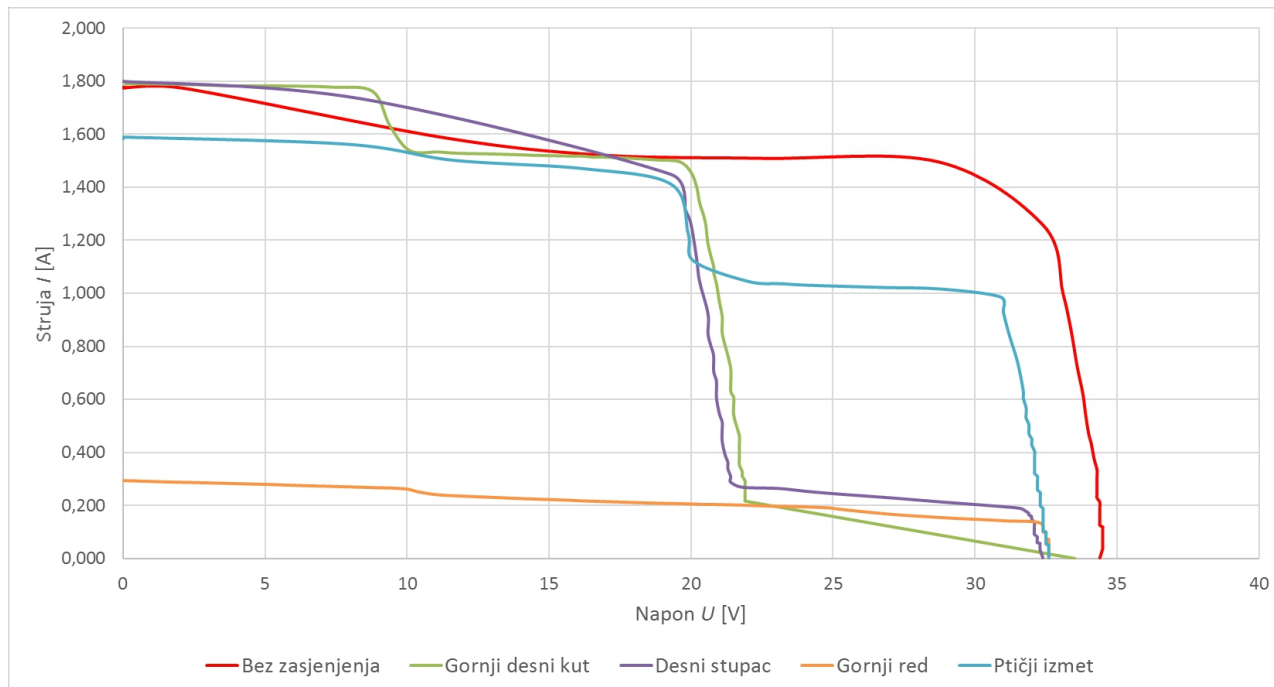
Zadnji scenarij zasjenjenja je simulacija ptičjeg izmeta. Zasjenjenje se sastoji od dvije površine dimenzija 70 x 60 mm koje simuliraju ptičji izmet. Prva površina je postavljena u 3. stupac, 5. red, a druga u 4. stupac, 4. red FN ćelija. Simulacija ptičjeg izmeta kao zasjenjenja na modelu FN modula prikazana je na slici 4.



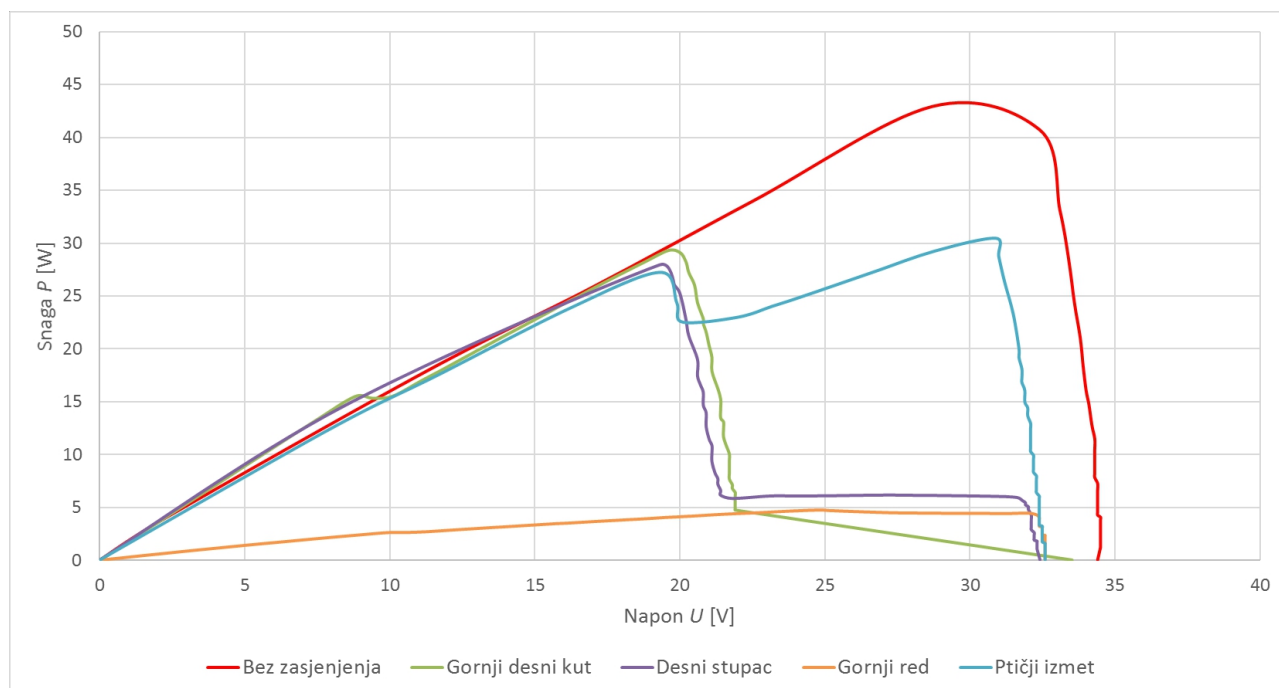
Slika 4. Simulacija ptičjeg izmeta kao zasjenjenja

3. Rezultati mjerenja

Na temelju mjerenja formirane su $I-U$ i $P-U$ karakteristike prikazane na slici 5 i slici 6 za različite scenarije zasjenjenja.

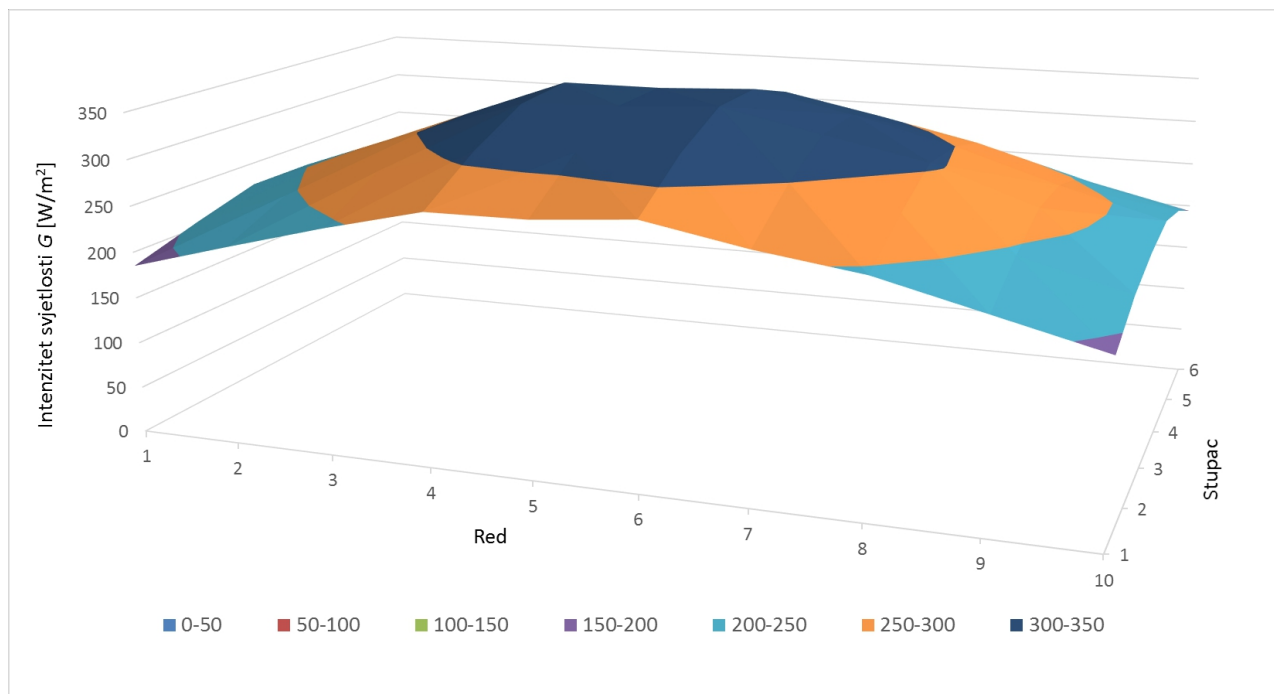


Slika 5. $I-U$ karakteristike za različite scenarije zasjenjenja



Slika 6. $P-U$ karakteristike za različite scenarije zasjenjenja

Srednja vrijednost intenziteta zračenja umjetnog izvora svjetlosti prilikom mjerenja svih *I-U* karakteristika iznosi 270,51 W/m². Distribucija intenziteta svjetlosti po površini FN modula BISOL BMU-250 prilikom mjerenja *I-U* karakteristika prikazana je na slici 7.



Slika 7. Distribucija intenziteta svjetlosti po površini FN modula

4. Analiza rezultata mjerenja

Izlazna snaga nezasićenog FN modula u točki maksimalne snage iznosi 42,93 W. Na osnovu mjerenja izračunati su postotni gubici snage uslijed zasjenjenja FN modula po pojedinim scenarijima u odnosu na izlaznu snagu nezasićenog modula prema relaciji

$$P_{g\%} = \frac{P_n - P_s}{P_n} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

gdje su:

$P_{g\%}$ – postotni gubitak snage

P_s – snaga u točki maksimalne snage za pojedini scenarij zasjenjenja

P_n – snaga u točki maksimalne snage nezasićenog FN modula.

Izlazna snaga u točki maksimalne snage za slučaj zasjenjenja prvog reda FN modula iznosi 4,74 W. Postotni gubitak snage za scenarij zasjenjenja prvog reda stoga iznosi:

$$P_{g\%} = \frac{P_n - P_s}{P_n} \cdot 100 = \frac{42,93 - 4,74}{42,93} \cdot 100 = 88,96 \%$$



Postotni gubici snage za sve scenarije zasjenjenja prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Postotni gubici snage za pojedini slučaj zasjenjenja

Scenarij zasjenjenja	Postotni gubitak snage [%]
Gornji desni kut	31,75
Desni stupac	34,91
Prvi red	88,96
Ptičji izmet	29,11

Utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije iz FN sustava izrađenog od polikristalnih FN modula izračunat je pomoću mjerenja o dozračenoj energiji Sunca preuzetih iz PVGIS sustava. Tablica 3 prikazuje prosječnu dnevnu i mjesečnu proizvedenu električnu energiju iz FN sustava snage 1 kW_p postavljenog na lokaciju zgrade FERIT-a Osijek za pojedine mjesece u godini [14]. FN sustav je načinjen od FN modula izrađenih od kristalnog silicija postavljenih pod kutom od 33°, koliko iznosi i optimalni kut za ovu lokaciju. FN moduli su orijentirani prema jugu, a pretpostavljeni gubici snage FN sustava iznose 14%.

Tablica 3. Dnevna i mjesečna prosječna proizvodnja električne energije iz FN sustava snage 1 kW_p za lokaciju zgrade FERIT-a Osijek

Mjesec	E_d [kWh]	E_m [kWh]
siječanj	1,36	42,1
veljača	2,12	59,5
ožujak	3,42	106
travanj	4,10	123
svibanj	4,32	134
lipanj	4,32	133
srpanj	4,6	143
kolovoz	4,44	138
rujan	3,55	10
listopad	2,96	91,9
studen	1,78	53,4
prosinac	1,09	33,8
Ukupno godišnje [kWh]		1164,7

Gdje su:

E_d – prosječna dnevna proizvedena električna energija iz FN sustava snage 1 kW_p

E_m – prosječna mjesečna proizvedena električna energija iz FN sustava snage 1 kW_p

Na osnovu mjerenja od mjesečnoj proizvodnji električne energije iz FN sustava snage 1 kW_p preuzetih iz PVGIS sustava za lokaciju zgrade FERIT-a Osijek, prikazanih u tablici

3, izračunati će se godišnja proizvedena električna energija za FN sustav snage 10 kW_p za nezasjenjenje FN module i za scenarij zasjenjenja ptičjim izmetom. Prema tablici 2, gubici izlazne snage FN modula za scenarij zasjenjenja ptičjim izmetom iznose 29,11%. Tablica 4 prikazuje prosječnu mjesečnu i godišnju proizvedenu električnu energiju iz FN sustava snage 10 kW_p za scenarij zasjenjenja ptičjim izmetom te za scenarij nezasjenjenih FN modula.

Tablica 4. Mjesečna i godišnja prosječna proizvodnja električne energije iz FN sustava snage 10 kW_p za scenarij zasjenjenja ptičjim izmetom i za nezasjenjene FN module

Mjesec	Zasjenjeni FN moduli (ptičji izmet) [kWh]	Nezasjenjeni FN moduli [kWh]	Gubici [kWh]
siječanj	298,45	421	122,55
veljača	421,8	595	173,2
ožujak	751,43	1060	308,57
travanj	871,95	1230	358,05
svibanj	949,93	1340	390,07
lipanj	942,84	1330	387,16
srpanj	1013,73	1430	416,27
kolovoz	978,28	1380	401,72
rujan	758,52	1070	311,48
listopad	651,48	919	267,52
studen	378,55	534	155,45
prosinac	239,61	338	98,39
Ukupno godišnje [kWh]	8256,56	11647	3390,44

5. Zaključak

Zasjenjenje ima ogroman utjecaj na izlazne karakteristike fotonaponskih modula. Prema mjerenjima se može zaključiti da zasjenjenje značajno deformira *I-U* i *P-U* karakteristike fotonaponskih modula. Stupanj deformacije ovisi o položaju i veličini zasjenjenje površine te o broju i spoju zaobilaznih dioda ugrađenih u fotonaponski modul. Analizom rezultata mjerenja najveći gubici snage se pojavljuju u slučaju zasjenjenja prvog reda fotonaponskog modula te iznose 88,96%. Razlog ovolikog iznosa gubitka snage je način spajanja zaobilaznih dioda jer se ovim scenarijem zasjenjenja propusno polariziraju sve zaobilazne diode te se premošćuju svi serijski spojeni stupci fotonaponskih ćelija. Iz rezultata mjerenja se vidi i vrlo mala razlika u postotnim gubicima između scenarija zasjenjenja gornjeg desnog kuta i cijelog desnog, iako je razlika u zasjenjenoj površini velika. Razlog maloj razlici postotnih gubitaka snage je također premoštenje stupaca fotonaponskih ćelija pomoću zaobilaznih dioda.

Promatran je i utjecaj zasjenjenja površine fotonaponskog modula ptičjim izmetom na godišnju proizvodnju električne energije fotonaponskog sustava snage 10 kW_p. Utjecaj je izračunat pomoću izmjerenjih *I-U* karakteristika i podataka o dnevnoj i mjesečnoj prosječnoj proizvodnji električne energije iz 1 kW_p fotonaponskog sustava za pojedine

mjesece u godini, preuzetih iz PVGIS sustava. Zasjenjenje je smanjilo godišnju proizvedenu električnu energiju iz promatranog fotonaponskog sustava za 3390,44 kWh. Ovim smanjenjem se vidi velik utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije, a samim time i utjecaj na vrijeme povrata investicije.

6. Literatura

- [1] REN21 2017. Renewables 2017 Global Status Report // *REN21 Secretariat*, Paris, 2017.
- [2] Masters, Gilbert M. Renewable and Efficient Electric Power Systems. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [3] Seme, Sebastijan; Štumberger, Gorazd. Shading effects in the IU characteristic of a mono-crystalline PV module // *Proceedings of XII INTERNATIONAL PHD WORKSHOP OWD 2010 / Kłapyta, Grzegorz* (ISBN 83-922242-7-2). Wisła, Poljska, 23.10.-26.10.2010.
- [4] Zulu, Andrew; Kashweka. The Influence of Artificial Light and Shading on Photovoltaic Solar Panels // *International Journal of Energy Engineering*, 3(2013), 1; 15-20. (ISSN 2163-1891)
- [5] Sun, Yunli; Li, Xiangzhi; Hong, Ruijiang; Shen, Hui. Analysis on the Effect of Shading on the Characteristics of Large-scale on-grid PV System in China // *Energy and Power Engineering*, 5(2013), 4B; 215-218.
- [6] Dolara, Alberto; Lazariou, George Cristian; Leva, Sonia; Manzolini, Giampaolo. Experimental investigation of partial shading scenarios on PV(photovoltaic) modules // *Energy*, 55(2013); 466-475.
- [7] Žnidarec, Matej; Topić, Danijel; Bušić, Josip. Influence of Shading on I-V Characteristics of Thin Film PV Modules // *Journal of Energy Technology*, 10(2017), 1; 47-58.
- [8] Topić, Danijel; Knežević, Goran; Fekete, Krešimir. The mathematical model for finding an optimal PV system configuration for the given installation area providing a maximal lifetime profit // *Solar Energy*, 144(2017); 750-757.
- [9] Knežević, Goran; Topić, Danijel; Žnidarec, Matej; Štumberger, Bojan; Hadžiselimović, Miralem; Seme, Sebastijan. Comparison of the Shading Influence on PV Modules of Different Technologies // *Proceeding of 10th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Protection / Krope, Jurij; Olabi, Abdul Ghani; Goričanec, Darko; Božičnik, Stanislav* (ISBN 978-961-286-061-5). Bled, Slovenija, 27.6.-30.6.2017.
- [10] Weber, Bernd; Quiñones, Angélica; Almanza, Rafael; Duran, M. Dolores. Performance Reduction of PV Systems by Dust Deposition // *Energy Procedia*, 57(2014); 99-108.
- [11] Rao, Abhishek; Pillai, Rohit; Mani, Montro; Ramamurthy, Praveen. Influence of Dust Deposition on Photovoltaic Panel Performance // *Energy Procedia*, 54(2014); 690-700.

- [12] Saidan, Motasem; Albaali, Abdul Ghani; Alasis, Emil; Kaldellis, John K. Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment // *Renewable Energy*, 92(2016); 499-505.
- [13] Bisol BMU-250. http://www.bisol.com/images/Datasheets/CRO/BISOL_Premium_BMU_HR.pdf pristupljeno 7.7.2017.
- [14] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> pristupljeno 17.7.2017.

Analiza složenih tehničkih GVIK sustava korištenjem dinamičkog modeliranja

Analysis of Complex HVAC Systems Using Dynamic Modelling

B. Delač*, B. Pavković, K. Lenić

Sveučilište u Rijeci – Tehnički fakultet, Rijeka, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: boris.delac@riteh.hr

Sažetak

U članku je prikazan pristup analizi različitih tehničkih sustava s prirodnim plinom kao energentom pogodnih za primjenu u zgradama sa složenim GVIK sustavima korištenjem dinamičkih numeričkih modela. Pristup se bazira na primjeni numeričkih dinamičkih simulacija zgrade s integriranim tehničkim sustavima. Pristupom se uvažava međusobna interakcija zgrade i tehničkih sustava kroz njeno oblikovanje i svojstva koja utječu na potrošnju energije, karakteristiku opreme, konfiguraciju i strategiju upravljanja tehničkih sustava, uz uvažavanje promjenjivih rubnih uvjeta kao što su meteorološki uvjeti i način korištenja. Modeliranje potrošnje toplinske energije provedeno je na višezonskom modelu zgrade u programskom paketu Trnsys. Sustavi su modelirani detaljnim pristupom te prikazani i razmotreni s tehničkog i ekonomskog aspekta. Prikazani pristup primijenjen je na studiji slučaja hotela na jadranskoj obali.

Abstract

The paper presents the methodology for analysis of feasibility of different energy production systems using natural gas as energy source suitable for application in buildings with complex HVAC systems using dynamic modelling. The approach is based on the application of numerical dynamic simulation of a building with integrated technical system. The mutual interaction of building with its technical system is comprised through its design and features that affect energy consumption, characteristic of equipment, design and management strategy of a technical system, including dynamic boundary conditions such as occupants' behavior and meteorological conditions. Modelling is carried out using Trnsys software. System modeling is detailed and system solutions are presented and discussed from technical and financial viewpoint. The methodology presented in the paper has been applied for a case study of the hotel at the Croatian Adriatic coast, with emphasis on systems.

Ključne riječi: dinamička numerička simulacija, složeni GVIK sustavi, plin, kogeneracija

1. Uvod

Simulacije složenih tehničkih sustava proračunima s većim vremenskim korakom (dan, mjesec) ne osiguravaju pouzdana rješenja i detaljan uvid u radne parametre sustava. Iz tog razloga provedena je sveobuhvatna analiza opravdanosti primjene složenih tehničkih GVIK sustava korištenjem dinamičkog modeliranja na primjeru obnove hotela u jadranskoj regiji [1]. Analiza je provedena na višezonskom toplinskom modelu zgrade ugrađenom u dinamičku simulaciju putem sučelja Trnsys [2]. Uz simulaciju potrošnje energije zgrade provedena je simulacija rada tehničkih sustava GVIK koji koriste plin kao energent. Cilj analize bio je utvrditi prednosti numeričkih dinamičkih simulacija pred konvencionalnim proračunima s većim vremenskim korakom (mjesec, sezona, godina) kod odabira i projektiranja najpovoljnijeg sustava za zadana svojstva zgrade.

2. Predmet istraživanja

2.1. Zgrada

Kako bi analiza primjene složenih termotehničkih sustava zgrade bila vjerodostojna, provedena je na konkretnom primjeru koji na adekvatan način prezentira grupu objekata definirane prema prilogu I. Direktive o energetske svojstvima zgrada 2010/31/EU (preinaka) [3] te je kao primjer odabran hotel na jadranskoj obali karakterističan za vrijeme gradnje 70-ih godina 20. stoljeća. Korisna površina hotela je 16030 m².

Ovaj se tip zgrade zbog cjelogodišnje, kompleksne i reprezentativne strukture potrošnje toplinske energije pokazuje pogodnim za primjenu složenih tehničkih rješenja kao i ugradnju opreme većeg kapaciteta. Uz to, u praksi se pokazuje potreba obnove ove vrste i tipologije objekata i njihovih sustava obzirom na vrijeme gradnje i energetske potrošnju.

Simulacijski model analizirane zgrade sadrži 92 toplinske zone koje predstavljaju prostor specifične namjene i načina korištenja. Korišten je višezonski toplinski modela Type 56 iz simulacijskog okruženja Trnsys [2]. Model je zasnovan na energetske bilanci toplinske zone koja obuhvaća zrak u prostoriji te sve građevinske elemente – zidove, stropove, prozore i vrata (sa svim njihovim svojstvima), namještaj, prisutne ljude, rasvjetu i druge potencijalne izvore ili ponore topline. Zona je zatvoreni prostor omeđen zidovima, podom i stropom. Jedna toplinska zona može sadržavati i više „zračnih čvorova“ koji opisuju stanje zraka, dakle stanja zraka unutar zone mogu biti različita, ovisno o uvjetima proračuna. U svakoj zoni stanje u danom trenutku je homogeno. Simulacijski model zidova uzima u obzir njihova svojstva koja utječu na prolaz topline: koeficijente prolaza topline, akumulacijsku masu, boju i sl. Za sve površine kojima je omeđena zona određen je tip građevnog elementa te sastav i debljina građevinskih slojeva. Za svaki sloj poznata je gustoća, koeficijent toplinske vodljivosti i specifični toplinski kapacitet materijala. Iz bilance energije za takav zid dobivaju se toplinski tokovi između okoline i unutarnjih prostora s uključenom akumulacijom topline u zidovima, utjecajem mase zida na smanjenje amplitude temperaturnih oscilacija i vremenski fazni pomak vanjskih temperaturnih oscilacija u odnosu na promjenu temperature u prostoru.

Infiltracija vanjskog zraka simulirana je povezivanjem toplinskog modela s modelom strujanja zraka Trnflow [4] u kojem količina vanjskog zraka koja dopijeva u prostor

infiltracijom ovisi o intenzitetu tlaka vjetra na vanjske zidove i razlici temperatura unutarnjeg i vanjskog zraka.

Prema namjeni svake od zona određene su projektne temperature grijanja i hlađenja prostora te dinamike opterećenja prostora kojom se utječe na to da li je pojedinu zonu u vremenskom koraku simulacije potrebno grijati ili hladiti, da li su prisutni toplinski dobici od ljudi i rasvjete. Dobici rasvjete računaju se u ovoj simulaciji sa zadanom prosječnom vrijednošću izraženom po jedinici površine zone, uvažavajući vremensku dinamiku tijekom dana.

Za distribuciju i predaju toplinske energije u prostore zgrade predviđen je vodeno – zračni klima sustav u kojem ventilatorski konvektori (četverocijevni sustav) u prostorima zadovoljavaju potreban učinak grijanja i hlađenja, a svjež se zrak u higijenski nužnoj količini priprema u jedinicama za obradu zraka. Sustav mehaničke ventilacije simuliran je cjelovitim modelom jedinice za obradu zraka. Određivanjem željene temperature i apsolutne vlažnosti zraka na izlazu iz jedinice model može simulirati rad jedinice za obradu zraka s grijanjem, hlađenjem, odvlaživanjem i ovlaživanjem zraka s rekuperatorom toplinske energije. Ukupna količina svježeg zraka za ovaj objekt iznosi 80000 m³/h, a obrađuje se u 22 jedinice za obradu zraka.

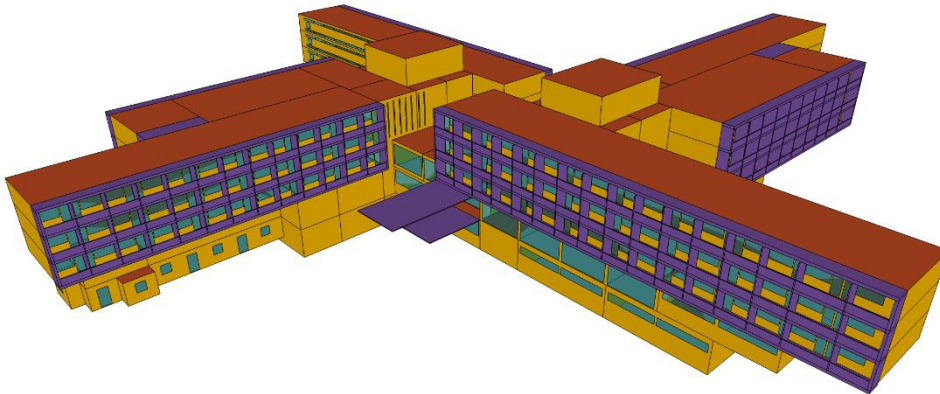
Unutarnji bazen hotela simuliran je cjelovitim modelom bazena koji za proračun potrebne topline za zagrijavanje bazenske vode koji uključuju gubitke topline ishlapljivanjem, gubitke topline zbog nadoknade vode i eventualne toplinske dobitke zbog sunčevog zračenja. Model je povezan s modelima toplinske zone hale bazena, jedinica za obradu zraka, izmjenjivača topline za grijanje bazenske vode, regulatora temperature vode u bazenu i meteoroloških uvjeta iz kojih u svakom vremenskom koraku preuzima podatke.

Cjelogodišnja simulacija potrošnje energije provedena je za lokaciju Pula. Kako mjereni podaci za lokaciju Pula u vremenskom koraku manjem od jedan sat ne postoje, potrebni meteorološki podaci su izrađeni za vremenski korak od jednog sata programskim paketom Meteororm [5]. Za interpolaciju su korištene mjesečne vrijednosti dozračene sunčeve energije, srednje temperature i relativne vlažnosti zraka, minimumi i maksimumi temperature i brzina vjetra preuzeti iz Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama [6]. Na interpolirane vrijednosti temperature zraka i brzine vjetra utjecali su geografski parametre lokacije kroz okruženje, udaljenost od vodene površine ili planina, izgrađenost i orijentaciju. Utjecaj morske obale uzet je u obzir s povećanom brzinom vjetra u svim mjesecima, povećanom temperaturom zimi i nižom temperaturom ljeti. Prema analizama dostupnim u literaturi niz ovako izrađenih podataka može zamijeniti dugotrajno mjerene podatke [7].

U odnosu na trenutnu praksu proračuna toplinskih potreba zgrade prema normi EN 13790 koja se koristi u Republici Hrvatskoj moguće je dobiti opsežniji i pouzdaniji niz podataka koji opisuju potrošnju toplinske energije zgrade koja kasnije utječe i na samu pouzdanost simulacije tehničkog sustava. Opisani pristup pokazuje se kao jedan od najprikladnijih alata za analizu energetske bilance zgrade i njenih sustava s gledišta točnosti i utroška računalnog vremena.



Razvijenim numeričkim dinamičkim simulacijskim modelom zgrade određena je potrošnja korisne energije za grijanje i hlađenje i projektni učinci za grijanje i hlađenje koji su kasnije utjecali na odabir opreme u sustavu. Kako je razmatrani objekt pogodan za obnovu kako tehničkog sustava, tako i vanjske ovojnice, za daljnja razmatranja usvojeno je da je vanjska ovojnica objekta dovedena na stanje koje odgovara danas važećim hrvatskim propisima [6].

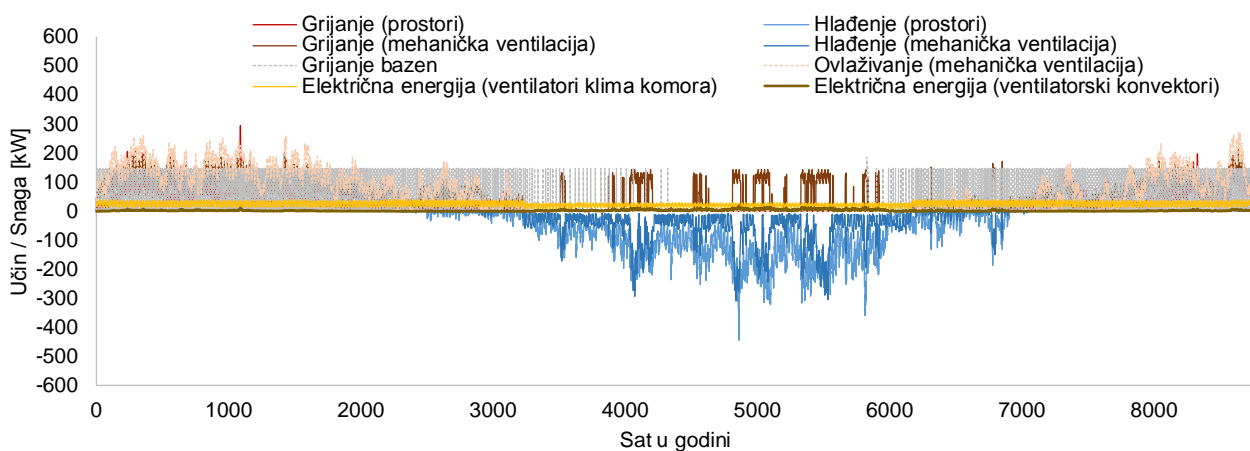


Slika 1. Trodimenzionalni model zgrade

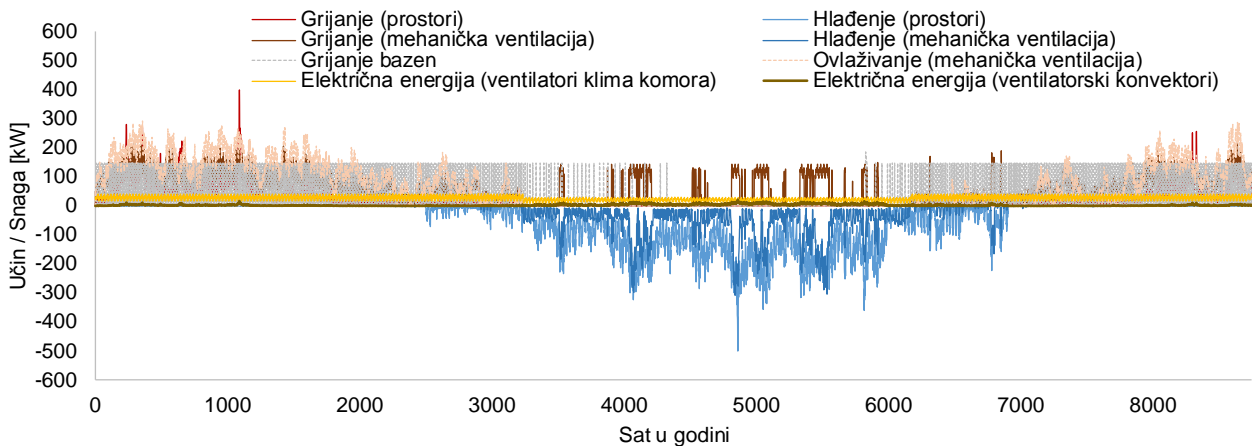
Izlazne rezultate energetske simulacije u vremenskom koraku od 1 sat čine korisne toplinske energije za grijanje prostora, zraka u sustavu mehaničke ventilacije i bazenske vode te hlađenje prostora i zraka u sustavu mehaničke ventilacije, kao i električna energija koja se troši u sustavu distribucije u prostorima (ventilatori jedinica za obradu zraka, ventilatori ventilatorskih konvektora) i za potrebu ovlaživanja zraka u sustavu mehaničke ventilacije.

Potrošnja električne energije za rad ventilatorskih konvektora izračunata je za 350 ventilatorskih konvektora snage 100 W kod srednje brzine vrtnje. Električna energija za rad parnih ovlaživača slijedi iz potrebne energije za proizvodnju pare za ovlaživanje zraka. Energija za rad tlačnih i odsisnih ventilatora jedinica za obradu zraka uzima u obzir dobavu i otpore strujanja u distribucijskom sustavu zraka. Dinamika potrebnih učinaka iz cjelogodišnje simulacije provedene s vremenskim korakom od jedan sat u pretpostavljenoj nižoj popunjenosti hotela prikazana je na slici 2. Površina ispod krivulja predstavlja u odgovarajućem mjerilu potrošnju energije. Zbog primjene četverocijevnog sustava za potpunu klimatizaciju, u nekim se dijelovima godine istovremeno pojavljuje potreba i za grijanjem i za hlađenjem. Ovi podaci se putem izlazne datoteke prenose u model tehničkog sustava koji provodi simulaciju prema prikazanim toplinskim opterećenjima. Na slici nije prikazana potrošnja toplinske energije za zagrijavanje sanitarne vode jer je ona zbog specifičnih svojstava sustava morala biti naknadno uključena u simulacijskom modelu svakoga od razmatranih tehničkih sustava. Tijekom ljeta pojavljuje se potreba za grijanjem zbog cjelogodišnjeg zagrijavanja bazenske vode kao i zbog dogrijavanja u sustavu mehaničke ventilacije nakon razvlaživanja (potrebnog da bi se ostvarila puna kontrola relativne vlage u prostoru).

Na slici 2 se vide maksimalni učinci grijanja (295 kW) i hlađenja (444 kW) prostora koji se pojavljuju u cjelogodišnjoj simulaciji. Kada se simulacija provede u nepromjenjivim uvjetima koji odgovaraju projektnim vanjskim uvjetima (zimi -6°C i 75% r.v., ljeti 31°C i 65% r.v.) maksimumi iznose 830 kW (grijanje prostora) i 801 kW (hlađenje prostora), odnosno u mehaničkoj ventilaciji uz 70% povrata topline 340 kW (grijanje zraka) i 657 kW (hlađenje zraka). Učinci cjelogodišnje simulacije ne mogu se primijeniti za dimenzioniranje opreme tehničkog sustava jer ne predstavljaju najnepovoljniji slučaj u kojem se sve toplinske zone zgrade griju ili hlade pri vanjskim projektnim uvjetima nego učinke pri pretpostavljenoj dinamici rada. Integriranjem površina ispod krivulja učinaka za grijanje i hlađenje prostora zraka u mehaničkoj ventilaciji dobivaju se korisna energija za grijanje u iznosu 665371 kWh i korisna energija za hlađenje u iznosu 556207 kWh. Ako se simulacija provede za slučaj potpune cjelogodišnje popunjenosti hotela dobiva se situacija prikazana na slici 3. Tada su maksimalni učinci koji se pojavljuju u cjelogodišnjoj simulaciji nešto veći i iznose 400 kW za grijanje i 500 kW za hlađenje. Kao posljedica višeg stupnja toplinske izolacije vanjske ovojnice i akumulacije topline u objektu, korisne energije za grijanje i hlađenje nisu značajno veće te korisna energija za grijanje iznosi 686533 kWh, a korisna energija za hlađenje 608295 kWh. Potpuna popunjenost hotela za posljedicu ima i veću potrošnju energije za grijanje potrošne vode koja s oko 662102 kWh raste na 981109 kWh, ali kako je već rečeno slike 2 i 3 ne sadrže te podatke.



Slika 2. Rezultati dinamičke simulacije provedene na modelu zgrade – djelomična popunjenost hotela



Slika 3. Rezultati dinamičke simulacije provedene na modelu zgrade – puna popunjenost hotela

2.2. Sustavi

U nastavku su opisani analizirani sustavi i numerički dinamički modeli sustava za proizvodnju toplinske energije za grijanje i hlađenje i električne energije razvijeni u simulacijskom okruženju Trnsys. Proizvedena električna energija troši se direktno u sustavu i to isključivo za rad tehničkih sustava zgrade uz mogućnost isporuke u elektrodistribucijsku mrežu. Analizirano je 5 sustava koji koriste prirodni plin kao energent i prikazani su u Tablici 1. Radi preglednosti prikazana korištene su sljedeće oznake: PK – plinski kotao, KOG - plinski kogeneracijski modul, ARU – apsorpcijski rashladni uređaj, KRU – kompresijski rashladni uređaj, KDT V-V – kompresijska dizalica topline voda – voda, SK – solarni toplinski kolektor.

Tablica 1. Simulacijski modeli sustava

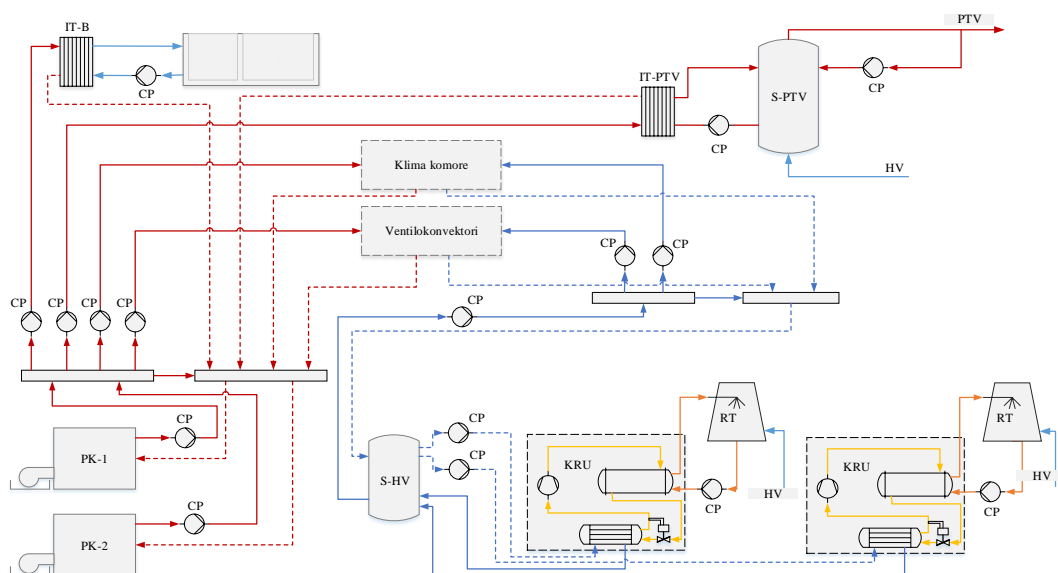
Oznaka sustava	Proizvodnja toplinske energije za grijanje	Proizvodnja toplinske energije za hlađenje	Proizvodnja električne energije
1 - PK – KRU	PK	KRU	-
2 - PK – ARU	PK	ARU	-
3 - PK – SK – ARU	PK – SK	ARU	-
4 - KDT V-V – KOG	KDT V-V	KDT V-V	KOG
5 - KDT V-V – KOG – ARU	KDT V-V	KDT V-V / ARU	KOG

Simulacijski modeli sadrže podsustave proizvodnje i potrošnje toplinske, rashladne i električne energije. Proizvedena toplinska energija u sustavu grijanja koristi se za grijanje prostora, zraka u klima komorama, pripremu PTV i grijanje bazenske vode ljeti i zimi. Kod svih sustava osigurana je regulacija temperature u krugu ventilatorskih konvektora i jedinica za obradu zraka na razini 50/45°C. Potrošna voda grije se na temperaturu 60°C putem izmjenjivača topline učinka 450 kW, a osigurano je povremeno zagrijavanje na 70°C radi zaštite od štetnih mikroorganizama. Učinak izmjenjivača topline za grijanje bazenske vode je 200 kW. Radna temperatura u krugu hlađenja u svim sustavima iznosi 7/12°C.

Sustav 1 – PK KRU

Dinamički simulacijski model sustava sadrži kotlove s plinskim plamenicima i vodom hlađeni kompresijski rashladni uređaj s odbacivanjem kondenzatorske topline preko rashladnog tornja prema slici 4. Simulacijski model kotla u danom vremenskom koraku izračunava potrošnju prirodnog plina za proizvodnju toplinske energije ovisno o zadanoj izlaznoj temperaturi vode iz kotla, stupnju djelovanja i stupnju djelomičnog opterećenja kotla. Dva kotla na prirodni plin rade na način da jedan učinka 700 kW služi kao ljetni kotao i pokriva potrebni učinak za grijanje bazenske vode, pripremu PTV i dogrijavanje zraka za potrebe ljetne klimatizacije, dok drugi kotao 1300 kW pokriva učinak za grijanje ventilokonvektorima i grijanje zraka u klima komorama.

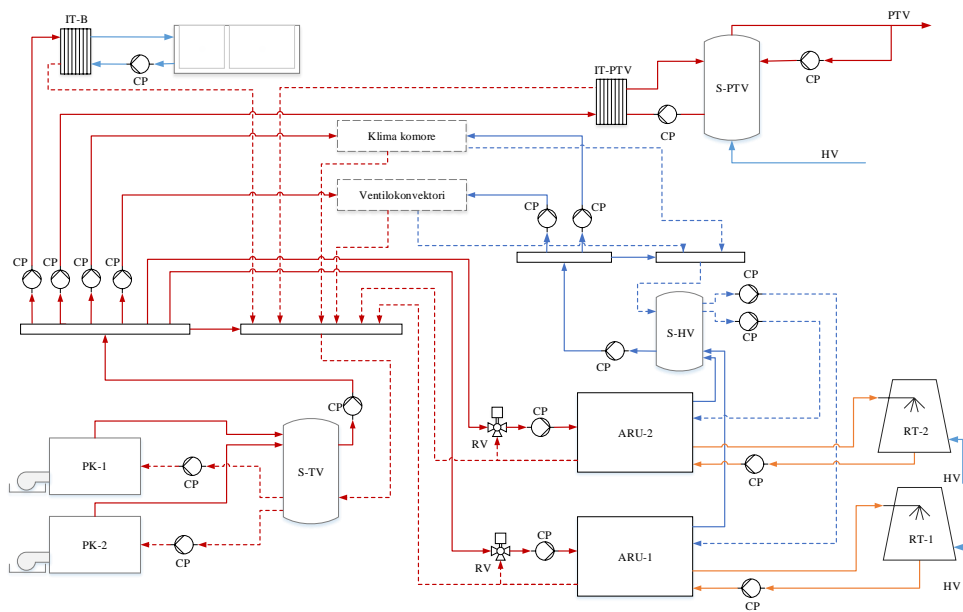
Dva kompresijska rashladna uređaja su tipa voda – voda s hlađenjem kondenzatora putem rashladnog tornja. U krugu hlađene vode ugrađen je inercijski spremnik.



Slika 4. Sustav 1 – PK KRU

Sustav 2 – PK - ARU

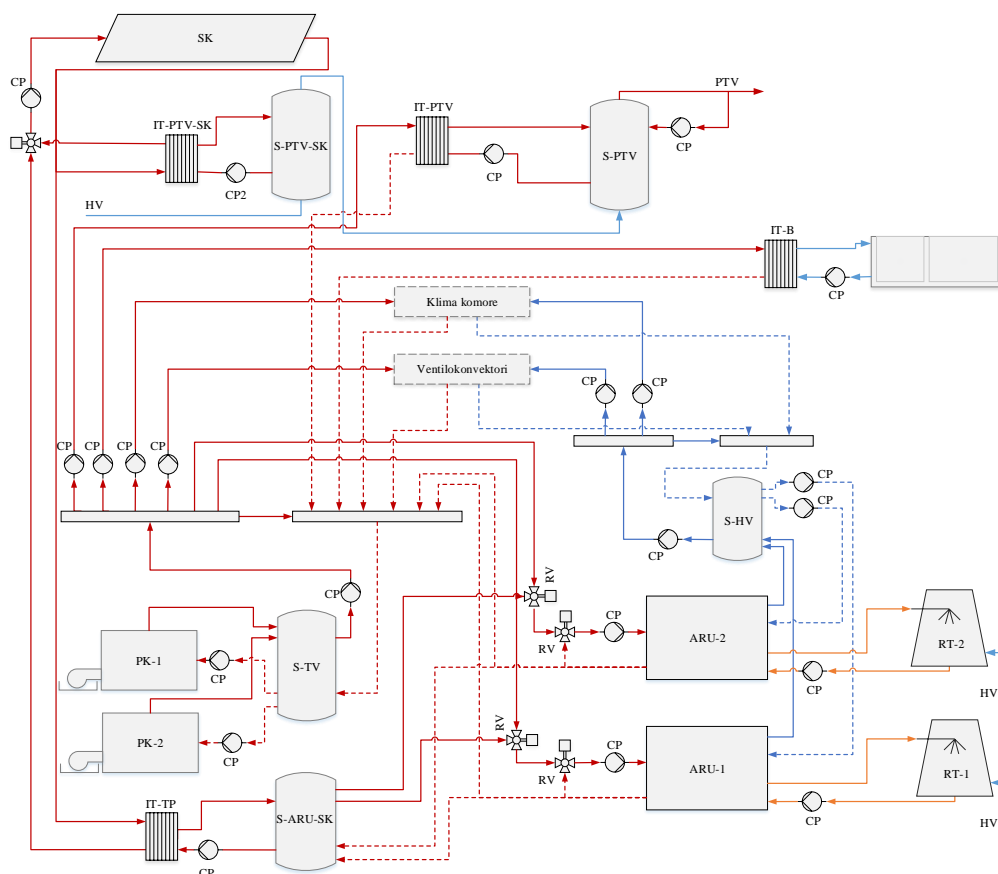
Dinamički simulacijski model sustava sadrži elemente prema slici 5. Potrebna toplinska energija za grijanje i hlađenje osigurava se radom dvaju plinskih kotlova, učinka svaki po 1100 kW. Toplinska energija za hlađenje proizvodi se radom paralelno spojenih jedno stupanjskih apsorpcijskih rashladnih uređaja (ARU) ukupnog učinka 1500 kW koji za pogon koriste toplu vodu zagrijanu plinskim kotlovima. Odbacivanje topline s kondenzatora i apsorbira rashladnih uređaja je putem rashladnog tornja. Kako je predviđena primjena toplovodnih kotlova, predviđeni ARU su jednostupanjski. U krugu hlađene vode rashladnih uređaja ugrađen je inercijski spremnik.



Slika 5. Sustav 2 – PK – ARU

Sustav 3 – PK – SK – ARU

U odnosu na prethodni sustav, razmotrena je varijanta dodatnog korištenja sunčeve energije za pogon apsorpcijskih rashladnih uređaja i grijanje potrošne vode putem vakuumskih solarnih toplinskih kolektora prema slici 6. Solarni kolektori ukupne površine apsorbera 600 m² se u sezoni hlađenja primarno koriste za pogon rashladnog uređaja, a van sezone za grijanje potrošne vode. Toplina solarnih kolektora za pogon rashladnog uređaja akumulira se u spremniku i tek kada je temperatura u spremniku veća od 80°C sustav radi pogonjen toplinom solarnih kolektora. Udio topline sa solarnih kolektora u toplini na generatoru rashladnog uređaja smanjuje potrošnju primarne energije i povećava učinkovitost sustava.



Slika 6. Sustav 3 – PK – ARU

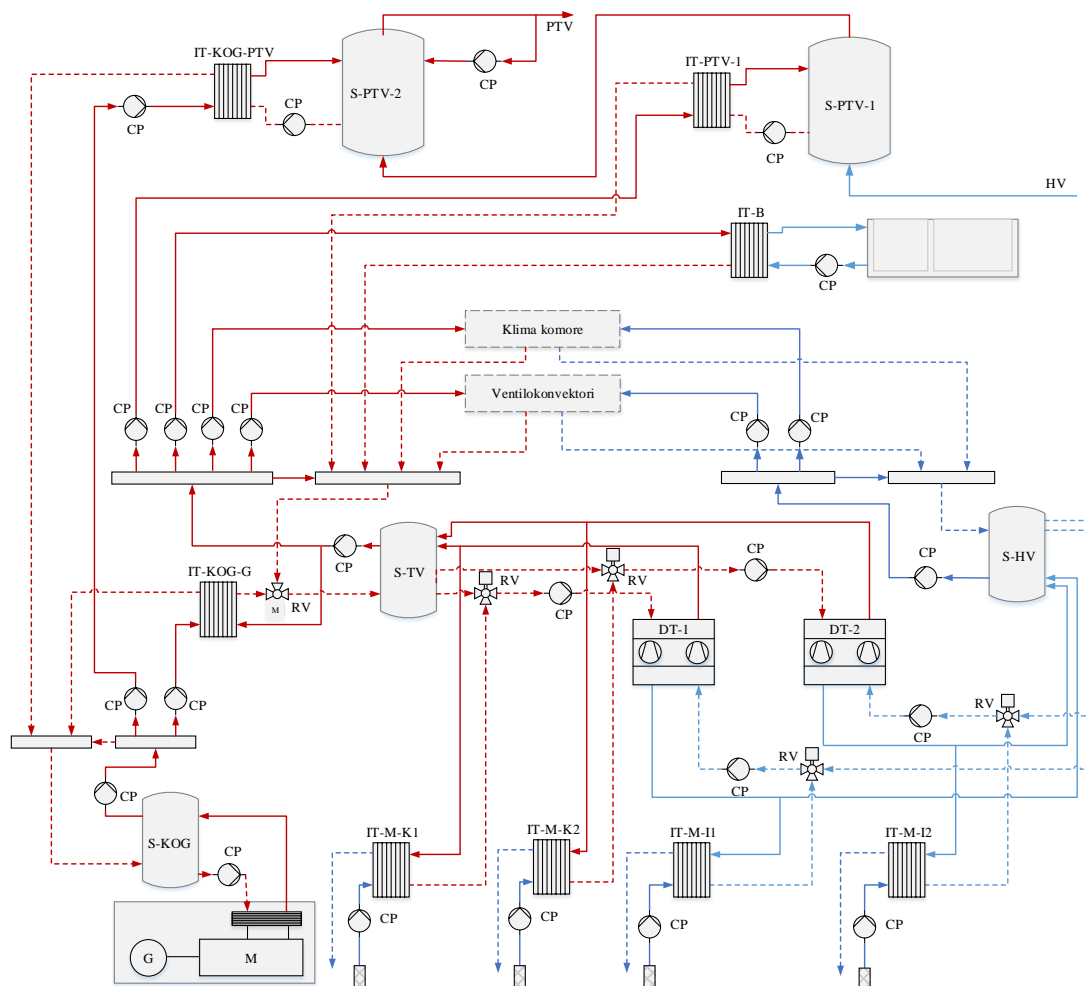
Sustav 4 – KDT V-V – KOG

Sustav predviđa sustav trigeneracije gdje je osnovno grijanje i hlađenje kompresijskim dizalicama topline voda – voda s morem kao dostupnim toplinskim izvorom i ponorom prema slici 7. U zimskom režimu rada dizalice topline preuzimaju toplinu s morske vode u krug isparivača preuzima putem izmjenjivača topline. Ugrijava voda iz kondenzatora dizalica topline akumulira se u spremniku koji se tijekom cijele godine održava na temperaturi 50 °C. U ljetnom režimu rada dizalice topline rade u režimima grijanja, hlađenja ili povrata topline.

Zbog visoke potrošnje električne energije i angažirane električne snage u sustavu s kompresijskim dizalicama topline određena ekonomska poboljšanja mogu se postići vlastitom proizvodnjom električne i toplinske energije tj. ugradnjom kogeneracijskog modula. Električna energija proizvedena radom kogeneracijskog uređaja prvenstveno se koristi za vlastitu potrošnju, a višak proizvedene energije moguće je prodati u mrežu. Proizvedena toplinska energija u kogeneraciji koristi se u sustavu grijanja i za zagrijavanje potrošne vode.

Kogeneracijski uređaj električne snage 199 kW je paketne izvedbe pogonjen prirodnim plinom i modificiran na način da se ukupna toplina motora i ispušnih plinova prikupljena u „unutarnjem“ sustavu hlađenja predaje toploj vodi preko jednog izmjenjivača topline građenog za temperaturni režim 77/85°C. U koncipiranom sustavu predviđena je regulacija

rada uređaja prema potrebnom toplinskom opterećenju. Uređajem je moguće upravljati stupnjevito, u koracima 50%, 75% i 100% električne snage (60 do 100% toplinskog opterećenja). Radi uravnoteženja dinamike rada kogeneracijskog uređaja u krugu uređaja ugrađen je inercijski spremnik.



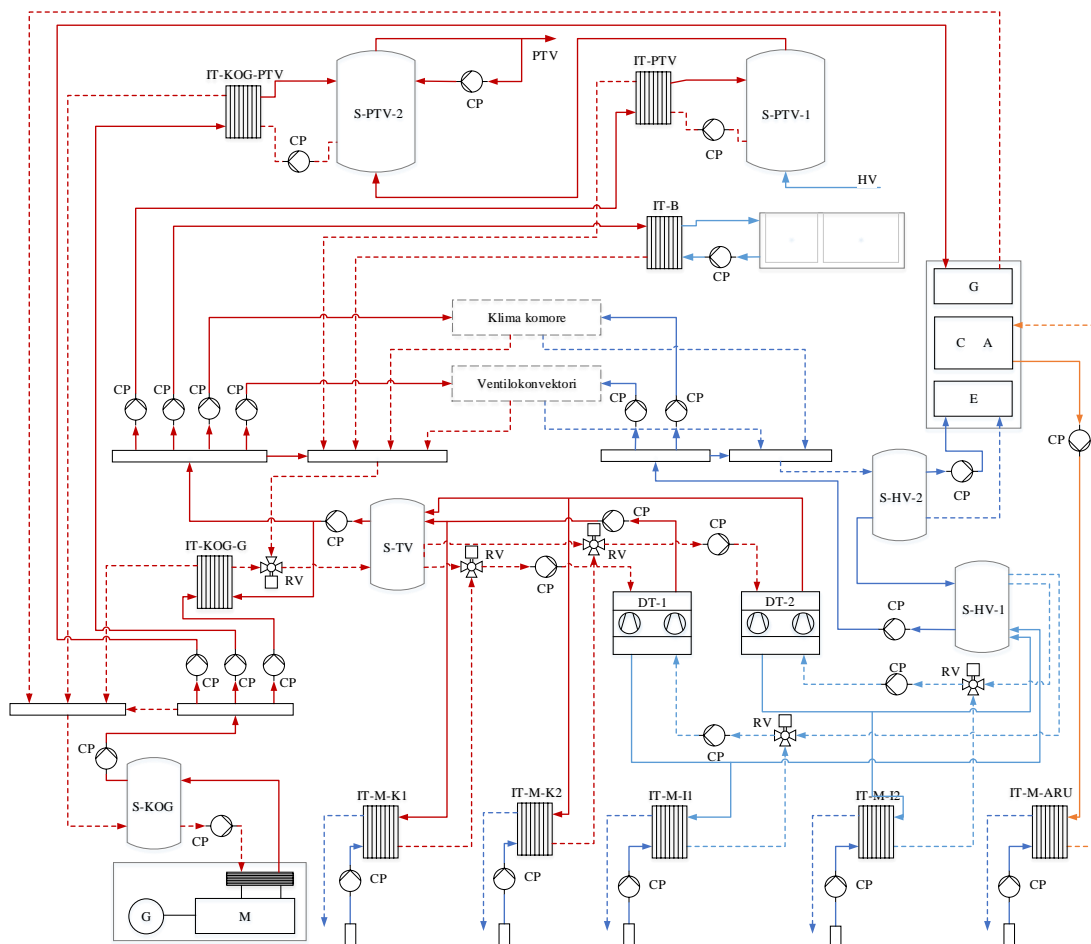
Slika 7. Sustav 4 – KDT V-V – KOG

Sustav 5 – KDT V-V – KOG - ARU

Sustav je prikazan na slici 8 i predstavlja dogradnju sustava 4 dodavanjem jedno stupanjskog apsorpcijskog rashladnog uređaja u cilju ujednačavanja potrošnje toplinske energije proizvedene radom kogeneracijskog uređaja tijekom cijele godine. U ovom slučaju toplinu proizvedenu kogeneracijskim modulom moguće je predati sustavu grijanja, potrošnoj vodi ili generatoru apsorpcijskog rashladnog uređaja.

Kondenzator i apsorber rashladnog uređaja hlađen je putem izmjenjivača topline na morsku vodu. U krugu isparivača predviđen je inercijski spremnik hladne vode radi uravnoteženja rada uređaja i izbjegavanja kratkih perioda rada. Spremnik je ugrađen u povrat sustava hlađenja kako bi apsorpcijski rashladni uređaj ostvario čim veći udio u ukupnoj proizvedenoj rashladnoj energiji. Prioritet potrošnje toplinske energije proizvedene

radom kogeneracijskog modula ima zagrijavanje potrošne tople vode, a nakon toga sustav grijanja i toplina za pogon apsorpcijskog rashladnog uređaja. Korištenje otpadne topline apsorbera za pripremu potrošne tople vode pokazalo se tijekom preliminarnih simulacija neučinkovitim pa nije uključeno u tehničko rješenje.



Slika 8. Sustav 5 – KDT V-V – KOG – ARU

2.3. Simulacijski modeli sustava

Simulacija potrošnje energije tehničkih sustava u praksi se često provode proračunima s jednostavnim algebarskim izrazima ili sezonskim karakteristikama opreme što ne može osigurati sukladnost rezultata sa stvarnom potrošnjom. U odnosu na jednostavne proračune potrošnje energije tehničkih sustava bazirane na sezonskim učinkovitostima opreme, u ovom radu prikazani simulacijski modeli sustava izrađeni su od komponenti koje predstavljaju matematičke modele opreme sa svim karakteristikama bitnim za analizu nestacionarnog ponašanja sustava i izradu energetske bilance. Uvođenjem dinamičke simulacije dobivaju se opsežni rezultati koji daju odgovore o vremenskim promjenama radnih parametara sustava iz kojih se mogu utvrditi maksimalno potrebni učinci opreme tehničkih sustava. Navedeno je važno u fazi projektiranja sustava kako bi se izbjegao odabir opreme s nepotrebnom rezervom kapaciteta. Dobivene energetske bilance važne

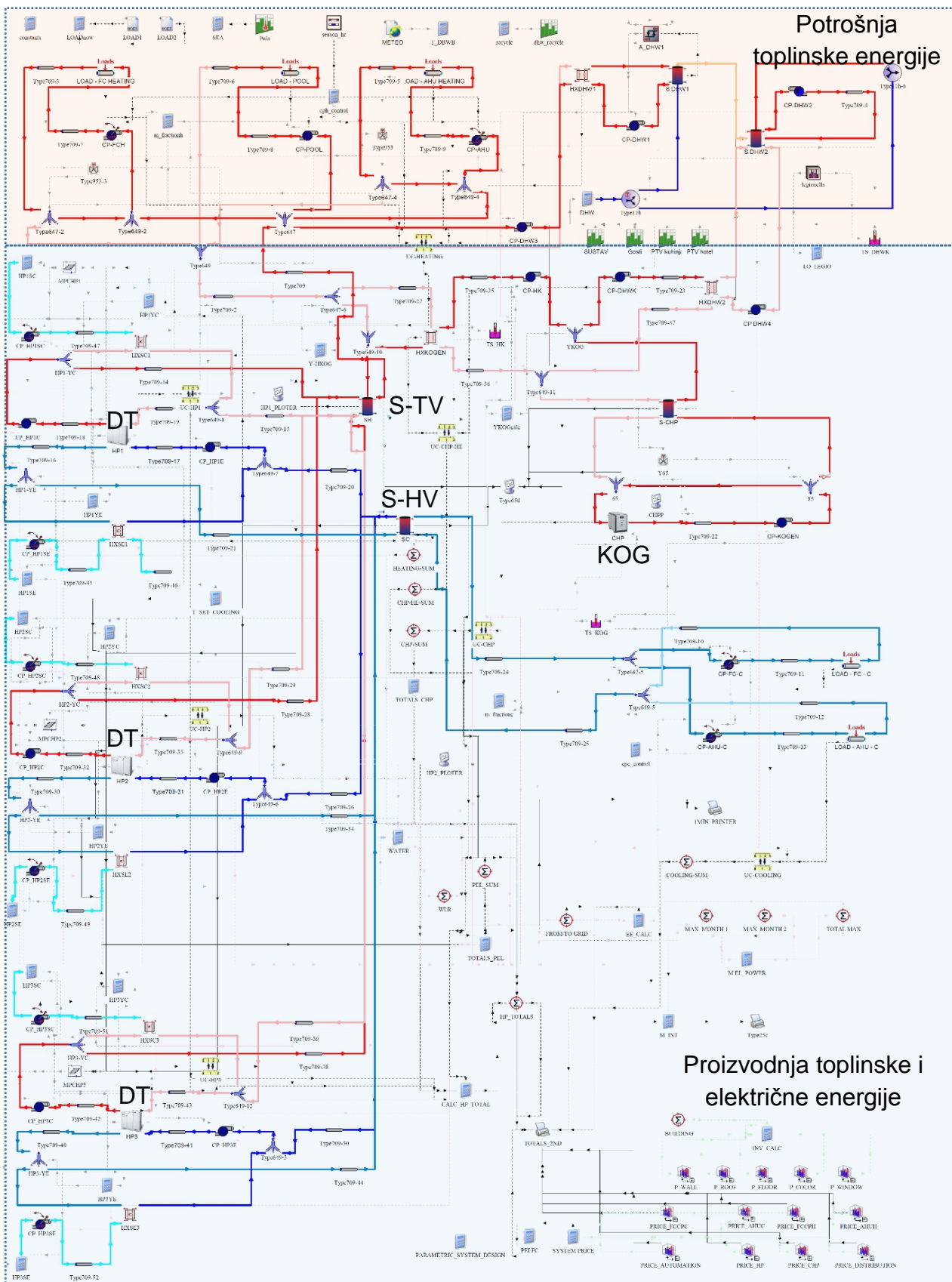
su investitorima da kod analiza različitih varijanti pronađu onu koja će im u budućnosti osigurati rad s najpovoljnijim troškovima.

Komponentama simulacijskih modela opisani su elementi tehničkih sustava zgrade kao što su kotlovi, kompresijski rashladni uređaji i dizalice topline, apsorpcijski rashladni uređaji, kogeneracijski uređaji, jedinice za obradu zraka, ventilatorski konvektori, toplinski izmjenjivači, solarni kolektori, pumpe, cijevi, spremnici topline, regulacijski ventili, regulatori i sl. Modeli se temelje na interakciji sustava proizvodnje, distribucije i predaje energije kojom upravlja sustav regulacije.

Na slici 9 prikazan je simulacijski model sustava 4. Sustav sadrži tri dizalice topline (DT) i jedan kogeneracijski modul (KOG). Punim linijama označene su informacijske veze između glavnih komponenti sustava kojima se prenose informacije o protocima i temperaturama. Tako isparivački i kondenzatorski krugovi dizalica topline sadrži cirkulacijske pumpe, spojne cjevovode, izmjenjivače topline spremnike (S-TV i S-HV) i prekretno ventile. Gubici topline u sustavu distribucije uključeni su kroz modele spojnih cjevovoda i akumulacijskih spremnika i to na način da je svakom elementu pridružen volumen vode jednak volumenu na dionici koji predstavlja, koeficijent toplinskih gubitaka i temperatura okoline. Uređaji su upravljani regulatorima, osjetnicima temperature i termostatima koji vezama s opremom u sustavu (crkane linije) dobivaju informacije o temperaturama te upravljaju uređajima, pumpama i ventilima. Svakoj pumpi u sustavu pridružena je vrijednost projektnog protoka i potrošnje električne energije. Dizalice topline i kogeneracijski uređaj simulirani su na razini tzv. black box modela koji na osnovu tvorničkih podataka o karakteristikama uređaja računa radna stanja.

Kao rezultat navedenog pristupa posebno treba istaknuti temperature u svim dijelovima sustava i vremenskim koracima koje se mijenjaju kao posljedica djelovanja vanjskih utjecaja i sustava regulacije. Kako je kompletan skup podataka dobivenih ovim simulacijama vrlo obiman, ti rezultati prikazani su u ovom radu samo za najpovoljniji tehnički sustav.

Simulacijski model sustava radi s proizvoljno odabranim vremenskim korakom, koji je za analize u ovom radu usklađen s regulacijskim postavkama, akumulacijskim masama i učincima opreme i iznosio je 60 sekundi. Pravilnim odabirom postavki regulatora glavne opreme u sustavu smanjen je utjecaj prijelaznih pojava na rezultate simulacijskog modela.



Slika 9. Simulacijski model sustava 4 – KDT V-V – KOG

Za prikazane sustav provedene su cjelogodišnje simulacije potrošnje energije. Izlazni podaci o potrošnji prirodnog plina, električne energije, potrošnji vode kod rashladnih tornjeva i potrošnji morske vode koja se koristi kao toplinski izvor ili ponor dizalica topline integrirani su u danom vremenskom koraku i kao izlazni podatak korišteni za evaluaciju sustava. Potrošnja električne energije pumpi, ventilatora i ovlaživača uzeta je također u obzir. Kod sustava koji sadrže vlastitu proizvodnju električne energije, potrošnja električne energije u danom vremenskom koraku umanjena je za proizvedenu električnu energiju. Ukoliko je količina proizvedene energije u danom vremenskom koraku veća od one koja se troši u sustavu, računa se kao izvezena u distribucijsku mrežu. Potrošnja električne energije također se razmatra za svaki od 12 mjeseci cjelogodišnje simulacije pri čemu se bilježi maksimalno angažirana snaga u mjesecu.

3. Metodologija istraživanja

Simulacije tehničkih sustava su provedene s potrošnjom toplinske energije za grijanje, hlađenje i potrošnjom električne energije iz simulacije zgrade. U ekonomskoj analizi rezultata razmotreni su ukupni troškovi rada svih varijanti postrojenja koji se sastoje iz troškova gradnje, troškova pogonske energije, troškova održavanja i troškova koncesije za korištenje morske vode za sustave s kompresijskim dizalicama topline voda – voda i troškova zakupa električne snage. Troškovi gradnje sustava određeni su prema važećim cijenama za glavnu opremu s ugradnjom. Korišten je period razmatranja od 20 godina. Troškovi pogonske energije i koncesije za korištenje morske vode izračunati su prema cijenama prikazanim u tablici 2 [8,9,10]. Električna snaga koju je potrebno zakupiti određena je prema električnoj snazi kompresora rashladnog uređaja ili dizalice topline. Trošak zakupa snage iznosi 180 €/kW.

Za sustave koji uključuju kotlove, rashladne uređaje i dizalice topline troškovi održavanja sustava određuju se kao 4% vrijednosti ukupne investicije, dok se za same solarne kolektore određuju kao 1%. Za kogeneracijske module u sustavima 4 i 5, troškovi održavanja se određuju cijenom održavanja izračunatom u odnosu na količinu proizvedene električne energije. Prema pogonskim iskustvima većeg broja instalacija [11] ovi se troškovi kreću oko 0,014 € za 1 kWh.

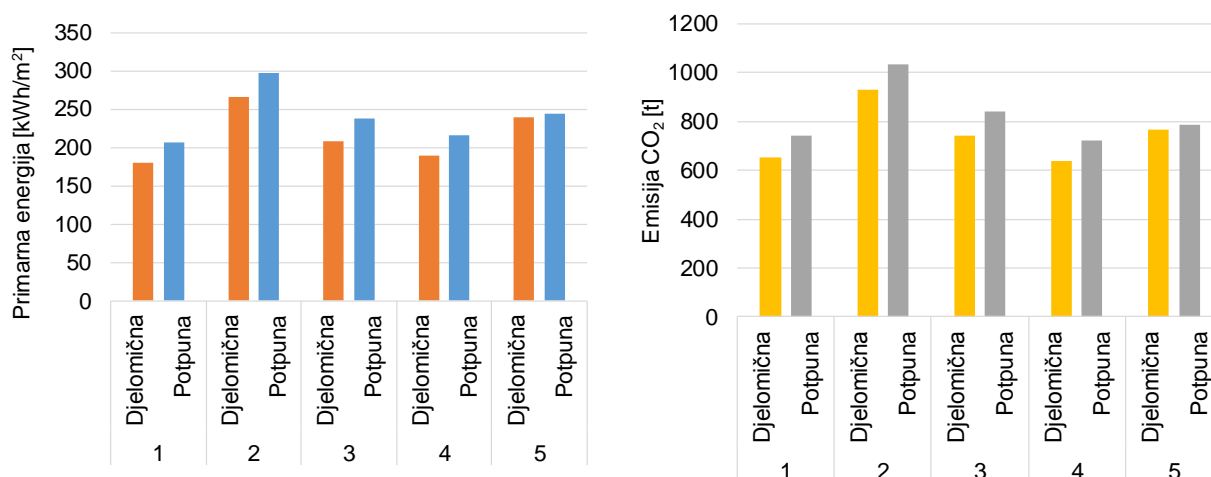
Tablica 2. Cijene energenata

Energent		Jedinica	Cijena
Prirodni plin		€/kWh	0,036
Električna energija – kupovina iz mreže	Viša tarifa	€/kWh	0,096
	Niža tarifa	€/kWh	0,061
	Naknada za OIE	€/kWh	0,005
	Angažirana snaga	€/kW,mj	5,93
	Naknada	€/god	122,1
Električna energija prodaja u mrežu – kogeneracija		€/kWh	0,173
Voda (vodovod)		€/m ³	2,67
Voda (morska)		€/m ³	0,01

Potrošnja primarne energije izračunata je množenjem potrošnje korištenog energenta faktorom za obnovljivu komponentu primarne energije. Za prirodni plin ta vrijednost iznosi 1,095, a za električnu energiju iz mreže 0,798 [12]. Emisije CO₂ [12] korištene za izračun indikatora su 0,22020 kg/kWh za prirodni plin i 0,23481 kg/kWh za električnu energiju.

4. Rezultati energetske simulacije

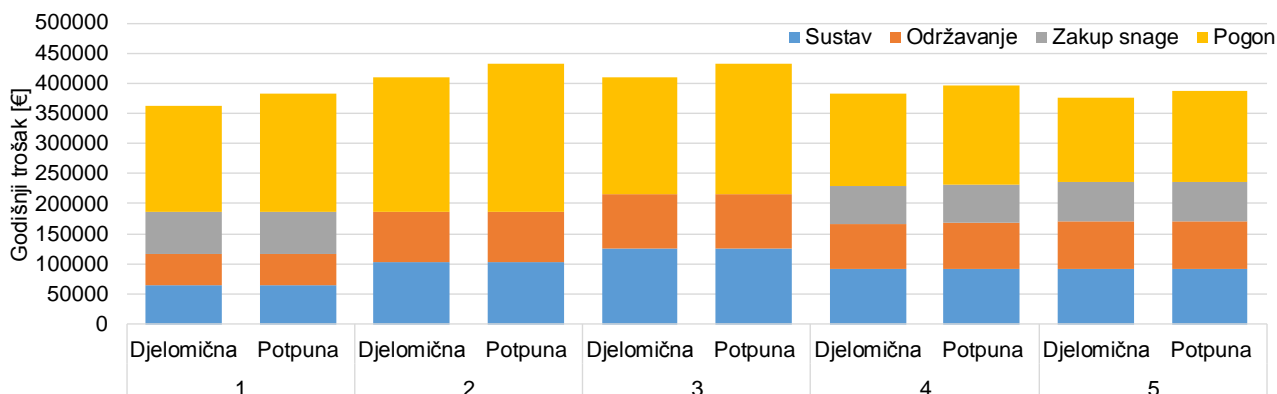
Potrošnja primarne energije i emisije CO₂ prikazani su na slici 10. Svi prikazani sustavi troše u većem dijelu obnovljivu primarnu energiju što rezultira visokim specifičnim potrošnjama primarne energije. Primjena apsorpcijskih rashladnih uređaja povećava potrošnju primarne energije i emisije CO₂. Primjena kogeneracijskih sustava također dodatno povećava emisije CO₂ i ne iskazuje visoku energetske učinkovitost što je donekle u suprotnosti s uvriježenim mišljenjem o prednostima kogeneracija nad odvojenom proizvodnjom toplinske i električne energije. Ovo se može tumačiti činjenicom da se analize koje pokazuju prednost kogeneracije nasuprot odvojenoj proizvodnje toplinske i električne energije provode uglavnom za slučaj mogućeg iskorištenja sve proizvedene toplinske i električne energije u kogeneraciji i odvojenu proizvodnju električne energije u termoelekttranama, što u stvarnosti nije slučaj. Plin koji kao obnovljivi izvor energije za posljedicu ima emisije CO₂ sudjeluje u proizvodnji električne energije u kogeneracijskom modulu u potpunosti, a u proizvodnji električne energije koja se kupuje iz mreže tek u malom dijelu. Posljedično su emisije CO₂ primjenom kogeneracijskog modula više za vrlo specifičnu situaciju u Hrvatskoj nego li su emisije korištenjem električne energije iz mreže.



Slika 10. Potrošnja primarne energije i emisije CO₂ – djelomično i potpuno popunjen hotel (oznake sustava 1 - 5 prema tablici 2)

Struktura ukupnih godišnjih troškova prikazana je slikama 11 i 12. Kod sustava 4 i 5 koji sadrže kogeneracijski modul prikazani godišnji pogonski troškovi umanjeni su za dobit prodajom električne energije. Iz slike nisu evidentne prednosti kogeneracijskih sustava u odnosu na vrlo jednostavan konvencionalni sustav s plinskim kotlom, čak ni uz povećanu potrošnju. Razlog leži u odnosu cijena električne i toplinske energije iz plina, te u dinamici sustava koja za ovakve objekte ne osigurava velik broj radnih sati s punim kapacitetom

kogeneracijskog uređaja.

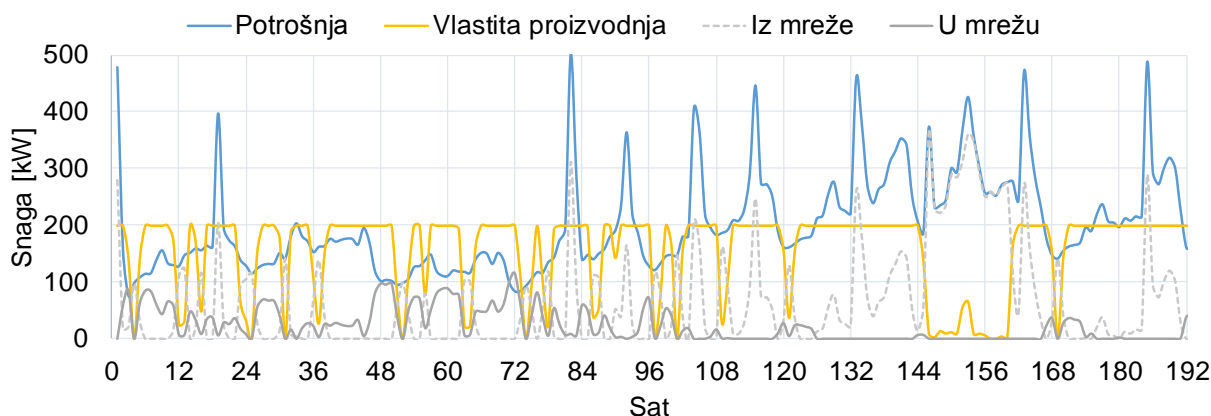


Slika 11. Struktura ukupnih godišnjih troškova – djelomično i potpuno popunjen hotel (oznake sustava 1 - 5 prema tablici 2)

4. Prikaz potencijala primjene modela - primjeri

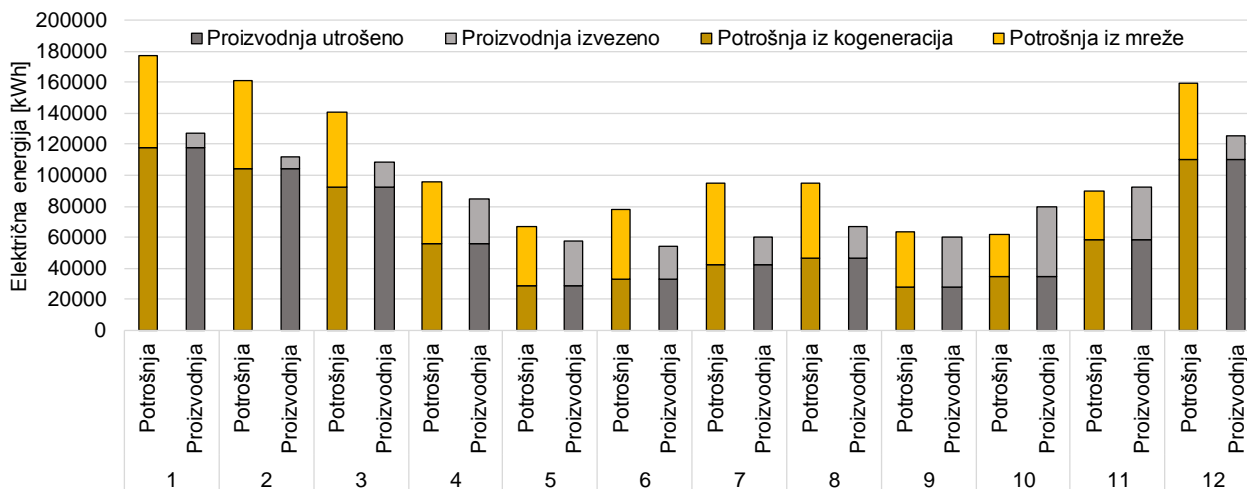
4.1. Dinamički proračun naspram proračuna s većim vremenskim koracima

Slika 12 prikazuje potrošnju električne energije za rad tehničkih sustava u odnosu na vlastitu proizvodnju kogeneracijom. Kako simulacijski model može obuhvatiti promjenu dinamike potrošnje i proizvodnje kao posljedice rada regulacijskog sustava, pojavljuju se periodi u kojima treba kupovati energiju, kao i periodi u kojima nije moguće potrošiti svu proizvedenu električnu energiju.



Slika 12. Dnevni tok utrošene, iskorištene i izvezene električna energija

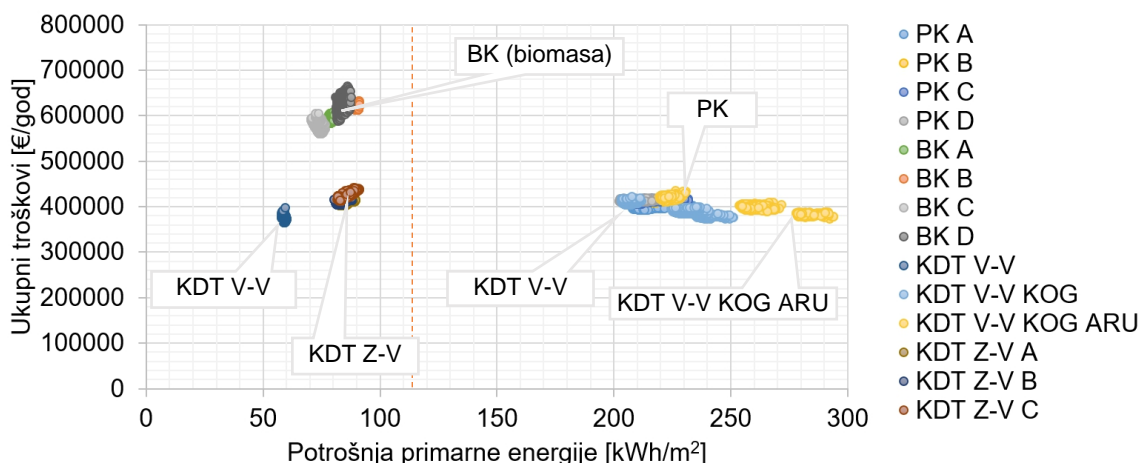
Slikom 13 prikazane su strukture sustava potrošnje i proizvodnje električne energije integrirane po mjesecima. Vidi se da je prikazanim pristupom moguće dobiti pouzdanije rezultate nego u slučaju korištenja mjesečnih suma koji za razliku od rezultata dobivenih korištenjem mjesečnih suma ne idu u prilog rješenjima s kogeneracijom. Naime, iako je u pojedinim mjesecima ukupna potrošnja električne energije veća od vlastite proizvodnje, simulacija s kraćim vremenskim korakom omogućuje uključiti neistovremenost potrošnje i proizvodnje električne energije pa se dio proizvedene energije prodaje u mrežu, a dio potrošnje energije preuzima iz mreže.



Slika 13. Utrošena, iskorištena i izvezena električna energija integrirana po mjesecima

4.2. Optimizacija zgrade za pojedine sustave

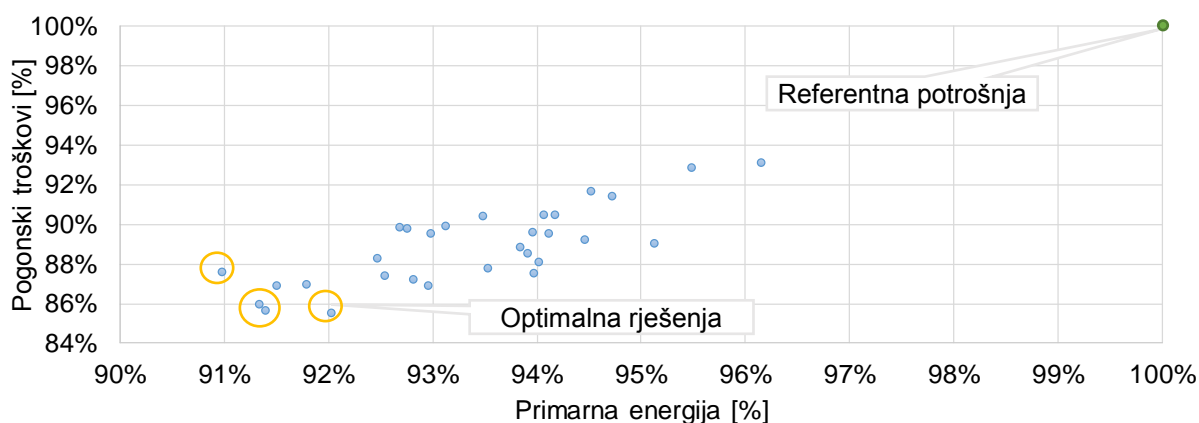
Prikazani simulacijski modeli ostvaruju najveći potencijal u integralnoj optimizaciji zgrade i sustava kakva je prikazana u [1]. Optimizacija je provedena primjenom genetskog algoritma, variranjem razina toplinske zaštite zgrade po više elemenata (izolacija i boja zidova, krova), prolaz topline i propusnost sunčevog zračenja staklenih ploha, svaki put za pojedini od razmatranih sustava čije se vrijednosti (učinci, kapaciteti i sl.) u proračunu prilagođavaju potrebama zgrade za svaki od razmatranih slučajeva. To se radi zato što konfiguracija sustava određuje cijenu proizvedene energije koja je ovdje parametar optimizacije. Optimizacija zahtijeva velike računalne resurse, ali daje integralno rješenje. Opisani pristupom se dobivaju rezultati prikazani na slici 14 za tri ovdje razmatrana sustava (br. 1, 4 i 5) te dodatno za sustave s dizalicama topline voda – voda (s morem kao toplinskim izvorom) i zrak – voda. Sustavi s plinom i apsorpcijskim rashladnim uređajima nisu bili analizirani u [1], ali su umjesto njih na slici prikazani sustavi s biomasom (kotlovi na pelete), funkcionalno jednaki sustavima s plinom i apsorpcijskim rashladnim uređajima. Iz slike se vidi i potencijal smanjenja potrošnje primarne energije na razinu nižu od propisane za ostvarenje gotovo nula energetske zgrade kod obnove zgrada u RH (115 kWh/m²)



Slika 14. Rezultati integralne optimizacije zgrade i tehničkih sustava

4.3. Optimizacija pojedinog sustava

Nakon utvrđivanja konfiguracije zgrade koja osigurava optimalnu kombinaciju ukupnih troškova i primarne energije za zadani sustav, sustavi se mogu dodatno optimirati variranjem akumulacijskih masa spremnika, protoka medija (za slučaj primjene pumpi s nepromjenjivim ili promjenjivim protokom), temperaturnih režima, površina i efikasnosti izmjenjivača topline (uključivo i mjere povrata topline) te mijenjanjem regulacijskih postavki i pozicija osjetnika temperature. Jedan primjer takve optimizacije prikazan je na slici 15. Na slici je prikazano referentno stanje iz prethodnog proračuna, te smanjenje troškova i potrošnje primarne energije variranjem naprijed navedenih parametara. Vidljivo je da se ovakvim pristupom može dodatno poboljšati osnovno tehničko rješenje sustava. Nakon ovog koraka preporučljivo je tako optimiran sustav ponovno provesti kroz optimizaciju zgrade sa sustavom, čime se osigurava konzistentnost rješenja. Slika 15 prikazuje ovaj postupak na sustavu s dizalicama topline voda - voda, koji se u [1] pokazao optimalnim rješenjem za područje primorske Hrvatske.



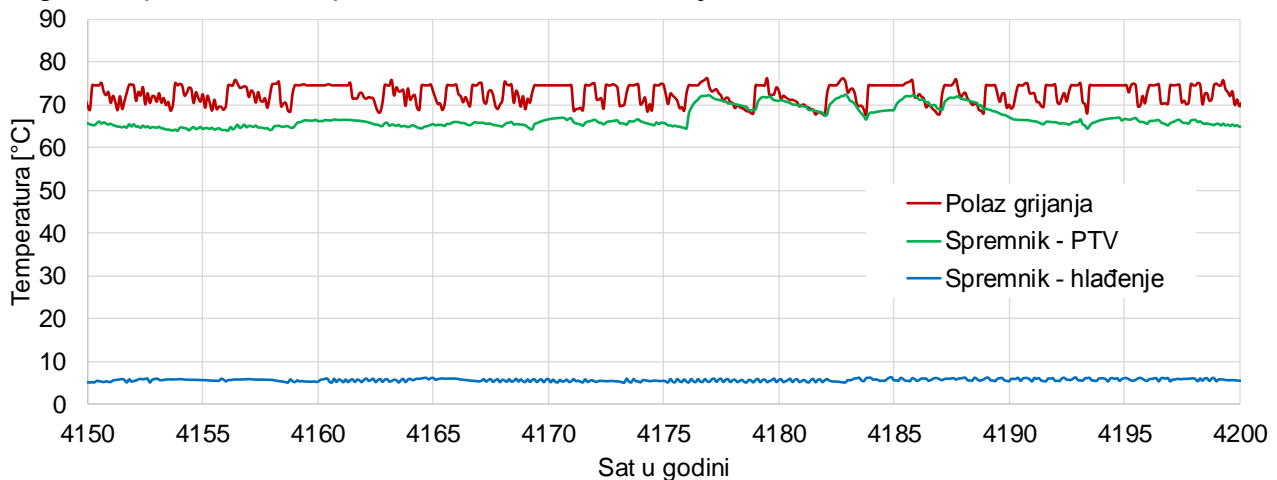
Slika 15. Rezultat optimizacije sustava KDT voda - voda

4.4. Temperaturni profili u sustavu

Numerički dinamički modeli sustava su dobra podrška projektantima, jer omogućuju uvid u radna stanja sustava i analizu utjecaja promjena u konfiguraciji sustava, regulacijskim



postavkama, vanjskim rubnim uvjetima i sl. na ponašanje cjelokupnog sustava. Na slici 16 prikazana je promjena temperatura polazne vode u sustavu grijanja i hlađenja te temperatura spremnika potrošne tople vode. Tako se npr. praćenjem temperature u spremniku potrošne tople vode može utvrditi da li je projektom osigurana dostatna količina vode na potrebnoj temperaturi, a praćenjem polaznih temperatura u sustavu grijanja i hlađenja dostatnost ogrjevnog ili rashladnog učinka opreme. U prikazanom primjeru temperatura polazne vode u krugu grijanja održava se između 70 i 75°C čime se osigurava zagrijavanje potrošne vode na 65°C te tjedno zagrijavanje iznad 70°C radi zaštite od štetnih mikroorganizama. Hladna voda na dnu spremnika kreće se između 5 i 6°C i osigurava potrebnu temperaturu za sustav hlađenja.



Slika 16. Primjer rezultata simulacije - temperaturni profili u sustavu

4.4. Rad uređaja u sustavu

Moguće je predvidjeti radno vrijeme pojedine opreme u punom i parcijalnim opterećenjima te pronaći optimalan način korištenja. Slikom 17 prikazan je rad kompresijskog rashladnog uređaja voda – voda koji ovisno o zadanoj izlaznoj temperaturi vode iz isparivača prilagođava broj uključenih kompresora i radi u parcijalnom opterećenju. Uz zadanu izlaznu temperaturu iz isparivača od 5°C temperatura na dnu spremnika kreće se između 5 i 6°C kako je vidljivo na ranije prikazanoj slici 16.



Slika 17. Primjer rezultata simulacije – rad kompresijskog rashladnog uređaja

5. Zaključak

U radu je prikazan pristup analizi složenih tehničkih sustava s prirodnim plinom kao energentom korištenjem dinamičkih numeričkih modela. Pristup je baziran na primjeni numeričkog dinamičkog simulacijskog modela zgrade s integriranim tehničkim sustavima. Prikazanim modelom uvažava se međusobna interakcija zgrade i tehničkih sustava kroz oblikovanje i svojstva zgrade koja utječu na potrošnju energije, karakteristiku opreme, konfiguraciju i strategiju upravljanja tehničkih sustava, uz uvažavanje promjenjivih rubnih uvjeta. Simulacijski model omogućava provođenje simulacije korisne energije za grijanje i hlađenje, određivanje projektnih učinaka za grijanje i hlađenje te dimenzioniranje i simulaciju tehničkog sustava sa svom opremom predviđenom za ugradnju. Provođenjem simulacije kroz kratke vremenske korake moguće je obuhvatiti promjenu dinamike sustava potrošnje i proizvodnje energije i dobiti pouzdane rezultate kakvi se ne mogu ostvariti jednostavnim proračunima baziranim na sezonskim učinkovitostima.

Prikazana analiza provedena je na konkretnom primjeru zgrade sa složenim tehničkim sustavom. Unatoč uvriježenom mišljenju o prednosti kogeneracije nad odvojenom proizvodnjom energije pokazalo se da tako složena tehnička rješenja ne pokazuju značajne ekonomske prednosti u odnosu na osnovnu koncepciju sustava uz primjereno provedene proračune potrošnje energije u sustavu.

Kako prikazani simulacijski modeli ostvaruju najveći potencijal u integralnoj optimizaciji zgrade i sustava, podoban su i poželjan način provođenja integralnih analiza u cilju projektiranja troškovno optimalne gotovo nula energetske zgrade.

Detaljna simulacija tehničkog sustava omogućava praćenja radnih stanja u svim točkama sustava, praćenje rada uređaja, utvrđivanje dostatnosti učinka ugrađene opreme, praćenje strategija regulacije i moguća poboljšanja.

6. Literatura

- [1] Delač, Boris: Optimizacija energetske sustava zgrada približno nulte energije korištenjem dinamičkih simulacija, Sveučilište u Rijeci - Tehnički fakultet, Rijeka, 2017.
- [2] TRNSYS 17 - Volume 5 - Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Madison, 2014.
- [3] Direktiva 2010/31/EU europskog parlamenta i Vijeća od 19. svibnja 2010. o energetske svojstvu zgrada, Europska komisija, 2010.
- [4] TRNFlow - Airflow simulations in buildings, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH.
- [5] METEONORM - Global Meteorological Database - Handbook part II: Theory, METEOTEST Genossenschaft, Bern, 2015.
- [6] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama, Narodne novine, 128/2015.
- [7] R. Gansler, S. A. Klein and W. A. Beckman, "Assessment of the accuracy of generated meteorological data for use in solar energy simulation studies," Solar Energy, vol. 53, no. 3, pp. 279-287, 1994.
- [8] Plinara Pula, <http://www.plinara.hr> (pristup: 10. srpnja 2017.)
- [9] HEP opskrba, <http://www.hep.hr> (pristup: 10. srpnja 2017.)
- [10] NN 94/07, Odluka o visini naknade za korištenje voda, 2007.
- [11] K. W. Schmitz and G. Schaumann, Kraft-Wärme-Kopplung, Springer Verlag, 2005.
- [12] MGIPU, Faktori primarne energije i emisija CO₂, 2016.



Primjena infracrvene termografije u tehničkim sustavima

Application of infrared thermography in technical systems

H. Glavaš^{1,*}, T. Barić¹, M. Stojkov²

¹Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Hrvatska

²Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: hrvoje.glavas@ferit.hr

Sažetak

Infracrvena termografija je nerazorna radiometrijska metoda ispitivanja. Podjela infracrvene termografije na kvalitativnu i kvantitativnu razvojem kamera prelazi sve više u pasivnu i aktivnu. Na području termografije nema jedinstvenog standarda pri čemu egzistiraju različite norme za pojedina područja. Fizikalna pozadina objašnjena je početkom prošlog stoljeća, a sama tehnička realizacija kontinuirano se razvija i napreduje. Povijest termografije je opsežna, složena i jednim dijelom nedovoljno publicirana. Cijena opreme pada te je ista opće dostupna. Rad opisuje svojstva infracrvene kamere. Broj korisnika infracrvene kamere bez osnovne edukacije potrebne za pravilno snimanje i tumačenje termografa kontinuirano raste. Edukacija je osnova rada sa termografskom kamerom jer bez nje dolazimo u zabludu koju nam prividno zračenje prikazuje na zaslonu kamere. Primjena termografije je široka što je u radu prikazano kroz šesnaest primjera.

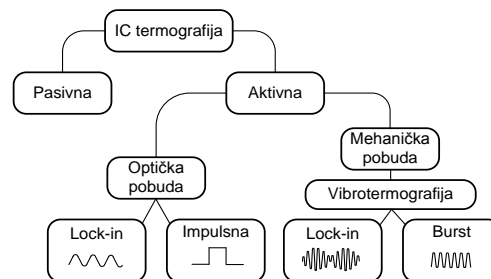
Abstract

Infrared thermography is non destructive radiometric testing method. Basic division of infrared thermography is on to qualitative and quantitative. With development of infrared cameras new division is made onto pasiv and activ. There is no uniform standard in the field of thermography, different norms exist for certain areas. The physical background was explained at the beginning of the last century, and the technical implementation itself is constantly evolving and advancing. The history of thermography is extensive, complex and partially difficult to detect. The price of the equipment is decreases and it is more available. An increasing number of people using the camera but they do not have the basic training needed for taking thermograms and interpretation of records. Education is the basis for operation with a thermal camera. Without proper education misunderstanding of the apparent radiation detected by camera is present. Application of infrared thermography is wide and explained in the paper through 16 examples presented in the paper.

Ključne riječi: Infracrvena termografija, elektrotehnika, strojarstvo, građevina, medicina

1. Uvod

Infracrvena termografija je bezkontaktna metoda određivanja distribucije temperature na površini promatranog objekta mjerenjem intenziteta zračenja u IC području elektromagnetskog spektra. Prema međunarodnim standardima, termografija je klasificirana kao jedna od nerazornih metoda ispitivanja (NDT). Termografija u pogledu informacije koju pruža dijelimo na kvalitativnu i kvantitativnu, a s aspekta pobude na pasivnu i aktivnu. Kvalitativna termografija ima za zadatak pružiti načelne informacije o distribuciji temperature na površini analiziranog objekta. Kvantitativna termografija ima zadatak pružiti točne vrijednosti temperature na površini analiziranog objekta. Za kvantitativnu analizu neophodno je pri snimanju unijeti točne vrijednosti emisivnosti, prividne reflektirane temperature i voditi računa o atmosferskim prilikama. Osnovna podjela infracrvene termografije vidljiva je na slici 1.



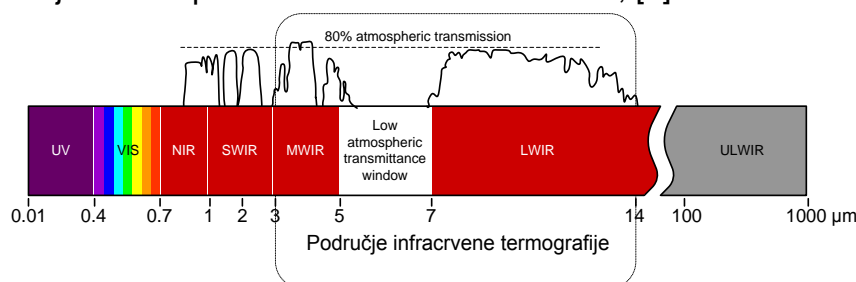
Slika 1. Podjela infracrvene termografije, izvor [1]

Pasivna termografija je postupak termografske analize objekata koji su duže vrijeme u stacionarnom stanju i pri tome je neophodna temperaturna razlika od najmanje 10 °C kako bi se formirao toplinski tok. Pobuda u slučaju aktivne termografije može biti ultrazvučna, električna, toplinska i mehanička. Termografi se snimaju u vremenskim intervalima i na osnovu njih upotrebom programske podrške dobivaju informacije o svojstvima materijala. Postupak kvantitativne termografije iziskuje osobu s iskustvom i znanjem prvog stupnja obuke. Edukacija na području termovizije odvija se u tri stupnja. Sadržaj potrebnih znanja opisuje BS ISO 18436-7:2014 "Condition monitoring and diagnostics of machines - Requirements for qualification and assessment of personnel Part 7: Thermography". Znanja potrebna za analizu u građevinarstvu opisuje ISO 6781-3:2009 "Performance of buildings - Detection of heat, air and moisture irregularities in buildings by infrared methods - Part 3 - Qualifications of equipment operators, data analysts and report writers", Primjenu na području strojarstva definirana je nomom ISO 18434-1:2008 "Condition monitoring and diagnostics of machines - Thermography - Part 1: General procedures".

2. Teorijska osnova termografskog zapisa

Toplinsko zračenje je jedan od oblika elektromagnetskog zračenja (EM) i ne iziskuje medij za propagaciju prostorom. Razlikuje se makroskopski opis EM zračenja od mikroskopskog opisa EM zračenja. Elektromagnetskom teorijom polja, Maxwellovim jednadžbama s velikom točnošću opisane su sve makroskopske pojave EM zračenje. Pojavom kvantne teorije omogućeno je teorijsko proširivanje razumijevanja pojava vezanih uz EM zračenje u

mikro svijetu. Osobine toplinskog zračenja ovise o osobinama površine zagrijanog tijela, temperaturi tijela, spektralnoj apsorptivnosti te spektralnoj emisivnoj snazi. Toplinsko zračenje nije monokromatsko, ne sastoji se od samo jedne frekvencije, već ima kontinuiranu disperziju energija fotona, odnosno karakteristični spektar. Ako su tijelo koje zrači i njegova površina u termodinamičkoj ravnoteži a površina ima savršenu apsorptivnost na svim valnim duljinama, tada se naziva crnim tijelom. Crno tijelo je ujedno i savršeni emiter. Područje infracrvenog zračenja (engl. IR - *Infrared radiation*) prikazano je na slikci 2. Infracrveno EM zračenje proteže se u rasponu od 750 nm do 1 mm, što odgovara frekvencijskom rasponu od 405 THz do 300 GHz, [4]



Slika 2. Podjela infracrvenog područja, izvor [2]

Termografija u skladu s ISO 20473 vrši analizu zračenja u tri područja (NIR 0,78-3 μm, MIR 3-50 μm i FIR 50-1000 μm), ali najčešće se podjela vrši u pet područja: blisko infracrveno područje (0,7 - 1,4 μm), kratkovalno IC područje (1,4 - 3 μm), srednjevalno IC područje (3 - 8 μm), dugovalno IC područje (8 - 15 μm) i daleko infracrveno područje (15 - 1000 μm). Svako tijelo zagrijano na temperaturu iznad apsolutne nule emitira EM zračenje kontinuiranog spektra svih valnih duljina, a kada temperatura tijela pređe 525 °C emitira i vidljivu svjetlost, [3]. Intenzitet i spektralni sastav izračene toplinske energije nekog tijela najizraženije ovisi o temperaturi tijela i tvari kojom je prekrivena njegova površina.

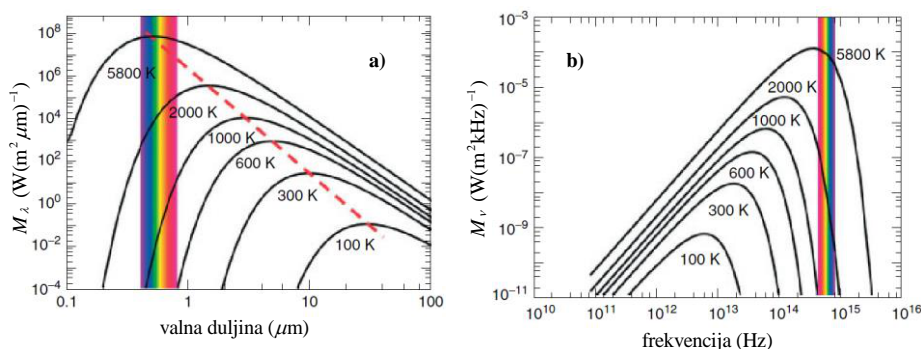
Crno tijelo je idealni model kojim je opisano EM zračenje zagrijanog tijela i služi nam kao standard s kojim se uspoređuju svojstva zračenja realnog (stvarnog) tijela kako bi se odredila maksimalna količina EM zračenja koja može biti emitirana površinom pri danoj temperaturi. Crno tijelo ima sposobnost apsorbiranja svog (100 %) upadnog EM zračenja neovisno o frekvenciji ili kutu upada. Crno tijelo emitira energiju zračenja uniformno (jednoliko) u svim smjerovima po jedinici površine.

Sivo tijelo emitira nekoherentno EM zračenje raspodijeljeno po svim valnim duljinama u omjeru manjem od jedan u odnosu na EM zračenje emitirano crnim tijelom pri istoj temperaturi. Koncept sivog tijela je posebno koristan u određivanju stvarne temperature zagrijanog tijela korištenjem beskontaktnih termometara (pirometri) ili FLIR kamera (FLIR - akronim od: Forward looking infrared).

Selektivni emiter je model EM zračenja zagrijanog tijela kod kojeg je uvaženo svojstvo da emisivnost nije neovisna o frekvenciji emitiranog EM zračenja. U osnovi to je i jedina razlika ovog modela u odnosu na model sivog tijela kod kojeg se smatra da je emisivnost neovisna o valnoj duljini emitiranog zračenja.

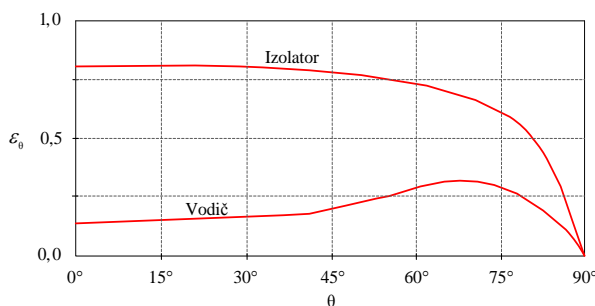
Zračenje crnog tijela matematički je opisao Max Planck 1900.g. poznatom hipotezom o kvantiziranosti energije atoma. Zračenje crnog tijela do Plancka opisivalo se pomoću više

empirijskih zakona: Wienov zakon pomaka, Rayleigh–Jeansov zakon, Stefan-Boltzmannov zakon, Kirchhoffov zakon. Slika 3 prikazuje dvije interpretacije Planckovog zakona.

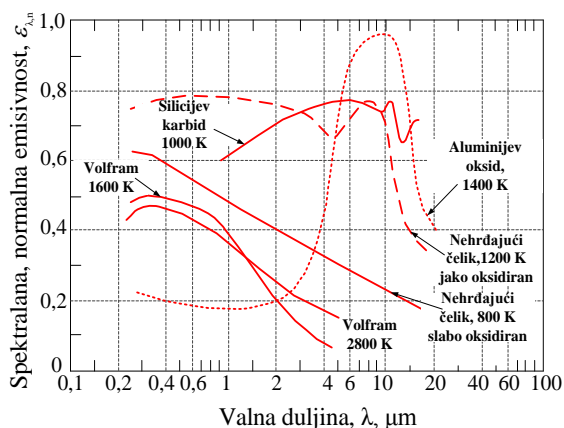


Slika 3. Usporedba dvije reprezentacije Planckova zakona zračenja crnog tijela, izvor [4].

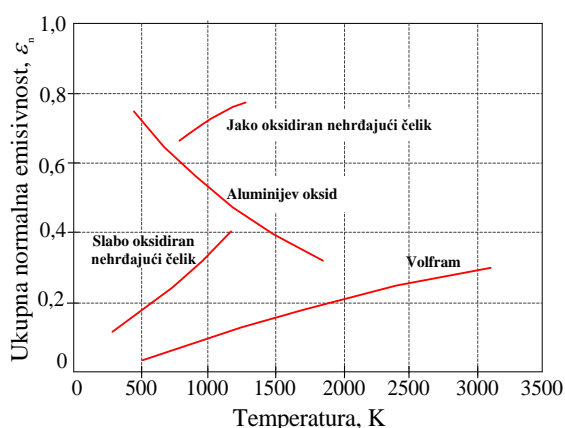
Emisivnost materijala je relativna sposobnost površine da emitira EM energiju zračenjem. Emisivnost je omjer energije EM zračenja nekog određenog materijala i izračene EM energije crnog tijela pri istoj temperaturi. Idealno crno tijelo ima emisivnost jednaku jedan dok realna tijela imaju emisivnost uvijek manju od jedan. Što je materijal reflektivniji tada ima manju emisivnost. Visoko polirano srebro ima emisivnost oko 0,02. Emisivnost ovisi o faktorima kao što su temperatura, kut emisije i valna duljina izračene EM energije. Ovisnost emisivnosti o kutu, valnoj dužini i temperaturi prikazana je na slikama 4, 5 i 6.



Slika 4. Ovisnost emisivnosti u ovisnosti kuta promatranja, izvor [4]



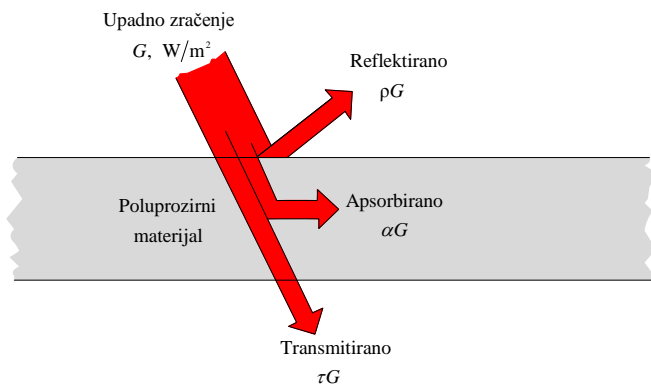
Slika 5. Promjena emisivnosti sa promjenom valne duljine, izvor [4]



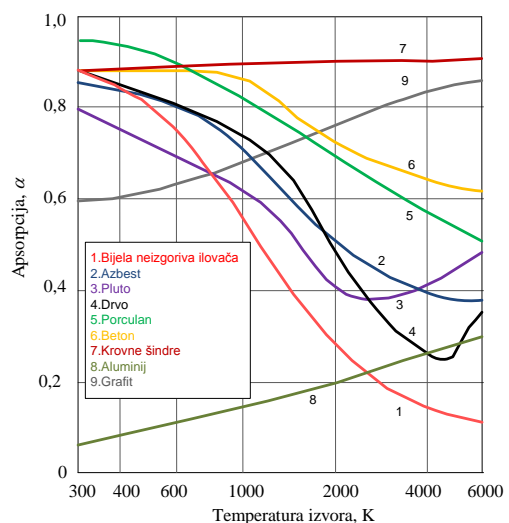
Slika 6. Promjena emisivnosti sa promjenom temperature, izvor [4]

Apsorpcija, refleksija i transmisija

Tok upadnog zračenja na površinu naziva se ozračenje (engl. irradiation) i označava se sa G . Dio zračenja na površini se apsorbira, dio reflektira, a ostatak ukoliko se radi o poluprozirnom tijelu se transmitira. Prvi zakon termodinamike zahtjeva da zbroj apsorbirane, reflektirane i transmitirane energije zračenja mora biti jednak upadnom zračenju. Za razliku od emisivnosti, apsorpcija materijala je neovisna o temperaturi površine. No, apsorpcija ovisi o temperaturi izvora s kojeg upadno zračenje potječe. Refleksija se razlikuje od drugih svojstava po tome što je po prirodi dvosmjerna. To jest, vrijednost refleksije površine ne ovisi samo o smjeru upadnog zračenja nego i o smjeru refleksije. Apsorpcija tijela nije konstantna već se mijenja s temperaturom što je vidljivo na slici 7.



Slika 7. Apsorpcija, refleksija i transmisija upadnog zračenja, izvor [4]

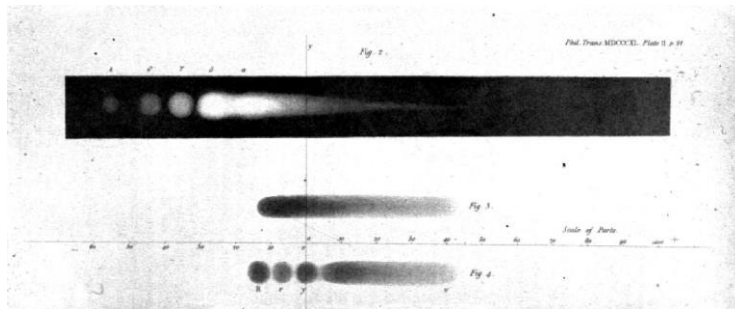


Slika 8. Promjena apsorpcije u ovisnosti temperature izvora za različite uobičajene materijale pri sobnoj temperaturi, izvor [4]

3. Kratka povijest razvoja infracrvene termografije

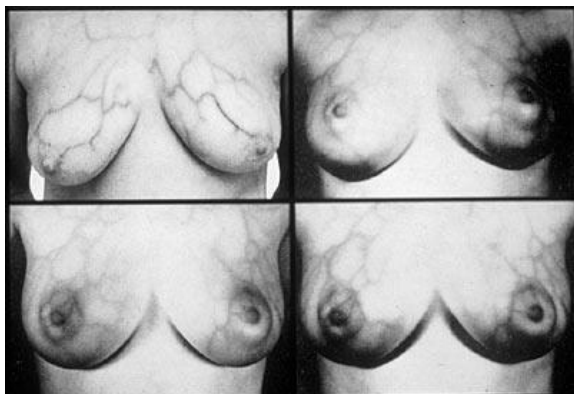
Ljudsko oko može registrirati samo 36% valnih dužina koje emitira Sunce, [5]. Ostatak spektra koji većinom čini infracrveno zračenje nije vidljiv bez upotrebe termografske kamere. Povijest infracrvene termografije započinje 24. travnja 1800. godine, [6]. Navedenog dana Sir John Herschel (1738. Hannover Njemačka - 1822. Slough, Engleska), profesionalni glazbenik i direktor orkestra [6], objavio je zapažanje da postoji zračenje ispod vidljivog crvenog dijela spektra (lat. "infra" - ispod) koje zagrijava jače od zračenja vidljive svjetlosti. Pokus je proveo 11. veljače 1800., a sam naziv je formiran četiri desetljeća poslije otkrića onoga što je Sir John Herschel nazvao tamna toplina "dark heat", točnije "Calorific Rays". Otkriće termo-električnog efekta 1821. godine bio je jedan korak u razvoju termografije. Thomas Johann Seebeck uočava električnu struju koja teče kroz spoj dvaju različitih metala kada su njihovi spojevi na različitim temperaturama. Nakon otkrića termopara Macedonio Melloni dolazi na ideju da formira seriju termoparova od bizmuta i bakra. Na taj način povećao je osjetljivost za 40 puta i mogao je detektirati zračenje osobe na udaljenosti do 9 m, [7]. John Frederick William Herschel (1792. Slough - 1871.

Collingwood), sin Sir John-a, zaljubljenik u fotografiju snima prvi termogram 1840. godine, slika 9. Osim termografa John je utvrdio postojanje različitih spektralnih prozora propusnosti atmosfere za pojedine valne dužine, [8]. Samo za usporedbu, prva fotografija je nastala 1826., a prva osoba snimljena 1832. godine.



Slika 9. Prvi termogram 1840. godina, izvor [6]

Slika 9 je dobivena fokusiranjem sunčevog zračenja pomoću leće na čestice ugljika u alkoholu postupkom isušivanja "evaporography". Slijedeći veći korak u razvoju termografije postavio je Samuel Pierpont Langley (1834. Roxbury, USA - 1906. Aiken, USA) izumom "Langley's bolometera" 1880. godine, uređaja koji detektira elektromagnetsko zračenje pomoću povećanja otpora vodiča. Konstrukcija je napravljena na osnovu Wheatstonovog mosta s tankim trakama platine [9]. Uređaj je razvijao punih 20 godina tijekom kojih je povećao osjetljivost 400 puta u odnosu na prototip. U konačnici mogao je detektirati toplinski trag grla stoke na udaljenosti do 400 m, [9]. Theodore W. Case 1917. provodi detekciju fotona pomoću spoja talijuma i sumpora (Tl₂S) koji mijenja otpor izložen svjetlosti, [10]. Iako je njegov rad omogućio komunikaciju na udaljenost od 29 km kroz atmosferu ispunjenu dimom nije zaživio duže od 1930. godine i predstavlja prvu termalnu foto-detekciju. Razvoj termografije koju poznajemo danas započinje od 40-tih godina prošlog stoljeća. Zanimljivo je uočiti da je izučavanje infracrvenog dijela spektra našao brzo primjenu u medicini. Leo Massopust (1893. - 1970.) 1948. godine objavljuje rad na temu Infracrvena fotografska studija površinskih vena grudnog koša u odnosu na karcinom dojke [11], slika 10.

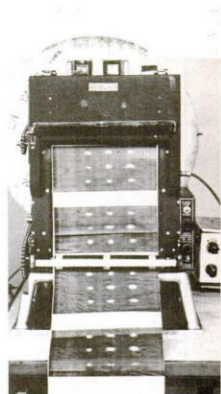


Slika 10. Upotreba infracrvene fotografije za rano otkrivanje karcinoma dojke, izvor [12]

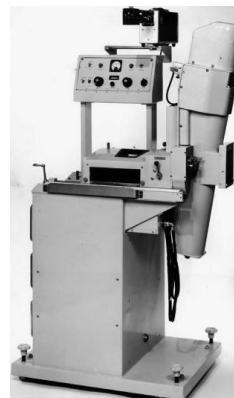


Slika 11. Termogram osobe iz 1949., [13]

Razvoj termografskih kamera prve generacije obilježio je projekt Pyroscan koji je započeo u Kelvin Hughes Istraživačkom laboratoriju (Great Dunmow, Essex) u zimu 1955. kao matematičko istraživanje mogućnosti gledanja kroz maglu. Na slici 12 vidljiv je prvi prototip Mark I Pyroscan kamere slika 12. prikazuje Mark I Pyroscan kameru koja snima jaja nakon 8 dana inkubacije, oplođena toplija i hladnija neoplođena. Slika 13. pokazuje Mark II Pyroscan.

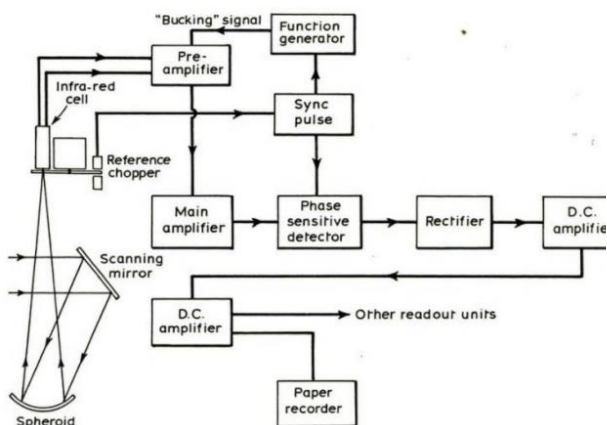


Slika 12. Mark I Pyroscan, izvor [14]

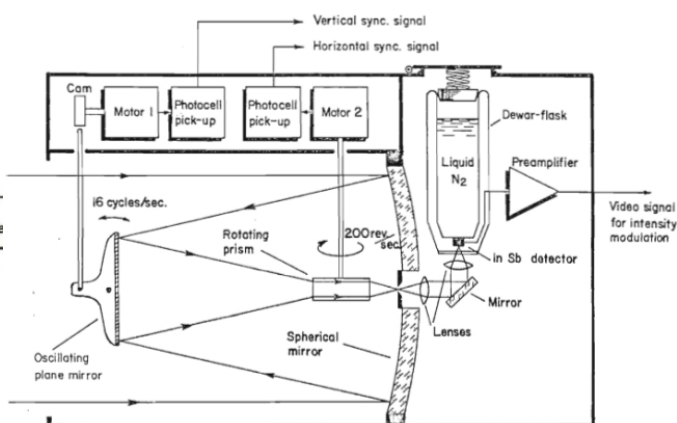


Slika 13. Mark II Pyroscan, izvor [15]

Na slici 14 se vidi Iridium antimon ćelija (koja je u praktičnoj realizaciji uređaja smještena u termos bocu i hlađenu tekućim dušikom) koja se ekspozicija filtriranim dijelom spektra kroz perforirani disk rotiran brzinom 10000 min^{-1} koji propušta upadno zračenje preko sferičnog ogledala promjera 8 cm koje skuplja informaciju na način da oscilirajući mehanizam s ogledalom skenira prostor dajući raster koji sinkronizira u crnobijeli termogram. Mehanička metoda skeniranja je bila spora a za stvarane slike potrebno je od 2 do 5 minuta. Konačna slika napisana je line-by-line na elektro-osjetljivom papiru, slika 14.



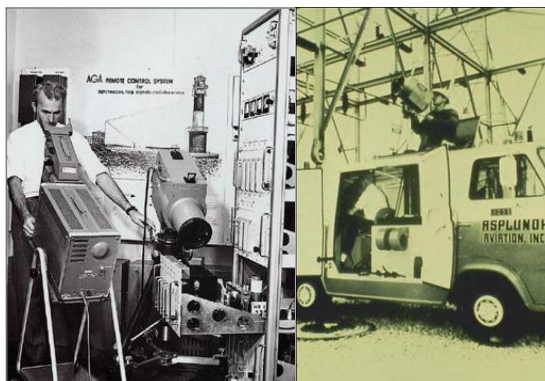
Slika 14. Mark II Pyroscan optički i elektronički sustav, izvor [14]



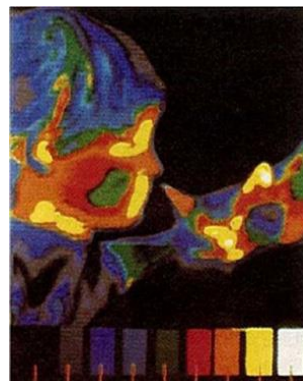
Slika 15. Princip rada AGA IC kamere, izvor [16]

Godine 1965. švedska AGEMA Infrared Systems (AGA Infrared Systems) današnji FLIR napravio je termografsku kameru model 650 koja je ujedno bila prva kamera za preventivno održavanje. Model 650 koristi prilagođeni osciloskop za prikaz infracrvene

slike. Na slici 16. vidljiv je primjer mobilne kamere predviđen za ispitivanje trafostanice. AGA 1966. godine pridružuje boje termogramu, slika 17.



Slika 16. AGA model 650, izvor [17]



Slika 17. Termografija u boji, [17]

Postupak nastajanja termografa u boji je bio tehnički zahtjevan jer je iziskivao spajanje 9 različitih slika. Upotreba kamera u boji nije zaživjela sve do kasnih 90-tih godina kada se osjetljivost kamera poboljšala. Početkom 70-tih godina pojavljuju se prijenosni sustavi koji su se mogli nositi u ruci ali napajanje uređaja je bilo problem do početka novog stoljeća, slika 18 i slika 19.



Slika 18. AGA 750 iz 1973. godine, [18],



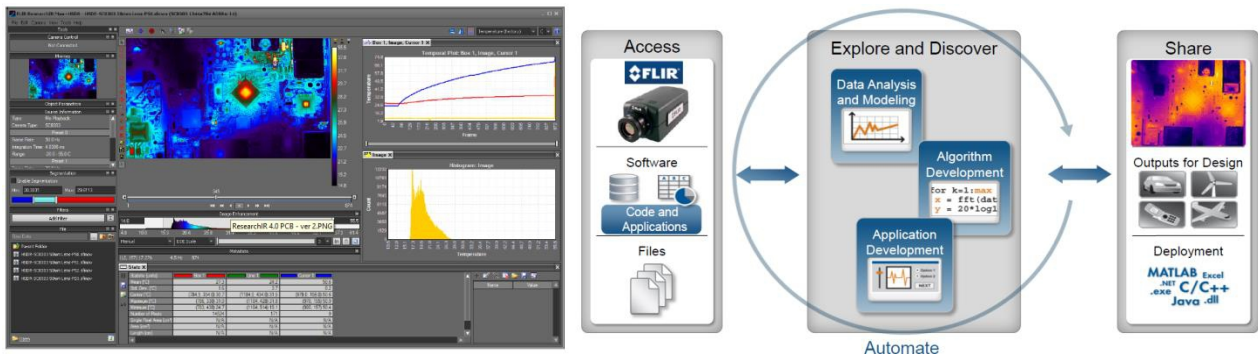
Slika 19. Hughes Probeye 1974. godina, [19]

Većina kamera na tržištu do 80-tih godina snimala je u rasponu 3 - 5 μm [17] što je predstavljalo problem jer je Sunčevo zračenje imalo veći utjecaj na sam termogram.

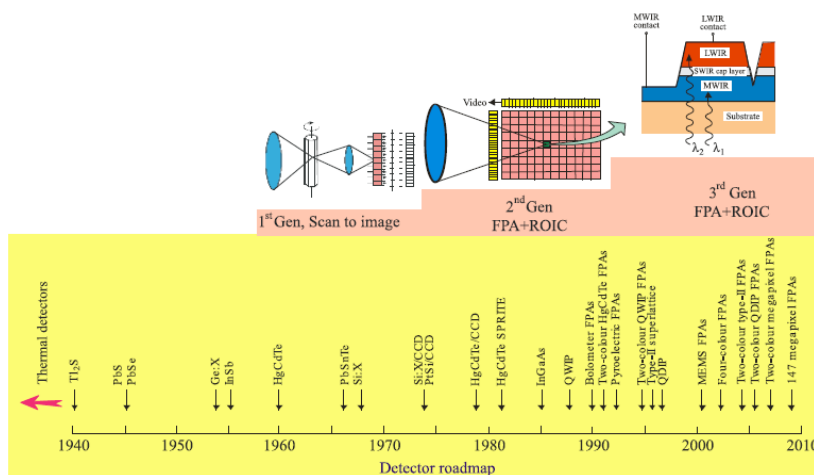


Slika 20. ISI Videotherm 1980, izvor [20]

Rješenje tog problema došlo je 1980. u obliku ISI Videotherm kamere, slika 20., koja je detektirala zračenje 7 - 13 μm , danas tipični raspon detekcije IC kamera. Prednost ISI Videotherm kamere je što nije trebala tekući dušik za hlađenje osjetnika. Od 80-tih godina pojavila se potreba za programskom podrškom koja se kontinuirano razvijala do stadija integracije s Matlab-om, slika 21. Povijest razvoja detektora za IC kamere kroz tri generacije nabolje je prikazano slikom 22.

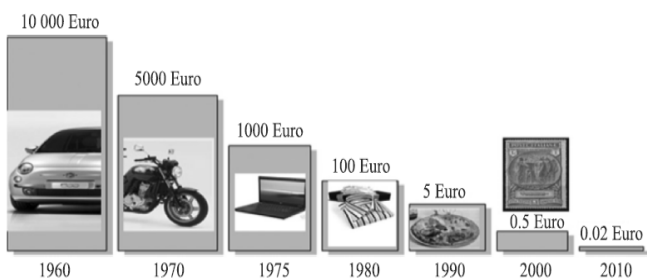


Slika 21. Programska podrška za analizu termograma, izvor [21]

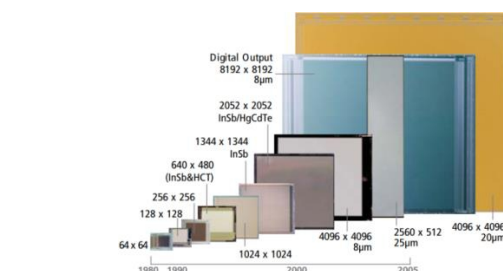


Slika 22. Povijesni razvoj IC detektora, izvor [22,23]

Veliki iskorak napravljen je 2006. godine kada se pojavljuju kamere za detekciju plinova, [2]. Kamere su postajale sve dostupnije, ali najveći preokret se javio 2014. godine pojavom malih kamera uslijed smanjenja troška senzora, slika 23.



Slika 23. Evolucija troška pojedinog osjetnika na senzoru IC termo kamere, izvor [24]



Slika 24. Napredovanje rezolucije senzora tijekom vremena, izvor [25]

Usprkos padu cijene po jedinici površine, rast rezolucije senzora (slika 24.) čini infracrvene termalne kamere troškovno zahtjevnim investicijama. Na slici 25. vidljive su komercijalno dostupne kamere, njihove karakteristične rezolucije i cijene.

FLIR T640			FLIR E8			FLUKE TIX-1000			FLUKE TIX-560			FLUKE TI-400			TESTO 870-1		
\$26,950			\$3,995			\$54,495			\$15,995			\$8,495			\$2,282		
IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price	IMAGER	Max Temp	Price			
T640 (640 x 480)	3632°F	\$26,950	TIX-1000 (1024 x 768)	3632°F	\$54,495	890-2 DLX (640 x 480)	662°F	\$26,495	890-2 (640 x 480)	662°F	\$23,995	890-1 (640 x 480)	662°F	\$20,250			
T620 (640 x 480)	1202°F	\$20,950	TIX-660 (640 x 480)	3632°F	\$39,995	890-2 DLX (320 x 240)	662°F	\$12,995	885-2 (640 x 480)	662°F	\$12,995	885-2 DLX (320 x 240)	662°F	\$11,895			
T600 (480 x 360)	1202°F	\$16,450	TIX-640 (640 x 480)	2192°F	\$29,995	885-1 (320 x 240)	662°F	\$9,195	885-2 (320 x 240)	662°F	\$11,895	885-1 (320 x 240)	662°F	\$8,295			
T440 (320 x 240)	2192°F	\$11,750	TIX-560 (320 x 240)	2192°F	\$15,995	875i-2DLX (160 x 120)	662°F	\$5,495	875i-2 (160 x 120)	662°F	\$4,295	875i-1 (160 x 120)	662°F	\$2,895			
T420 (320 x 240)	1202°F	\$8,750	TIX-520 (320 x 240)	1562°F	\$11,995	870-2 (160 x 120)	536°F	\$3,010	870-1 (160 x 120)	536°F	\$2,282	High Temp: 890-2 DLX / 890-2 / 885-2 DLX / 885-2	2192°F	\$1619			
E60 (320 x 240)	1202°F	\$7,995	TI-400 (320 x 240)	2192°F	\$8,495												
E50 (240 x 180)	1202°F	\$5,995	TI-300 (240 x 180)	1202°F	\$6,995.95												
E40 (160 x 120)	1202°F	\$3,995	TI-200 (200 x 150)	1202°F	\$6,299.95												
E8 (320 x 240)	482°F	\$3,995	TI-125 (160 x 120)	662°F	\$5,499.95												
E6 (160 x 120)	482°F	\$2,495	TI-110 (160 x 120)	482°F	\$4,499.95												
E5 (120 x 90)	482°F	\$1,495	TI-105 (160 x 120)	482°F	\$2,999.95												
E4 (80 x 60)	482°F	\$995	TI-100 (160 x 120)	482°F	\$2,499.95												
FLIR Tools + Reporting Software		\$295	TI-95 (80 x 80)	482°F	\$1999.95												
High Temp Option –T420/620		\$1760	TI-90 (80 x 60)	482°F	\$1499.95												

Slika 25. Usporedba komercijalnih IC kamera na tržištu, izvor [26]

Od 2014. godine termografija postaje opće dostupna zahvaljujući modelima koje su tvrtke FLIR, Thermal Seek i Therm App plasirale na tržište. U suštini radi se o trećoj generaciji termografskih kamera koja se razvija od 1995. godine [27]. Slika 26. prikazuje FLIR ONE nadogradnju na mobilni uređaj i FLIR TWO kameru namijenjenu prvenstveno za kvalitativnu termografsku analizu.



Slika 26. FLIR ONE i FLIR TWO

Termovizijsku nadogradnju, kao novost koja je obilježila 2014. godinu karakterizira pojava još dva manja proizvođača, Thermal Seek i Therm App, prikazanu na slici 27. Tijekom 2016. godine pojavio se prvi pametni telefon s IC kamerom rezolucije 80 x 60 piksela, aparat CAT S60, slika 29. Iskustva korisnika s prvim primjercima S60 nisu ugodna jer su zabilježene bojne nepravilnosti u radu programske podrške i slabo upravljanje baterijom.



Slika 27. Thermal Seek



Slika 28. Therm App



Slika 29. CAT S60

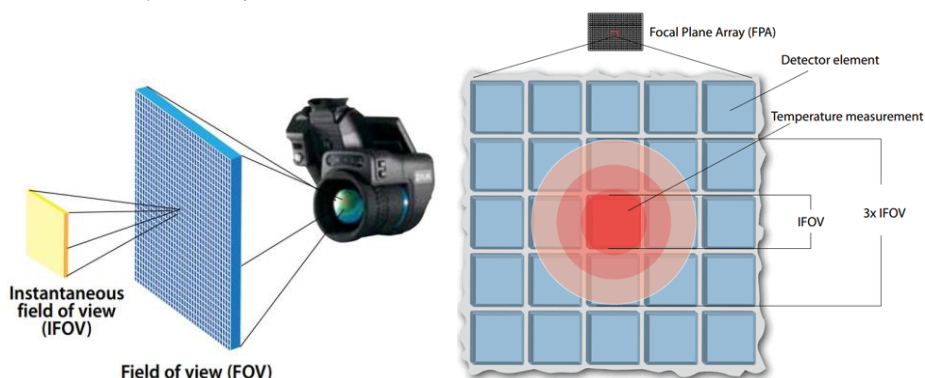
4. Karakteristike termografske kamere

Prilikom odabira infracrvene kamere mora se analizirati više tehničkih karakteristika:

- prostornu razlučivost
- temperaturno područje rada,
- razlučivost temperaturne razlike (Noise Equivalent Temperature Difference - NETD),
- brzina obnove slike (frekvencija) i
- točnost, [28].

Termogrami u radu snimljeni su termografskom kamerom rezolucije 160x120 piksela, vidnog polja $45^\circ \times 34^\circ$, temperaturnog opsega mjerenja od -20°C do 250°C , razlučivosti temperaturne razlike $<0,06^\circ\text{C}$, brzine osvježavanja 9 Hz i točnosti $\pm 2\%$ ili 2°C .

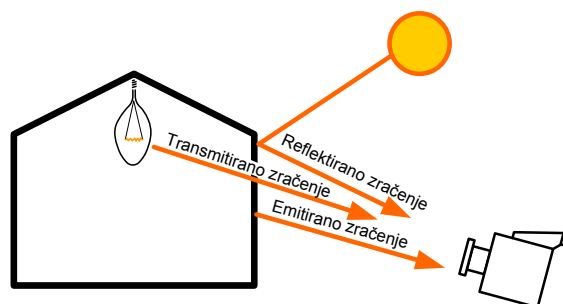
Iako rezolucija igra veliku ulogu prilikom odabira kamere vidimo da ona nije presudna jer prostorna razlučivost ovisi o FOV i IFOV, slika 30. FOV - Field of View ovisi o leći koja je ugrađena u kameru. Ako planiramo snimati dalekovode nužno je uzeti kameru s uskim kutem snimanja, a ako kameru planiramo koristiti u zgradarstvu trebamo široki kut snimanja. IFOV- Instantaneous Field of View ovisan je o rezoluciji jer govori o prostornom kutu pojedinog elementa osjetnika. Da bi mjerenje bilo točno slika objekt na osjetniku mora zauzeti površinu koja je najmanje veličine ili veća od jednog piksela osjetne mreže, slika 30. U slučaju naše kamere piksel bi na udaljenosti 1 m pokrio površinu širine 4,91 mm visine 4,95 mm, a kako bi mjerenje bilo "točno" analizirani predmet na udaljenosti 1 m treba biti veći od 9,82 x 9,9 mm.



Slika 30. FOV i IFOV, izvor [29]

Prilikom snimanja kamerom treba voditi računa da ona ne mjeri temperaturu već registrira zračenje na koje se referenciramo kao prividnu temperaturu. Razlog tome je što

registrirano zračenje ovisi o zračenju samog tijela, transmitiranom zračenju i reflektiranom zračenju, slika 31.

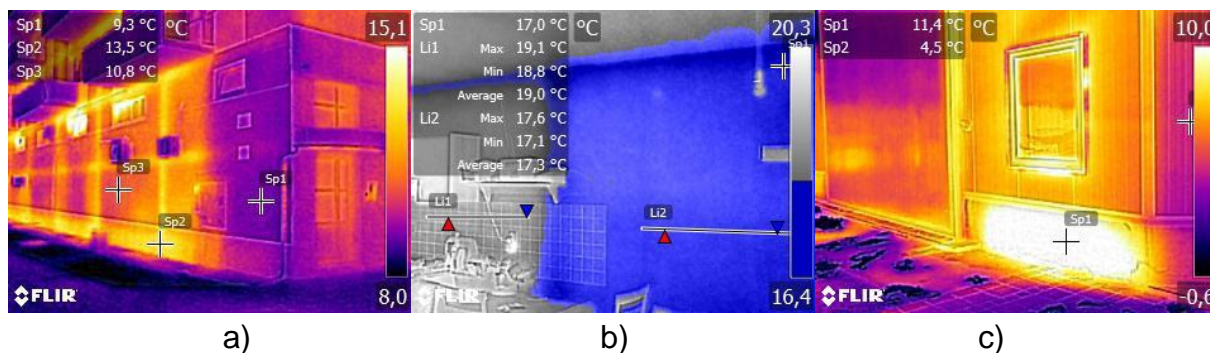


Slika 31. Prividna temperatura koju registrira infracrvena termografska kamera

Ako prilikom snimanja pogriješimo u postavkama parametra snimanja dobijamo termogram koji nije točan. Upotrebom programske podrške za analizu snimljenih termograma možemo izvršiti korekciju određenih parametara kako bi došli do točne vrijednosti temperature na površini objekta, poput: emisivnosti, reflektirane temperature, udaljenosti od objekta snimanja, vanjske atmosferske temperature, temperature optike i relativne vlažnosti. Ono što se ne može ispraviti često se spominje pod akronimom FoRD "Focus, Range and Distance". Ako objekt nije izoštren kamera će prikazati netočnu vrijednost prividne temperature. Ako je sniman objekt temperature 300°C s kamerom koja radi do 250°C očitana vrijednost prividne temperature neće biti točna. Ako smo se udaljili toliko da je promatrani objekt manji od IFOV prostora očitana vrijednost prividne temperature neće biti točna.

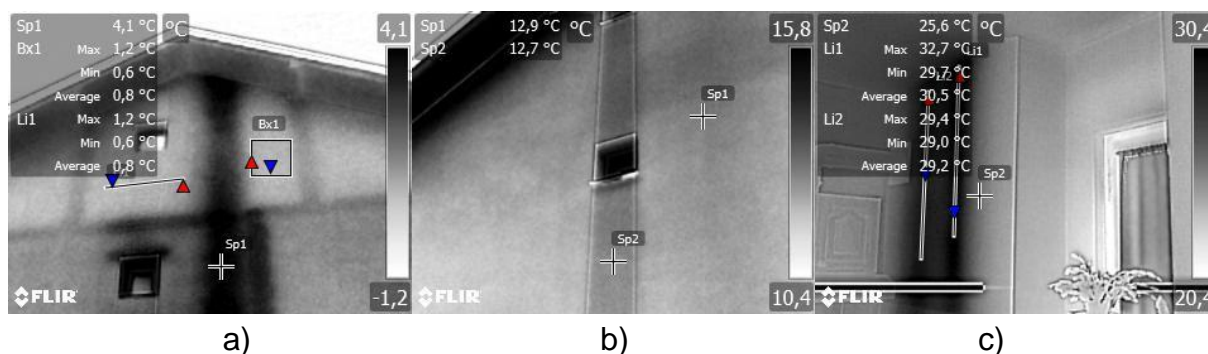
5. Primjena infracrvene termografije

Infracrvena termografija je primjenjiva u svim sferama ljudskog djelovanje jer predstavlja širi pogled na svijet i nepovratno mijenja poimanje prostora koji nas okružuje. **Primjena u građevinarstvu** vidljiva je slici 32 a koja prikazuje stambenu zgradu s poslovnim prostorima u prizemlju na kojoj se jasno vide serklaži i nosivi elementi konstrukcije kao i dio stubišta (donji desni kut objekta) koje nije grijani prostor. Na slici 32 b možemo uočiti plavim alarmom detektiran dio zid koji nije izoliran usprkos tvrdnjama izvođača radova. Na slici 32 c možemo uočiti smještaj radijatora i neizolirani dio parapeta vanjske ovojnice industrijska hale.



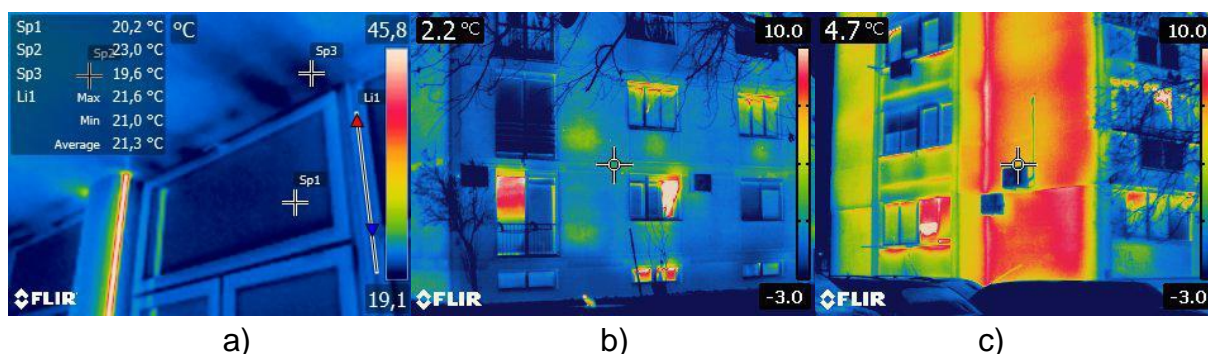
Slika 32. Termogrami zgrade

Postupak pasivne termografske analize objekata potrebno je provoditi u stacionarnom stanju, u okolini u kojoj se temperatura ne mijenja. Pri tome je neophodna temperaturna razlika od najmanje 10 °C između vanjske i unutarnje temperature kako bi se formirao toplinski tok. Slika 33 prikazuje objekt koji je prošao energetske obnovu. Na slici 33 a vidi se sjeverni dio pročelja prije obnove, a na slici 33 b nakon postavljanja ETICS sustava s 8 cm stiropora. Slika 33 c pokazuje smještaj dimnjaka i ventilacije kupaonice koji nakon obnove više nisu vidljivi s vanjske strane ovojnice.



Slika 33. Fasada prije i poslije energetske obnove

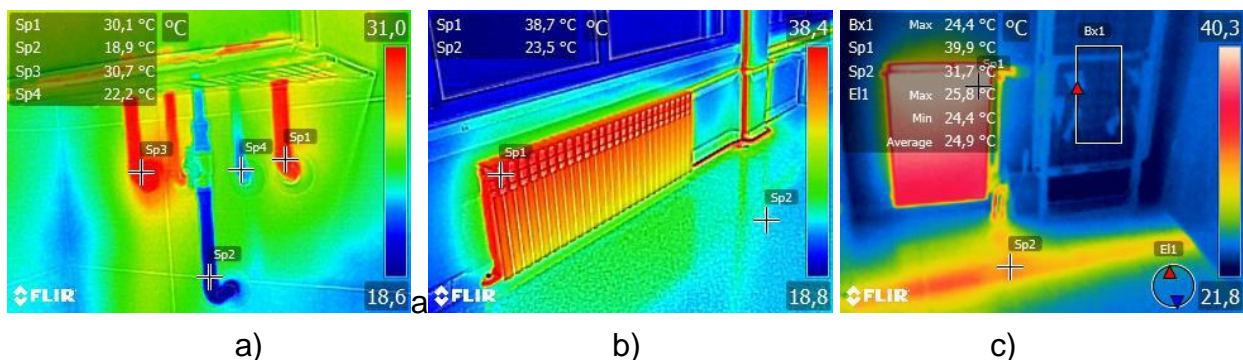
Slika 34 prikazuje termogram otvora na vanjskoj ovojnici. Na slici 34 a temperatura objekta je 23 °C, temperatura dijela stropa pod infiltracijom vanjskog zraka 19°C, a reflektirana temperatura od stakla 20°C, jer je staklo nepropusno za IC zračenje te je na njemu teško izmjeriti temperaturu. Toplinska refleksija najbolje je vidljiva na zrcalnoj slici cijevi centralnog grijanja koja se oslikava na površini stakla. Linijska analiza na PVC dijelu stolarije pokazuje prosječnu temperaturu od 21,3°C. Na slici 34 b vidimo otvorene prozore zgrade koja je spojena na gradsku toplanu. Slika 34 c prikazuje neizoliranu betonsku konstrukciju višestambenog objekta i otvorene prozore.



Slika 34. Termogram otvora vanjske ovojnice

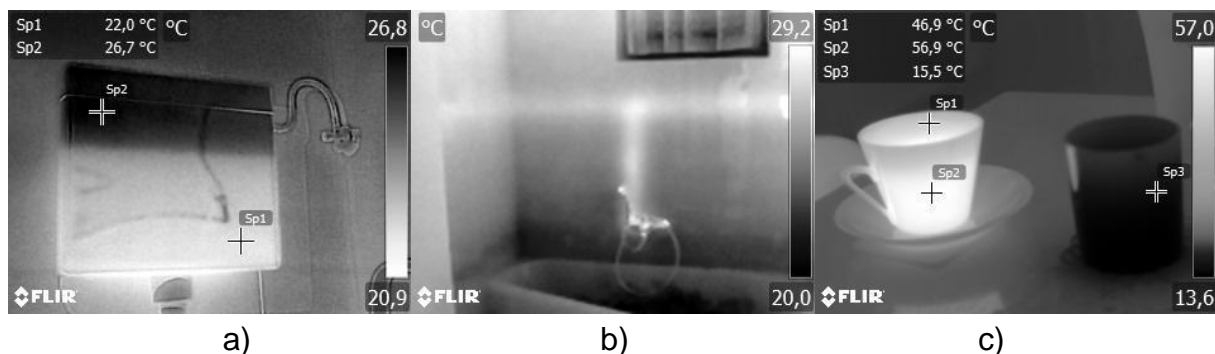
Primjena u strojarstvu vidljiva je na slici 35 a gdje su prikazani izvodi plinskog kombi bojlera i pripadajuće temperature pojedinih izvoda. Iz izmjerenih vrijednosti vidljivo je da je u trenutku snimanja bila aktivna potrošnja tople vode što je zaustavilo rad sustava grijanja. Iako je snimanje obavljeno korektno prostor točkastog mjerenja je mali što dovodi do greške prilikom mjerenja. Na slici 35 b možemo vidjeti sustav centralnog grijanja a iz

temperatura zaključiti da se radi o gradskoj toplani i da nema regulacije temperature. Na slici 35 c može se uočiti podni razvod grijanja i trasa na kojoj se nalazi cjevovod.



Slika 35. Termogrami sustava grijanja

Na slici 36 a vidljiva je količina vode u vodokotliću. Slika 36 b prikazuje toplinski trag razvoda tople vode ispod keramičkih pločica. Na slici 36 c vidljiva je količina kave i vode u čašama te njihove temperature.



Slika 36. Termogrami sustava dobave vode i detekcija nivo tekućine

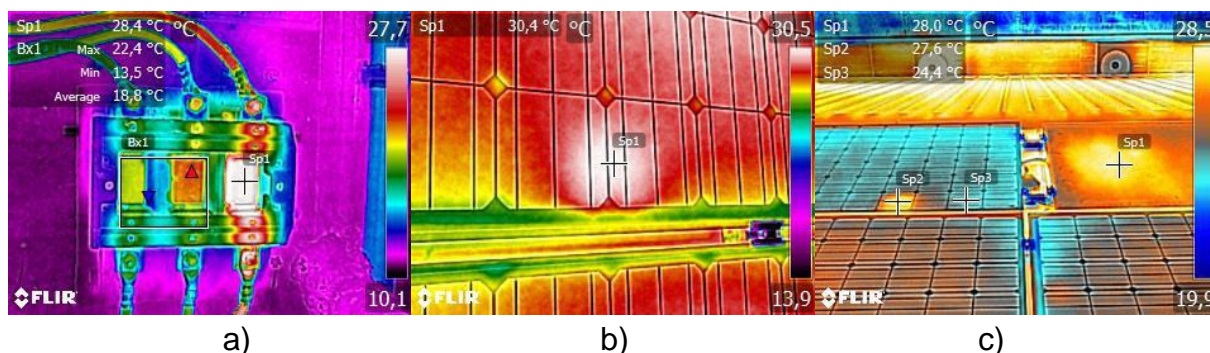
Područje elektrotehnike je relativno zahtjevno jer ne postoji jedinstveni tehnički standard procjene ispravnosti elektroenergetskih instalacija na osnovu termograma. Postoji više organizacija koje su tijekom godina razvile svoju metodologiju održavanja [29]. Iskustvena metoda preporučenog postupka u održavanju na osnovu razlike temperatura između sličnih komponenti sustava koje rade u sličnim uvjetima prikazana je tablicom 1.

Tablica 1. Iskustvena metoda u održavanju na osnovu razlike temperatura

Prioritet	Razlika temperatura sličnih komponenti, sličnog opterećenja	Preporučen postupak
1	> 40°C	Korektivne radnje poduzeti odmah
2	> 20 - 40°C	Korektivne radnje poduzeti što prije moguće

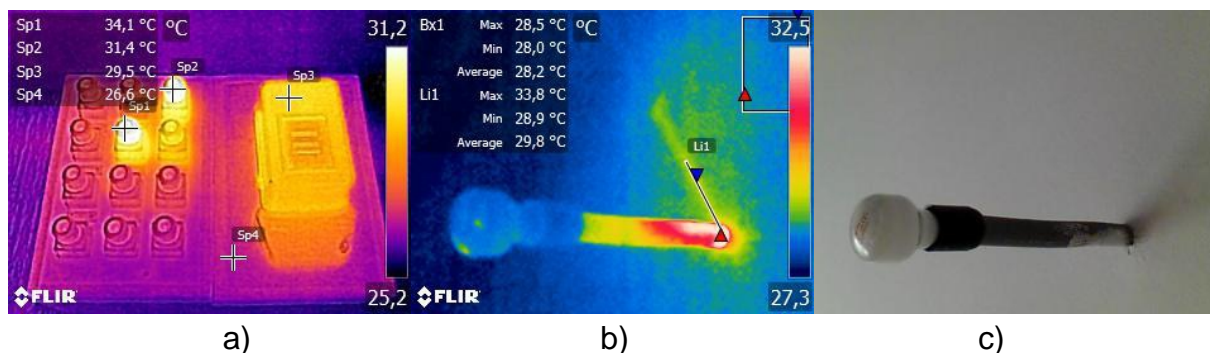
3	> 10- 20°C	Korektivne radnje poduzeti kada raspored dopusti
4	1 - 10°C	Korektivne radnje planirati u slijedećem planu održavanja

Na slici 37 a možemo vidjeti zagrijavanje HRC osigurača. Slika 37 b prikazuje smještaj spojne kutije fotonaponskog panela koja se očituje kao lokalno zagrijavanje. Slika 37 c prikazuje u točki Sp2 neispravan segment fotonaponskog panela.



Slika 37. Termogrami HRC osigurača i fotonaponskih panela

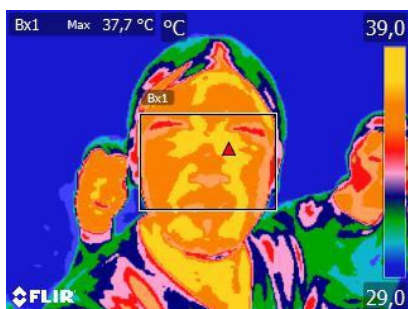
Termografija fonaponskih panela nije jednostavna jer je staklo nezahvalan materijal za termografiju i zbog toga je preporuka vršiti analizu sa stražnje strane panela koji karakterizira plastični pokrov, [3]. Na slici 38 a može se vidjeti još relativno prihvatljivo zagrijavanje klasičnih Siemensovih osigurača. Slika 38 b i 38 c prikazuju primjenu aktivne termografije. Toplinskom pobudom zagrijavan je prostor stropa kako bi se utvrdio položaj napojnog voda da prilikom bušenja rupa za armaturu svjetiljke ne dođe do oštećenja napojnog voda.



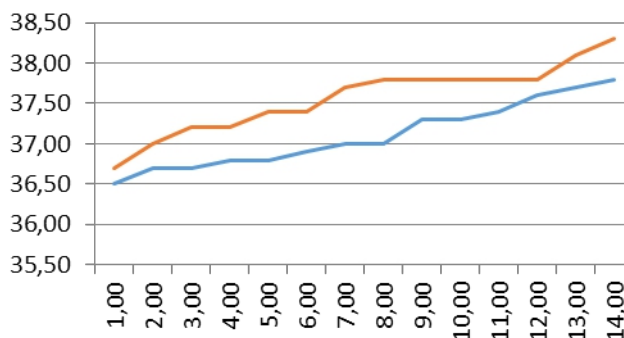
Slika 38. Termogrami Siemens osigurača i određivanje položaja vodiča

Na slici 39 možemo uočiti lice na kojem je izmjerena temperatura. Mjerenje temperature osobe provodi se s emisivnošću 0,98 u slučaju tamne kože ili 0,97 u slučaju svjetlije kože na prostoru oka gdje je oko spojeno suznim kanalom. Slika 40 predstavlja grafičku interpretaciju mjerenja temperature provedene na petnaest osoba. Crvenom bojom označeni su rezultati mjerenja na grupi ljudi u 2016. godini, a plavom bojom rezultati mjerenja na drugoj skupini u 2015. godini. Prosjek temperature je 37,34 °C pri čemu je

izmjerena minimalna vrijednost 36,50 °C, a maksimalna 38,30°C. **Termografija u medicini** je izrazito korisna i primjenjiva jer se karcinom dojke može uočiti veća nakon dvije godine od nastanka dok mamografiji treba od pet do osam godina.

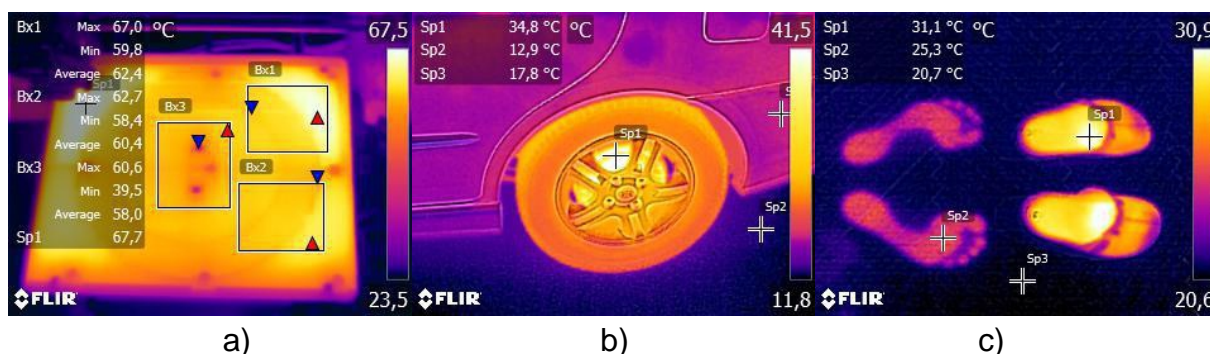


Slika 39. Analiza temperature osobe



Slika 40. Analiza temperature 15 osoba

Istraživanje i razvoj predstavlja izrazito područje na kojem termografska oprema dolazi do izražaja. Na slici 41 a može se vidjeti bazna ploča 3D printera za koju je iznimno važno da bude homogene temperature kako bi ispis bio kvalitetan. Na slici 41 b možemo vidjeti navike vozača kroz upotrebu kočionog sustava ili donijeti zaključke kada je automobil vožen. Isto tako na slici 41 c jasno je vidljiv vremenski trag kada je netko od ukućana napustio prostor.



Slika 41. Termogrami 3D printera, automobila i kućnih papuča

6. Zaključak

Infracrvena termografija je bezkontaktna metoda određivanja distribucije temperature na površini promatranog objekta mjerenjem intenziteta zračenja u IC području elektromagnetskog spektra. Termografija u pogledu informacije koju pruža dijelimo na kvalitativnu i kvantitativnu, a s aspekta pobude na pasivnu i aktivnu. Postupak termografske analize objekata moguć je samo ako su predmeti duže vrijeme u stacionarnom stanju. U analizi građevina neophodna je temperaturna razlika od najmanje 10 °C. Toplinsko zračenje je jedan od oblika elektromagnetskog zračenja (EM) i ne iziskuje medij za propagaciju prostorom. Termografija u skladu s ISO 20473 vrši analizu zračenja u tri područja, ali najčešće se podjela vrši u pet područja. Teorijska osnova infracrvene

termografije je Planckov zakon o zračenju crnog tijela. Prilikom upotrebe kamere mora se voditi računa o emisivnosti materijala i da se emisivnost mijenja s valnom dužinom na kojoj se promatra zračenje ali i ovisno je o temperaturi tijela. Povijest termografije obilježile su mnogobrojne inovacije i tehnička rješenja. Sama kamera je u trećoj generaciji razvoja. Cijena proizvodnje senzora pada, ali raste rezolucija komercijalno dostupnih rješenja. Od 2014. godine pojavom malih jeftinih kamera termografija postaje opće dostupna. Neovisno o tome profesionalnu opremu nije moguće zamijeniti. Najvažnija stvar u termografiji je edukacija. Bez kontinuirane edukacije nije moguće provesti snimanje, kvantitativnu analizu termograma niti tumačenje snimljenog materijala. Za osobu koja se posveti termografiji nije dovoljna samo edukacija na području termografije već mora kontinuirano proučavati i tehničke sustave na kojim se provodi termografska analiza.

7. Literatura

- [1] H. Glavaš, D. Vidaković, T. Barić, "Finding openings with the use of infrared thermography" Proceedings of technical and scientific conference with international participation SFERA 2015 Design and technologies of architectural openings, pp. 93-97, Mostar, 12-13.11.2015 Bosnia and Herzegovina
- [2] H. Glavaš, A. Kvaček, D. Muštran, "Gas Detection Thermography", V International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection 2015 (IIZS 2015), October 15th -16th, 2015, Zrenjanin, Serbia
- [3] Hrvoje Glavaš, Marko Vukobratović, Mario Primorac, Daniel Muštran: "Infrared Thermography in Inspection of Photovoltaic Panels", International Conference on Smart Systems and Technologies, (rad u postupku) SST 2017.
- [4] Marija Engelman, "Zračenje topline i tehničke primjene", Završni rad, mentor doc.dr.sc. Tomislav Barić, sumentor dr.sc. Hrvoje Glavaš, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2012.
- [5] F. Kreith, R.F. Boehm, et. al.: "Heat and Mass Transfer" Mechanical Engineering Handbook, CRC Press LLC, 1999.
- [6] William Herschel: "Experiments on the Refrangibility of the Invisible Rays of the Sun" Philosophical Transactions of the Royal Society of London Vol. 90, pp. 284-292, 1800.
- [7] E.Scott Barr: "The infrared pioneers – II. Macedonio Melloni", Infrared Physics, Vol. 2, pp. 67–73, Pergamon Press, 1962.
- [8] G. W. A. Dummer, J. Mackenzie Robertson: "Medical electronic laboratory equipment, 1967-68." Pergamon Press 1967.
- [9] E. F. J. Ring, "The historical development of thermometry and thermal imaging in medicine" Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 30, No. 4, July/August, 192 – 198, 2006.
- [10] D.J. Lovell: "Cashman Thallous Sulfide Cell" Applied Optics, Vol. 10, Issue 5, pp. 1003-1008, May 1971.

- [11] Massopust, L. C. "Infrared Photographic Study of the Superficial Veins of the Thorax in Relation to Breast Tumours. " *Surgery, Gynaecology and Obstetrics*, 8j6, 54-58, 1948.
- [12] Robin Williams, Gigi Williams: "Pioneers of Invisible Radiation Photography" web page http://medicalphotography.com.au/Article_04/08.html
- [13] Priego Quesada, Jose Ignacio (Ed.): "Application of Infrared Thermography in Sports Science" Springer International Publishing AG 2017.
- [14] C. Maxwell Cade: " The industrial potential of the <heat camera>" *New Scientist* broj. 400, 16. srpanj 1964.
- [15] Mary Diakides, Joseph D. Bronzino, Donald R. Peterson: "Medical Infrared Imaging Principles and Practices" CRC Press 2013
- [16] Clifton Warren, Larry Lepley: "Comparison of the AGA and Bofors Infrared Scanner in Aerial Geophysical Exploration" *Water resources Research Center University of Hawaii*, 1969.
- [17] Ed Kochanek: "Thermal Imaging from the Beginning of the Thermographer's Camera to the Present" FLIR Systems, Inc., <http://www.irinfo.org/12-1-2013-kochanek>
- [18] <http://www.aga-museum.nl/page/thermovision>
- [19] <http://www.flir.com/legacy/view/?id=51539>
- [20] <http://www.infraredtraining.com/community/boards/thread/3224>
- [21] Andy Thé, David Bursell: "Thermal Analysis with FLIR Cameras and MATLAB" The MathWorks, Inc. 2014.
- [22] Antoni Rogalski: "Infrared detectors, 2nd ed." CRC Press 2011.
- [23] Antoni Rogalski: "History of infrared detectors" *Opto-Electron. Rev.*, 20, no. 3, 279–308, 2012. DOI: 10.2478/s11772-012-0037-7
- [24] C. Corsi: "New frontiers for infrared" *Opto-Electron. Rev.*, 23, no. 1, 2015, DOI: 10.1515/oere-2015-0015
- [25] Angelo Scotty Gilmore, Stefan Baur, James Bangs: "High-Definition Infrared Focal Plane Arrays Enhance and Simplify Space Surveillance Sensors" *Raytheon Technology Today*, issue 1, 2008.
- [26] Featured products <http://www.tomwblack.com>
- [27] Hrvoje Glavaš, Tomislav Barić, Anita Kvaček: "Termovizija u održavanju elektroenergetskih instalacija", 24. međunarodni znanstveno-stručni skup Organizacija i tehnologija održavanja OTO'2015, Donji Miholjac, Hrvatska, 2015.
- [28] M. Andrassy, I. Boras, S. Švaić: "Osnove termografije s primjenom", Kigen, Zagreb, 2008.
- [29] H. Glavaš, L. Józsa, T. Barić, "Infrared Thermography in Energy Audit of Electrical Installations", *Technical Gazette*, 23, 5, 1533-1539, 2016. DOI: 10.17559/TV-20150702185559
- [30] FLIR: "Temperature Guns Versus Thermal Imaging Technology", November 5, 2015

Procjena rizika prilikom oštećenja plinovoda uzrokovanih elementarnim nepogodama ***Risk assessment for gas pipelines damages caused by elemental disasters***

M. Rašić, T. Šolić*, D. Marić, M. Duspara, S. Aračić, I. Samardžić

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod,
Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: tsolic@sfsb.hr

Sažetak

U radu je opisan mehanizam nastajanja korozijskog oštećenja kao i čimbenici koji uzrokuju pojavnost istoga kod instalirane plinske mreže, odnosno plinovoda. Kako bi se pojava korozijskih oštećenja svela na minimum, pri projektiranju i izgradnji najvažniji je ispravan izbor konstrukcijskog materijala za izradu plinske mreže te njegova odgovarajuća zaštita koja osigurava postojanost i eksploatacijsku funkcionalnost u predviđenom životnom vijeku. Kao optimalan izbor konstrukcijskih materijala navedena su dva korištena materijala, čelične bešavne cijevi i PEHD cijevi, kojima se u današnje vrijeme daje prioritet pri izboru u odnosu na prve te koje se sve više upotrebljavaju. Razlog tome su oštećenja koja mogu nastati kod plinovoda izrađenih čeličnim cijevima, uzrokujući ozbiljne probleme kako za okoliš tako i za čovjeka. Kako bi se spriječile pojave takvih oštećenja plinovod se mora zaštititi, a proces zaštite osigurava se katodnom zaštitom, izolacijom za ravne dijelove plinovoda, polietilenskim trakama te odgovarajućim premazima. Nadalje, u radu su opisani slučajevi prekida, tj. puknuća plinovoda na različitim udaljenostima od magistralnog voda kao i njihova moguća posljedica za plinovod i ljudski život. Povijesno je analizirana pojavnost potresa, poplava, nevremena i pijavica na području grada Osijeka te je prema činjeničnom stanju procijenjeno i zaključeno hoće li doći do prekida plinovoda, požara ili eksplozija uzrokovanih istima.

Ključne riječi: korozija, plinovod, cijevi, procjena rizika

Abstract

The paper describes the mechanism of corrosion damage as well as the factors that cause the appearance of the same in the installed gas network or gas pipeline. In order to minimize the occurrence of corrosion damage, in design and construction the most important is correct choice of construction material for the design of the gas network and its adequate protection that ensures stability and exploitation functionality in the foreseeable life span. As the optimal choice of construction materials, two used materials,

steel seamless pipes and PEHD pipes are listed, which are nowadays prioritized in choice of the first and increasingly used. The reason for this is the damage that can be caused to steel tubes, causing serious environmental problems as well as for humans. In order to prevent the occurrence of such damages, the gas pipeline must be protected and the process of protection is ensured by cathodic protection, insulation for flat pipe sections, polyethylene strips and appropriate coatings. Furthermore, the paper describes the cases of interruption, that is the pipeline breakdown at different distances from the main line as well as their possible consequences for the gas pipeline and human life. The occurrence of earthquakes, floods, stormy weather and leech in the Osijek area has been historically analyzed and, according to the factual situation, it has been estimated and concluded whether the gas pipeline will be stopped, or if there will be fire or explosion caused by it.

Key words: corrosion, gas pipeline, pipes, risk assessment

1. Uvod

Pojava korozije i korozijskog oštećenja plinovoda problem je izrazito velike važnosti zbog negativnog utjecaja na okoliš i ljudski život koji u konačnici može prouzročiti. Pravilno projektiranje plinske mreže kao i sama izrada sa odgovarajućom antikorozivnom zaštitom glavne su stavke u sprječavanju takvih pojava te osiguravaju sigurnu eksploataciju instalirane plinske infrastrukture u predviđenom životnom vijeku.

Korozijski mehanizmi okarakterizirani su kao heterogeni kemijski procesi u kojima kao reaktanti sudjeluju konstrukcijski materijal i komponenta okoline u kojoj se isti nalazi, koja po svojoj pojavnosti može biti tekuća, plinovita ili čvrsta, uz uvjet da među spomenutim reaktantima postoji težnja za međusobnim spontanom reagiranjem [1]. Osim spomenutih vanjskih čimbenika na koroziju plinovoda primarno utječu neki čimbenici koji su lako dostupni tijekom transporta unutar sustava, kao što su pH vrijednosti plina, prisutni oksidirajući agensi, temperatura sustava, brzinu strujanja fluida, smično naprezanje stjenki cijevi, veličina prisutnih čestica, sastav i viskoznost fluida.

Aplikacija sustava antikorozivne zaštite povećava korozijsku otpornost konstrukcijskog materijala i neophodna je stavka svake plinske mreže, prvenstveno na dionicama plinovoda izrađenima od čeličnih bešavnih cijevi.

2. Unutarnji faktori korozijskog oštećenje plinovoda

Osim već spomenutih vanjskih utjecajnih čimbenika koji uzrokuju pojavnost korozijskih mehanizama na materijalu plinovoda, transportni uvjeti unutar sustava također su u velikoj mjeri faktori korozijskog oštećenja plinovoda.

2.1. Unutarnja korozija plinovoda

Ukoliko je unutarnja stjenka cijevi plinovoda izložena vodi i zagađivačima u plinu poput kisika (O_2), sumporovodika (H_2S), ugljikovog dioksida (CO_2) ili iona klorida, moguća je pojava korozijskog oštećenja u ovisnosti o koncentraciji i kombinaciji navedenih zagađivača [2].

2.2. pH vrijednost

Vrijednost pH unutar cijevi potiče galvansku koroziju, gdje na brzina korozije metala topivih u kiselini, kao što je željezo, prevladavajući utjecaj ima brzina prijenosa oksidanta (obično otopljenog kisika) na površinu metala budući da se amfoterni metali, kao što su aluminij i cink, brzo otapaju u kiselim ili lužnatim otopinama [2].

2.3. Oksidirajući agensi

Oksidirajući agensi su često snažni ubrzivači korozije. Primarnim oksidirajućim agensima smatraju se ioni bikarbonata (HCO_3^-) i voda (H_2O), dok kisik doprinosi erozijskoj koroziji u vodenim suspenzijama čvrstih čestica. U mnogim slučajevima oksidacijska moć otopine je najvažnije pojedinačno svojstvo u poticanju korozije [2].

2.4. Temperatura

Brzina korozije proporcionalna je porastu temperature jer gibanje i vodljivost iona rastu s temperaturom. Temperatura i tlak upravljaju topivošću korozivnih komponenti u fluidima, uključujući kisik, ugljikov dioksid (ili H_2S u slučaju polja koje sadrži ugljikovodike s visokim sadržajem sumporovodika), klorid i između ostalih i octenu kiselinu. Po jednostavnom pravilu, brzina reakcije se udvostručuje kod porasta temperature od $6,6\text{ }^\circ\text{C}$ do $10\text{ }^\circ\text{C}$. Ovaj linearni rast prestaje na nekim mjestima, djelomično zbog promjene u oksidacijskom filmu koji prekriva površinu [2].

2.5. Brzina strujanja fluida

Velika brzina strujanja fluida uzrokuje sudar čestica prisutnih u fluidu s unutrašnjom stjenkom cijevi koji ima za posljedicu uklanjanje zaštitnog oksidnog sloja i nekih metala ispod njega uzrokujući eroziju što s vremenom dovodi do erozijske korozije. Osim toga, brzina vode od $9,1$ do $12,2\text{ m/s}$ inducira koroziju, budući da porast relativnog gibanja između korozivne otopine i površine metala ubrzava koroziju [2].

2.6. Smično naprezanje stjenki

Smično naprezanje stjenki je čimbenik povezan sa erozijskom korozijom. Turbulentno strujanje čest je način transporta fluida u industriji plina s ciljem povećanja efikasnosti transporta i minimiziranja troškova. Čestice i ostale geometrijske promjene tijekom protjecanja uzrokuju porast smičnog naprezanja zbog abrazije, dovodeći do smicanja koje na kraju inducira koroziju unutarnje stjenke trošenjem zaštitnog premaza [2].

2.7. Dimenzija čestica

Veličina čestica koje se gibaju prenošenim fluidom igra važnu ulogu u poticanju unutarnje korozije cjevovoda. Erozijska i kavitacijska korozija spadaju među korozije za koje se smatra da bi mogle biti inicirane raspodjelom čestica po veličini. Čestice koje se gibaju brzinom zvuka ili nadzvučnom brzinom prilikom udara u unutarnju stjenku dovode do

postepenog krhanja površine cijevi čime se ona izlaže onoj vrsti korozije koja tamo prevladava [2].

2.8. Kemijski sastav i koncentracija

Sastav i koncentracija plina predstavljaju važan faktor u brzini korozije transportnih cjevovoda. Koncentracija iona prenošenih fluida potiče korozijsko pucanje pod naprezanjem, a osim toga postoje i različiti odnosi između brzine korozije cijevi i sastava i koncentracije. Utjecaj pH i koncentracije na brzinu korozije najlakše je razumjeti putem elektrokemijske reakcije. Za bilo koji pH, brzina korozije cijevi raste s koncentracijom nemetalnih komponenti u fluidu. Korozijsko oštećenje slitine metala kontrolira djelomično zaštitni površinski film, a do korozijskih reakcija pretežno dolazi na prekidima ili na dijelovima filma s nedostacima. Iz toga proizlazi da se dijelovi površine bez filma povećavaju s padom pH mase i porastom koncentracije iona nemetala u fluidu [2].

2.9. Viskoznost fluida

Viskoznost predstavlja otpor fluida protoku i smičnim silama, a mjeri se silom otpora po jedinici površine u homogenom fluidu. Veća viskoznost uzrokuje manju mobilnost i veće je vrijeme interakcije na površini između svojstava fluida i unutrašnje površine cijevi koja olakšava iniciranje korozije [2].

3. Konstrukcijski materijal za izradu plinovoda

Kako je već ranije spomenuto kao optimalni konstrukcijski materijali za izradu plinova koriste se čelične bešavne cijevi i PEHD cijevi, kojima se u današnje vrijeme daje prioritet pri izboru u odnosu na prve te koje se sve više upotrebljavaju.

3.1. PEHD cijevi

PEHD cijevi proizvode se u crnoj boji sa četiri uzdužno koekstrudirane linije koje ovisno o namjeni (transport tekućina, transport plina) imaju određenu boju. Budući da su izrađene od polietilena visoke kakvoće (PEHD), garantirana su odlična fizička i kemijska svojstva, a mala specifična težina i vrlo visoka savitljivost i fleksibilnost olakšavaju polaganje pri izgradnji sustava. Glatka stjenka sprječava taloženje i razne druge naslage, vodonepropusne su, otporne na kemikalije, te imaju veliku otpornost na udarce (visoka čvrstoća i žilavost) [3].

3.2. Čelične bešavne cijevi

Čelične bešavne cijevi proizvode se u skladu sa europskom normom EN 10297-1 i po svojoj zastupljenosti najčešće su korišteni okrugli čelični proizvodi u današnjoj industriji, upotrebljavajući se u građevinarstvu za izradu kompliciranih, ali i vrlo dojmljivih čeličnih konstrukcija, a sastavni su dio automobilske i brodograđevne industrije [4].

Čelične bešavne okrugle cijevi prema normi EN 10297-1 proizvode se postupkom toplog oblikovanja, jednako kao i okrugle cijevi prema normi EN 10210 te stoga imaju slične karakteristike, a u skladu s tim proizvođači često atestiraju istu cijev u obje norme. Na



takvim su cijevima obično odštampane obje norme sa oznakom EN10210/EN10297-1 S355 J2H/E355 +N.

3.3. Zaštita plinovoda

Oštećenja koja mogu nastati kod plinovoda mogu prouzrokovati ozbiljne probleme kako za okoliš tako i za čovjeka. Kako bi se spriječile pojave takvih oštećenja plinovod se mora zaštititi, a proces zaštite osigurava se katodnom zaštitom, izolacijom za ravne dijelove plinovoda, polietilenskim trakama te odgovarajućim premazima. Cijevi za plinovode se tvornički izoliraju, a na mjestima zavara na gradilištu se vrši izolacija raznim tehnikama i materijalima. Cijevi za lomove i razne prelaze, koje se naručuju ili savijaju na trasi, izoliraju se za to predviđenim trakama. Cijeli sistem se štiti katodnom zaštitom zbog mogućnosti oštećenja izolacije na pojedinim mjestima, a na podmorskim cjevovodima se ugrađuju žrtvene anode. Razne stanice na plinovodima i to njihovi ukopani dijelovi koji se teško izoliraju trakama zaštićuju se za to predviđenim premazima. Ako u transportnom mediju ima sumpornih spojeva posvećuje se posebna pažnja zavarenim spojevima vodeći računa o njihovoj tvrdoći koja se po potrebi smanjuje odžarivanjem [5].

4. Procjena rizika u slučaju oštećenja plinovoda uslijed elementarnih nepogoda

Procjena rizika provedena je prema IAEA metodi, sukladno Priručniku za razvrstavanje i utvrđivanje prioriteta između rizika izazvanim velikim nesrećama u procesnoj i srodnim industrijama. Do razine rizika dolazi se izračunom broja žrtava u pogođenom području i učestalosti događaja na razini godine, a dobiveni podaci smještaju se u matricu rizika i sukladno smještaju određen je društveni rizik od nastanka nesreće u plinskoj mreži pogona. Ispuštanje plina te nastanak požara i eksplozija može biti uzrokovano zemljanim radovima na otvorenom u blizini plinovoda ili na njegovoj trasi, neadekvatnim održavanjem uređaja u plinskim stanicama, potresima, atmosferskim pražnjenjem, statičkim električitetom, propadanja antikorozivne zaštite kod čeličnih plinovoda, promjenom strukture materijala uslijed duge uporabe (uporabe iznad njegove životne dobi), ratnog djelovanja ili diverzija (terorističko djelovanje pojedinaca ili skupina i namjerno uništavanje i izazivanje eksplozije) i sl. [6].

4.1. Procjena vanjskih posljedica velikih nesreća za ljude

Procjena vjerojatnosti i broja ljudskih žrtava za nepokretna postrojenja temelji na procjeni posljedica (tj. broju izvanjskih smrtnih slučajeva) koje mogu biti izazvane i velikim nesrećama za svaku od aktivnosti koje se raščlanjuju umnoškom pogođenog područja i gustoće naseljenosti unutar područja i primjenom niza korektivnih čimbenika koji odražavaju udaljenost od najbližeg naseljenog područja, rasprostranjenost stanovništva u tom području i moguće ublažavajuće radnje. Obzirom na ukupnu količinu eksploziva u najgorem slučaju, broj smrtno stradalih u iznenadnom događaju se po ovoj metodi određuje prema slijedećem izrazu:

$$C = A \cdot \delta \cdot f_p \cdot f_u \quad , \text{ smrtno stradalih} \quad (1)$$

gdje je:

C - broj smrtno stradalih,

A – pogođeno područje,

δ – gustoća naseljenosti u pogođenom području,

f_p - korekcijski parametar vezan uz rasprostranjenost stanovništva na pogođenom području,

f_u - korekcijski parametar ublažavajućih učinaka [6].

4.2. Procjena vjerojatnosti vanjskih nesreća za nepokretna postrojenja

Metoda se zasniva na učestalosti velikih nesreća za svaku promatranu djelatnost, izvođenjem prosječne (standardne) vrijednosti (koja je apsolutna vrijednost logaritma broja pojavljivanja nesreća u toj „standardnoj“ djelatnosti) te ugrađujući i nekoliko korekcijskih parametara za broj vjerojatnosti. Vjerojatnost pojave iznenadnog događaja određuje se na slijedeći način:

$$P_{p,t} = N_{p,t}^* + n_{ui} + n_z + n_o + n_n, \% \quad (2)$$

$$N = \lfloor \log P_{p,t} \rfloor \quad (3)$$

gdje je:

N – vjerojatnost nastanka iznenadnog događaja,

$N_{p,t}^*$ - prosječna vrijednost vjerojatnosti za određeno postrojenje i određenu tvar,

n_{ui} - korekcijski parametar broja vjerojatnosti za učestalost radnji utovara/istovara,

n_z - korekcijski parametar broja vjerojatnosti za sigurne sustave povezane sa zapaljivim tvarima,

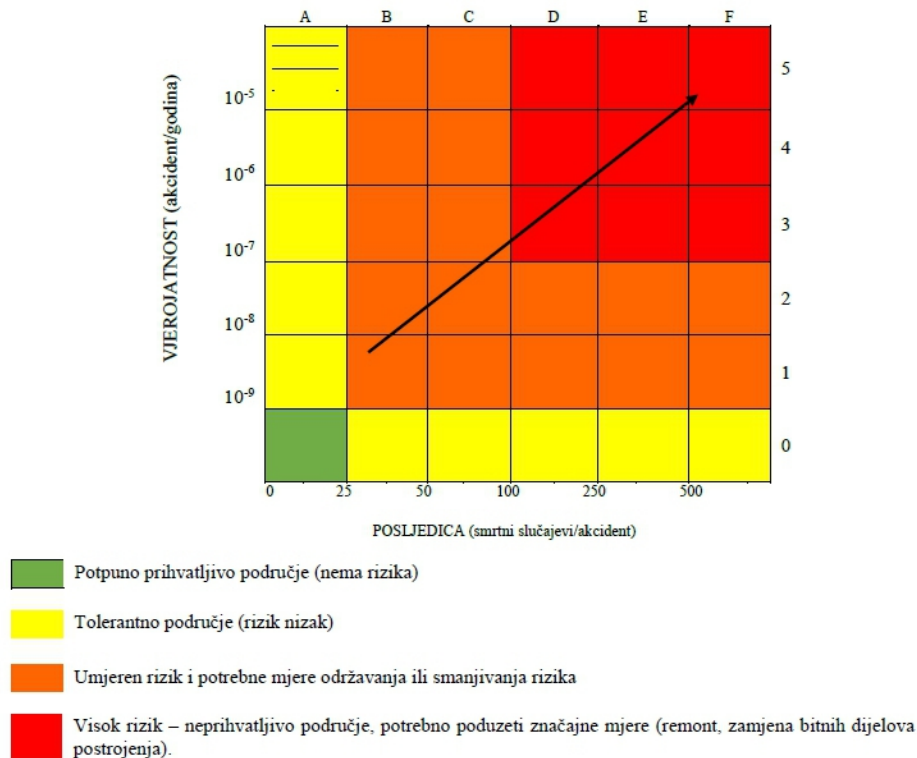
n_o - korekcijski parametar broja vjerojatnosti za organizacijske i sigurnosne sustave,

n_n - korekcijski parametar broja vjerojatnosti za smjer vjetra prema naseljenom području,

P – učestalost pojave iznenadnog događaja [6].

4.3. Procjena društvenog rizika

Primjenom IAEA metode određuje se vjerojatnost nastanka izvanrednog događaja i broj smrtnih slučajeva. Na osnovu tih podataka moguće je utvrditi kategoriju rizika za predmetnu lokaciju i tvar koristeći unaprijed definirane kategorije rizika prema matrici rizika, gdje se djelatnosti s većom vjerojatnošću nastanka nalaze se u gornjem dijelu matrice, a djelatnosti s većim posljedicama, odnosno, brojem smrtnih slučajeva nalaze u gornjoj desnoj strani matrice.



Slika 1. Matrica rizika [6]

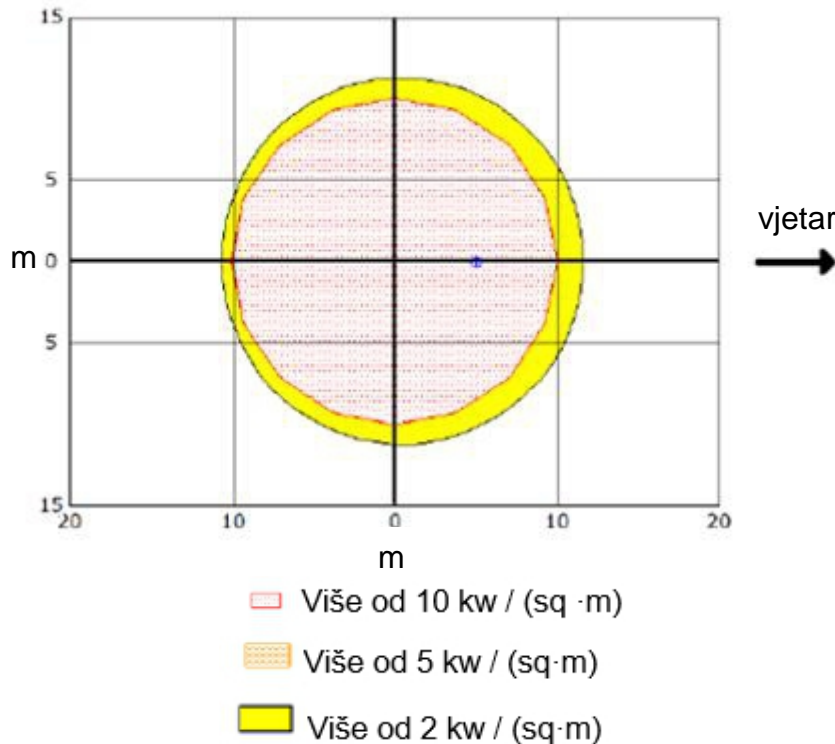
5. Prekid plinovoda (profila 2'') te posljedice istoga za plinovod i ljudski život

Analizirana su dva slučaja, prvi gdje je prekid plinovoda nastupio na 30 metara, a drugi gdje je do prekida došlo na udaljenosti 100 metara od magistralnog plinovoda. Za analizu slijedećih grafikona potrebno je objasniti oznake koje će se pojavljivati i koje će predstavljati stupnjeve negativnih posljedica uzrokovanih prekidom plinovoda, a one su slijedeće:

- **letalna doza** - iznosi 10 kW/m² u 60 sekundi te je označena crvenom bojom i predstavlja za život opasnu količinu toplinskog zračenja u 60 sekundi,
- **doza opekline drugog stupnja** - iznosi 5 kW/m² u 60 sekundi te je označena narančastom bojom i predstavlja količinu toplinskog zračenja u 60 sekundi koja izaziva opekline,
- **doza prekoračenja praga boli** iznosi 2 kW/m² u 60 sekundi te je označena žutom bojom i predstavlja količinu toplinskog zračenja koja u 60 sekundi izaziva bol.

5.1. Prekid plinovoda na udaljenosti 30 metara od magistralnog voda

Ukoliko je došlo do oštećenja i prekida plinovoda na udaljenosti 30 metara od magistralnog voda, moguća je pojava paljenja smjese te pojava baklje visoke do 4 m. Pri nastaloj situaciji plin će izgarati brzinom od 41,9 kg/min (kasnije se intenzitet izgaranja smanjuje), a ukupno će za jedan sat izgorjeti 1332 kg plina. Područje djelovanja baklje i ugrožavanja je u smjeru vjetrova, pojavljujući se u obliku blago izduženog kruga (Slika 2.) [6].

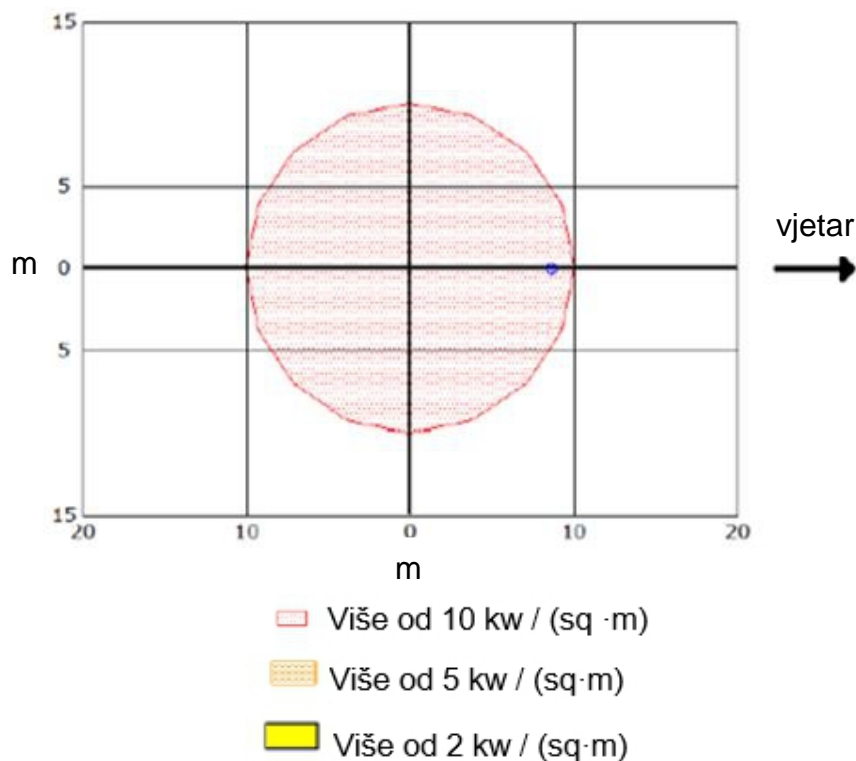


Slika 2. Područja ugrožavanja prilikom pojave baklje na udaljenosti 30 metara od magistralnog voda [6]

Kako je prikazano na prethodnoj slici, ukoliko nastupi oštećenje plinovoda i dođe do pojave baklje moguće su pojave ugrožavajućih posljedica na udaljenosti manjoj od 10 metara i to životno opasnih opekline na udaljenosti do 5 metara, dok se na udaljenosti do 7,5 metara mogu pojaviti opekline drugog stupnja. U skladu sa prikazanim, prag boli pojavljuje se do 12 metara od izvora.

5.2. Prekid plinovoda na udaljenosti 100 metara od magistralnog voda

Ukoliko je došlo do oštećenja i prekida plinovoda na udaljenosti 100 metara od magistralnog voda, moguća je pojava paljenja smjese te pojava baklje visoke do 4 m. Pri nastaloj situaciji plin će izgarati brzinom od 41,9 kg/min (kasnije se intenzitet izgaranja smanjuje), a ukupno će za jedan sat izgorjeti 540 kg plina. Izgled zone ugroženosti je oblika izduženog kruga (Slika 3.) [6].



Slika 3. Područja ugrožavanja prilikom pojave baklje na udaljenosti 100 metara od magistralnog voda [6]

U skladu sa prikazom na prethodnoj slici do udaljenosti od 3,5 metra dosegnut je prag životno opasnih opekline, dok je na udaljenosti od 5,5 metara dosegnut prag opekline drugog stupnja. Prag boli pojavljuje se na udaljenosti do 8,5 metara.

6. Analiza pojavnosti elementarnih nepogoda i utjecaj prirodnih nepogoda na lokaciju i nastanak nesreće na području Osijeka

6.1. Poplava

Na području Osijeka moguće su poplave rijeke Drave, Vuke i Vučice te poplave zaobalnih voda. Potencijalne poplave svih navedenih rijeka nisu predstavljale, niti predstavljaju, negativan utjecaj na sigurnost i redovnu uporabu postrojenja redukcijskih stanica i plinske mreže te se ne smatraju prijetnjom za instaliranu plinsku mrežu [6].

6.2. Potres

Područje Osijeka nalazi se u zoni u kojoj se mogu pojaviti potresi maksimalne jačine sedmog i osmog stupnja (MSK) te u skladu s tim ne predstavljaju opasnost i ne očekuju se negativni utjecaji na plinsku mrežu, odnosno ne očekuju se nikakva veća oštećenja koja bi uzrokovala veća ispuštanja plina iz mreže u slučaju pojave istih [6].

6.3. Olujno nevrijeme i pijavica

Uslijed olujnog nevremena i pojave pijavica može doći do atmosferskog pražnjenja u nadzemni dio plinske stanice, ili čelične cijevi, a moguća su i veća oštećenja izazvana munjama pri čemu može doći do pojave požara ili eksplozije plinske smjese [6].

6.4. Ostale vremenske neprilike

Analizirajući prethodnu pojavnosti ostalih vremenskih neprilika, ustanovljeno je kako iste nemaju negativan utjecaj na stanje sigurnosti, izazivanje požara ili eksplozije u plinskim stanicama i kao takve se ne razmatraju [6].

7. Zaključak

Izbor optimalnog konstrukcijskog materijala za izgradnju plinovoda te adekvatan antikorozivni sustav zaštite istoga, osnovni su čimbenici koji osiguravaju ispravne uvijete eksploatacije te sprječavanje negativnih posljedica koje mogu biti pogubne za čovjeka i okoliš. Slijedeći korak je procjena rizika prilikom pojave raznih negativnih utjecaja kako bi se spoznao ispravan način postupanja u nastalim situacijama, uzimajući u obzir velik broj faktora i presudnih situacija koje mogu dodatno pogoršati nastali problem. Neki od takvih faktora su i elementarne nepogode poput potresa, poplava, oluja i sl. koji predstavljaju potencijalnu opasnost za puknuće plinovoda te je potrebno provesti istraživanja koja ukazuju što će se dogoditi ukoliko dođe do istih te kakve će to imati posljedice za ljude, okoliš, plinsku mrežu ali i financijske gubitke plinskog distributera.

8. Literatura

- [1] Esih, Ivan. Osnove površinske zaštite. Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [2] Obanijesu, Emmanuel O.; Pareek, Vishnu; Gubner, Rolf; Tade, Moses O. Obrazovanje o koroziji, oruđe za opstanak industrije prirodnog plina. *Nafta*, 61 (12), 2010, 555-563.
- [3] Alpro-att, Trogir, Hrvatska. PEHD cijevi.
URL: http://www.alpro-att.hr/tolteam/UserFiles/File/pehd_cijevi.pdf (22.07.2017)
- [4] E-metallicus, Varaždin, Hrvatska. EN 10297-1-Bešavne okrugle čelične cijevi za strojarsku i inženjersku namjenu.
URL: <http://e-metallicus.com/hr/proizvodi/cijevi/en-10297-1-besavne-okrugle-celicne-cijevi-za-strojarsku-i-inzenjersku-namjenu.html> (24.07.2017.)
- [5] Despot, Nikola. Kontrole i ispitivanja koje se provode prilikom građenja magistralnih plinovoda radi osiguranja sigurnosti i kvalitete. Program stručnog usavršavanja arhitekata i inženjera. Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, 2010.
URL: <http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali8/S-06.pdf> (25.07.2017)
- [6] Zavod za unapređivanje sigurnosti d.d., Osijek, Procjena rizika od velikih nesreća za HEP-Plin d.o.o. Osijek. Interna dokumentacija.

Daljinsko očitavanje potrošnje plina, uređaji i principi rada *Remote reading of gas consumption, devices and principles of operation*

K. Pavelić^{1,*}, D. Hećimović², K. Stakor³

¹Građevinski fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

²BONZO d.o.o., Osijek, Hrvatska

³Kristijan Stakor., Osijek, Hrvatska

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

Sažetak

U ovom radu prikazani su principi i načini rada, te uređaji kojima se može daljinski očitavati potrošnja korisnika koji koriste plin kao energent. Opisana je RF i GSM komunikacija između modula i sustava primanja i obrade podataka. Objavljene su prednosti i eventualne probleme do kojih može doći tijekom implementacije sustava za daljinsko očitavanje.

Abstract

The aim of this paper is to present the principles and modes of operation, as well as devices that can remotely read the consumption of users using gas as an energy source. The paper will also cover the RF and GSM communication between the modules and the system of receiving and processing data. We will show the advantages and possible problems that may arise during the deployment of remote readout systems.

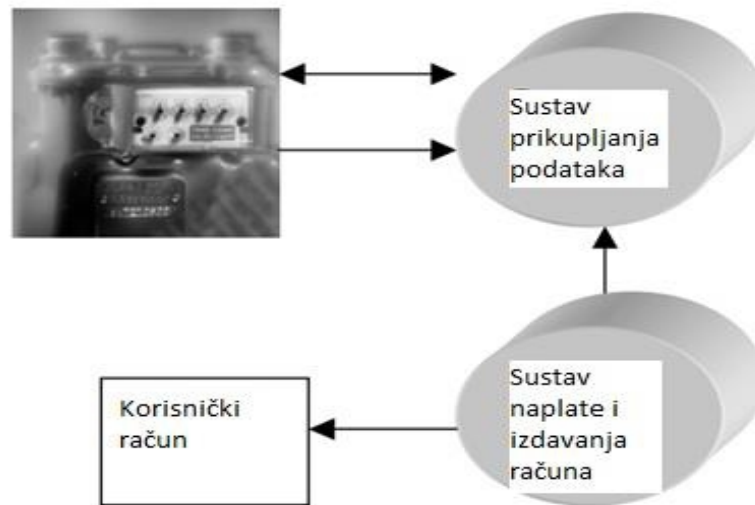
Ključne riječi: Daljinsko očitavanje, plin, uređaji, moduli

1. Uvod

Daljinsko očitavanje potrošnje energenata (struje, vode, plina) bilježi brzorastući porast u datim industrijskim granama. Trenutno je na teritoriju Sjedinjenih Američkih država oko 14 miliona potrošača spojeno na neki od načina daljinskog očitavanja potrošnje plina.

Osim sustava očitavanja, bitno je napomenuti da se time može izvršiti i preciznije planiranje nabave i skladištenja datog energenta, kao i prekid distribucije kod neurednih potrošača. Samim time se smanjuju troškovi poslovanja i troškovi naplate što u konačnici rezultira povećanim prihodom kompanije koja koristi te sustave.

Sustav za daljinsko očitavanje je prvi u nizu sustava koji vode do naplate, a međusobno je povezan sa sustavom za prikupljanje podataka i sustavom za naplatu i slanje računa. Sustav za daljinsko očitavanje sastoji se od komunikacijskog uređaja koji se nalazi postavljen na mjernom mjestu, kod brojila. Na neki od komunikacijskih načina (radio veza, bluetooth komunikacija, wireless komunikacija), šalju se potrebni podaci sustavu za prikupljanje podataka koji nakon obrade šalje podatke sustavu za naplatu te nakon toga slijedi izdavanje računa očitanom potrošaču.



Slika 1. Primjer sustava za daljinsko očitavanje plina [1]

Zbog različitosti samih potrošača, od kućanstava do velikih industrijskih postrojenja, sustav se može podesiti da se očitavanja vrše na mjesečnoj, tjednoj ili dnevnoj bazi ovisno o ugovorima koji su sa njima potpisani. Distributer također može, kod sustava koji su povezani mobilnom tehnologijom pratiti u realnom vremenu potrošnju određenih korisnika te utjecati na nju (prekidom distribucije).

Na taj način su se i eliminirale eventualne pogreške kod očitavanja plinomjera uzrokovane ljudskim faktorom.

2. Princip rada uređaja za daljinsko očitavanje potrošnje plina

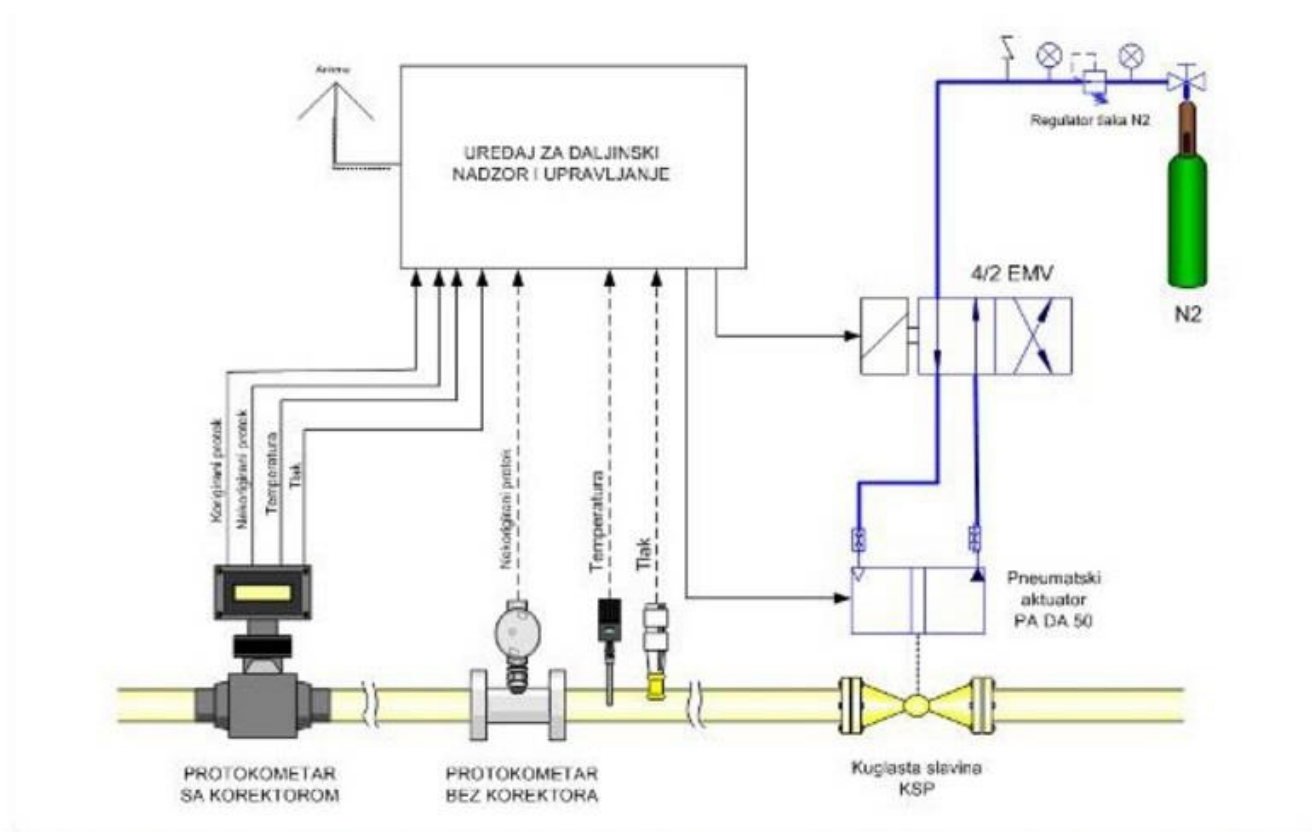
Protokometar sa korektorom šalje podatke u uređaj za daljinsko očitavanje. Vrijednosti koje se šalju su nekorigirani i korigirani obujam plina te eventualna greška korektora.

Također, ukoliko je moguće šalju se vrijednosti tlaka i temperature plina. Svaki od tih podataka nosi i vremenski zapis kada je napravljen.

Podaci se šalju odvojeno za korigirani i nekorigirani obujam na centralni server koji te podatke prikuplja i obrađuje te ih operater može pratiti, analizirati te djelovati u skladu sa naputcima distributera.

Sustavu se ukoliko je povezan na GMS-GPRS mrežu može pristupiti i preko Internet sustava koristeći korisničko ime, zaporku i oznaku brojila.

Time se mogu nadzirati potrošači, planirati nabava i distribucija, te utjecati na isporuku plina ukoliko to bude potrebno.



Sustav daljinskog očitavanja i upravljanja kuglastom slavinom sa pneumatskim aktuatorom

Slika 2. Princip rada uređaja za daljinsko očitavanje plina [3]

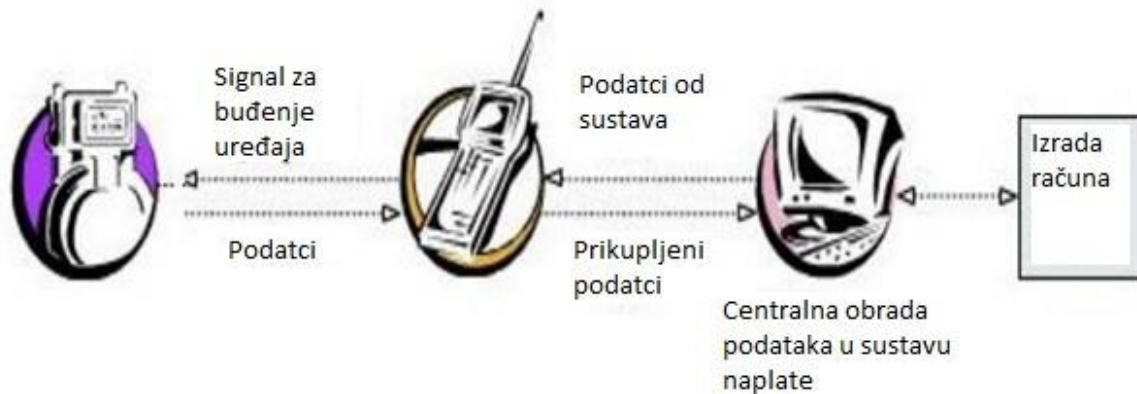
3. Načini povezivanja sustava za daljinsko očitavanje plina

3.1 RF - Komunikacija putem radio valova

Najčešće korišten sustav za komunikaciju između očitavača i mjerila. mjerac potrošnje se nalazi u malom modulu smještenom kod brojila te pretvara rotaciju zubaca plinomjera u električne impulse koje zatim pohranjuje u memoriju i povezuje sa pristupnim podacima potrošača. Kada se uređaj za očitavanje približi mjernom mjestu, šalje signal za buđenje mjeraca koji mu potom prebacuje podatke o potrošnji.

Ponekad se ormarići za plin mogu nalaziti iza ograđenog područja, okruženi sa psima ili zaključanim vratima, u drorištima ili podrumu, no to ne spriječava sustav da očitava podatke pošto je doomet takvih uređaja i nekoliko stotina metara.

Djelatnici očitavanje mogu obaviti pješke sa ručnim malim računalom ili u vozilu koje prolaskom kroz ulicu prikupi podatke o svim potrošačima.



Slika 3. Princip rada RF sustava za daljinsko očitavanje sa ručnim računalom [1]

3.2 Internet / mobilna tehnologija

Sustav koji je skuplji od prethodnog, radi na sličnom principu ali iziskuje sim karticu mobilnog operatera ili stalnu žičnu/bežičnu Internet konekciju radi slanja i primanja podataka. Moguće je programirati sustav da u određenim intervalima šalje podatke i potrošnji ili da se potrošnja nadgleda u realnom vremenu ukoliko je to potrebno. Komunikacije u oba slučaja mogu biti jednosmjerne ili dvosmjerne. Jednosmjerne služe samo za očitavanje potrošnje, dok kod dvosmjernih distributer može utjecati na isporuku plina gašenjem ili zatvaranjem protoka plina potrošaču usljed neplaćanja ili isteka ugovora.

4. Primjer modula za očitavanje membranskih plinomjera

GasPulsar - Wireless M-Bus - Primjer radio modula za očitavanje membranskih plinomjera s direktnom ugradnjom je GasPulsar - Wireless M-Bus, koji je usklađen s europskom normom EN13757 (Republika Hrvatska preuzela ju je kao normu HRN EN 1357-4:2013 naziva Sustavi komunikacije kod mjerila i daljinsko očitavanje mjerila - 4. dio: Bežično očitavanje mjerila:



Slika 4. GasPulsar - Wireless očitavač plinomjera [2]

Radio modul koji služi za daljinsko očitavanje Itron ili Elster plinomjera. U baždarnici se moduli ugrađuju, montiraju i pregledaju te se ubrzava i pojednostavljuje ugradnja istih kod samih potrošača.

Vijek trajanja izmjenjive baterije kod ovog uređaja je otprilike 15 godina na temperaturama oko 25 stupnjeva, dok mu je radno područje na temperaturama od -20 do +80 stupnjeva celzijusa.

Prikazani uređaj radi na frekvenciji 868,95 Mhz, ali se na Hrvatskom tržištu pojavljuju i uređaji koji za svoj rad koriste frekvenciju 433 Mhz, koju Europska komisija sukladno navedenoj normi ne navodi kao preporučenu frekvenciju za predmetna bežična mjerenja, ali je Hrvatska norma dopušta [4].

Domet slanja podataka iznosi do 800 metara a interval slanja podataka se može podesiti. Uređaj je sposoban slati alarme ukoliko dođe do nekakve manipulacije ili ukoliko mu je baterija pred istekom.

Komunikacija se vrši zaštićenim AES128 radio kanalom da bi se izbjegle manipulacije od strane neželjenih osoba.

5. Prednosti i mogući problemi kod implementacije sustava

Iz navedenih karakteristika daljinskog očitavanja i iskustva ljudi u tvrtkama koje primjenjuju takav sustav očitavanja, može se vidjeti koje su prednosti toga, kao i do kojih problema u praksi može doći.

Prednosti sustava za daljinsko očitavanje:

- Povećana točnost očitavanja podataka te eliminiranje pogreški u očitavanju koje su nastajale zbog ljudskog faktor
- Mogućnost prekida distribucije potrošačima koji ne ispunjavaju svoje obveze ili im je istekao ugovor
- Otkrivanje mogućih krađa energenta u sustavu
- Povećanje profita smanjenjem troškova zbog krađe, neplaćanja, neovlaštene potrošnje

Mogući problemi kod implementacije sustava:

- Nekompatibilnost sa postojećim brojlilima - nemogućnost ugradnje ili postavljanja modula za očitavanje
- Vijek trajanja baterije u modulima
- Cijena mobilnog ili fiksnog interneta ukoliko se koristi očitavanje putem mobilnih operatera ili Internet davatelja usluga
- Sigurnost - sustavi moraju biti ugrađivani od strane ovlaštenih tvrtki uz poštivanje zakonske regulative i svih normi koje se odnose na sigurnost sustava.
- Nekompatibilnost podataka koje šalje modul sa programskom podrškom koja se nalazi u uređajima za primanje i obradu podataka te u sustavu za obradu i izdavanje računa

O ovim potencijalnim problemima svakako najviše treba voditi računa prilikom nabave sustava i planiranja njegovog rada.

6. Zaključak

Sustavi za daljinsko očitavanje plina su prisutni na svjetskim tržištima već godinama. Vodeće kompanije su prepoznale prednosti ovih sustava te su implementacijom odgovarajućih rješenja višestruko povećale točnost očitavanja i smanjile svoje operativne troškove.

Početna ulaganja u sustav po potrošaču nisu mala, no kod problematičnih korisnika vrlo brzo se isplati njegova implementacija.

Točnija nabava i planiranje količine energenata potrebnih za određena distributivna područja te smanjenje troškova uslijed krađa, rješavanje problema nemogućnosti naplate

uslijed prekoračenja potrošnje definiranih ugovorom i prekid distribucije korisnicima koji ne plaćaju obveze na vrijeme u konačnici donose do povećanja profita tvrkama koje se bave distribucijama plina i koriste sustav za daljinsko očitavanje.

U republici Hrvatskoj, sukladno direktivama EU, Gradska plinara Zagreb nudi građanima mogućnost daljinskog učitavanja plina uz cijenu od 700kn. Marko Jelić, direktor sektora za podršku korisnicima iznio je podatak da se klasično očitavanje vrši četiri puta godišnje uz točnost podataka od 80%, dok je kod daljinskog očitavanja točnost 100%.

Trenutna zastupljenost korisnika u sustavu daljinskog očitavanja je takova da od 270.000 korisnika koji su priključeni na sustav, 33.000 ih koristi sustav daljinskog očitavanja, dok bi prema napatku EU do 2020. godine u sustavu trebalo biti 80% potrošača [5].

7. Literatura

- [1] Arun, Sehgal. Remote meter reading methods of retrieving data by use of remote devices. Itron inc: Spokane, Washington 99216 (internet stranica <http://asgmt.com/wp-content/uploads/pdf-docs/2004/1/C8.pdf>; Pristupljeno 30.06.2017)
- [2] Holosys d.o.o., (internet stranica <http://www.holosys.hr/hr-HR/GasPulsar-Wireless-M-Bus-ocitanje-plinomjera-98.aspx>; Pristupljeno 30.06.2017)
- [3] PTMG d.o.o. (Internet stranica <http://www.ptmg.hr/proizvodi/daljinsko-ocitanje-potrosnje-plina/>; Pristupljeno 30.06.2017)
- [4] Norme i regulativa,
(http://w5.siemens.com/web/hr/hr/corporate/portal/proizvodi_rjesenja_i_usluge/building_technologies/siemeca_sustav/pages/norme_i_regulativa.aspx; Pristupljeno 30.06.2017)
- [5] Energetika-net (Internet stranica <http://www.energetika-net.com/vijesti/plin/gpz-uvodenje-daljinskog-ocitanja-plina-za-700-kuna-17757>; Pristupljeno 30.06.2017)



Podaci o Sunčevom zračenju i modeli predviđanja Sunčevog zračenja kao faktor uštede prirodnog plina *Solar radiation data and Solar radiation forecasting models as a natural gas saving factor*

Krunoslav Hornung^{1,2*}, Marinko Stojkov^{2*}, Maja Hornung,

¹ Srednja škola Valpovo, Valpovo, Hrvatska

² Strojarški fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autori za korespondenciju. E-mail: kruno.hornung@gmail.com; marinko.stojkov@sfsb.hr

Sažetak

U članku je riječ o načinima prikupljanja podataka o Sunčevom zračenju i nekim od modela koji se upotrebljavaju prilikom procjene količine Sunčevog zračenja i dostupne energije koja može utjecati na potrošnju prirodnog plina. Neki od podataka su relativno dostupni i često se upotrebljavaju u modelima za predviđanje Sunčevog zračenja.

Podaci o Sunčevom zračenju i dostupnoj energiji mogu bitno utjecati na buduću potrošnju energije s obzirom da imamo podatke o potrošnji energije. Povezivanjem podataka o Sunčevom zračenju s vremenom i količinom potrošene energije, može se preciznije planirati potrošnja energije iz neobnovljivih izvora energije.

Modeli za predviđanje raspoložive Sunčeve energije, iako ih ima veliki broj, trebaju osigurati dovoljno pouzdane podatke kako bi se na njihovoj osnovi planirala izgradnja određenih sustava za iskorištavanje Sunčeve energije te samim tim utjecali na određenu neovisnost energetskeg sustava s jedne strane i uštedu klasičnih energenata s druge strane.

Količina Sunčeve energije koju se trenutno iskorištava, može se smatrati nedovoljnom iako pojedine zemlje ulažu velike napore da se to promijeni. Energija Sunca, uz ostale obnovljive izvore energije (OIE), može bitno utjecati na energetske održivost sustava ali može i smanjiti ovisnost o uvozu energije i energetskih sirovina. Veće ulaganje i iskorištavanje OIE doprinosi smanjenju emisije CO₂ i ostalih stakleničkih plinova koji bitno utječu na cjelokupnu klimu.

Abstract

The topic of the paper is about collecting data on solar radiation, some of the models used to estimate the amount of solar radiation and available energy that can affect the consumption of natural gas. Some of the data is relatively available and is often used in solar radiation prediction models.

Energy consumption data and solar radiation and available energy data can significantly affect future energy consumption. Linking solar radiation data with time periods and

amount of energy consumed can be more precisely planned for energy consumption from non-renewable energy sources.

Although there is large number of forecasting solar energy models, they have to provide enough reliable data so certain solar energy utilization systems could be built and thereby they could affect a certain independent energy system on the one hand and the savings of classic energy sources on the other hand.

The current amount of used solar energy can be considered inadequate, although some countries are making great efforts to change it. Sun's energy, along with other renewable energy sources (RES's), can not only affect the energy sustainability of the system, but it can also reduce the energy dependence and energy raw materials imports. Increased investment and exploitation of the RES contributes to the reduction of CO₂ emissions and other greenhouse gases that significantly affect the overall climate.

Ključne riječi: Sučeva energija, obnovljivi izvori energije, modeli predviđanja Sunčevog zračenja

Key words: Solar energy, renewable energy, Solar radiation forecasting models

1. Uvod

Sučeva energija koja se može dobiti i nakon toga iskoristiti, promatra se kao siguran, učinkovit i ekonomski prihvatljiv izvor energije, koji na sadašnjem stupnju razvoja može značajno zamijeniti konvencionalne izvore energije (npr. prirodni plin, itd.) i ima potencijal da bude jedan od glavnih izvora energije u bliskoj budućnosti. Količina Sunčeve energije (ili Sunčevo zračenje) dostupno na površini Zemlje, ovisi o velikom broju činioca (parametara) koji se mogu grupirati u nekoliko skupina: astronomski, fizički, meteorološki i geografski činioci (parametri). Prvenstveno, odnosi se na izvanzemaljsko zračenje, prolaz kroz atmosferu, zemljopisnu širinu, kut izlaska i zalaska, stvarno (satno) trajanje Sunca, količinu vlage u atmosferi, temperaturu okoline i naoblake na odgovarajućim mjestima [2, 3], karakteristike samog promatranog mjesta (nagnutost terena, nadmorska visina, boja i sastav tla, vegetacija, blizina većih površina vode, ...) [1, 2, 3].

Odabir i oblikovanje sustava za pretvorbu Sunčeve energije, uvjetovano je poznavanjem velikog broja činioca koji utječu na raspoloživo Sunčevo zračenje. Najbolje bi bilo imati podatke o Sunčevom zračenju točno za mjesto na kojem se želi postaviti sustav, da se mjerenja vrše dugi niz godina, te da su izmjerene vrijednosti čim točnije. Na žalost, mnoge zemlje u razvoju, nemaju dostupne podatke mjerenja Sunčevog zračenja zbog financijskih i / ili tehničkih ograničenja. Zato je važno razraditi veći broj modela za predviđanje Sunčevog zračenja kako bi se što kvalitetnije moglo oblikovati sustave za pretvorbu Sunčevog zračenja.

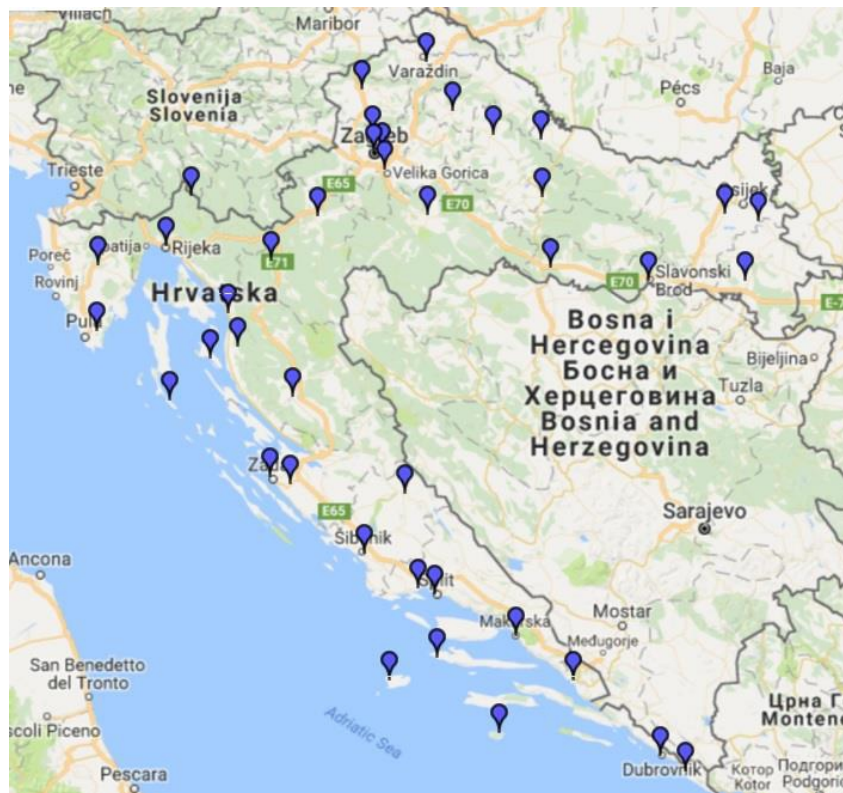
2. Izvori podataka

Kada se govori o podacima za Republiku Hrvatsku, jedan od izvora je DHMZ (Državni hidrometeorološki zavod), gdje se mogu naći brojni podaci o klimi, klimatskim promjenama, meteorološkim postajama i sl. Kada se govori o meteorološkim postajama, postoje dvije kategorije: glavne i klimatološke postaje.

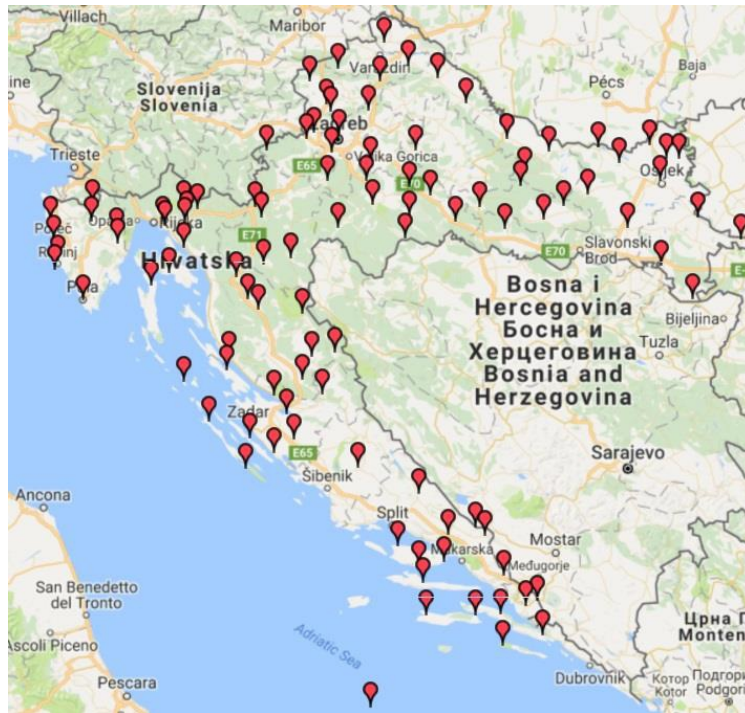
Glavne meteorološke postaje (40 kom.) su meteorološke postaje s dva do pet profesionalnih meteoroloških motritelja ili su automatizirane, imaju ograđeni dio za motrenje s potrebnim instrumentima, te radni prostor (najčešće samostalni objekt). Motrenja i / ili registracija svih meteoroloških elemenata obavljaju se tijekom 24 sata, prema propisima Svjetske meteorološke organizacije (WMO) i DHMZ.

Podaci se meteorološkim porukama prosljeđuju u globalni telekomunikacijski sustav WMO-a.

Klimatološke (obične) meteorološke postaje (104 kom.) obavljaju motrenja tri puta dnevno (redom u 7 h, 14 h i 21 h) po srednjem lokalnom vremenu i prate meteorološke pojave tijekom dana. Motrenja obavljaju neprofesionalni motritelji, a postaje su najčešće smještene unutar privatnih posjeda. Podaci za obavještanje javnosti se dostavljaju par puta dnevno, a ispunjeni dnevници motrenja se mjesečno dostavljaju u DHMZ gdje se kontroliraju i arhiviraju. Podaci se mogu koristiti izravno ili putem korisničkih programa. Prostorna raspodjela je u skladu s propisima WMO-e [4]. Slike 1 i 2 prikazuju raspored glavnih i klimatoloških postaja u RH.



Slika 1. Raspored glavnih meteoroloških postaja u RH [4]



Slika 2. Raspored klimatoloških meteoroloških postaja u RH [4]

Drugi izvor podataka može biti sustav Meteonorm (Global Meteorological Database) koji obrađuje podatke s postaja nepravilno raspoređenih po cijelom svijetu. Ukupno je u sustavu 8 350 postaja i to raspoređeno : Europa – 1600, Afrika – 600, S. Amerika – 2650, Srednja i Južna Amerika – 800, Azija s Rusijom – 1900, Australija i Oceanija – 800. Sustav Meteonorm prikuplja podatke i s pet satelita. Iz brojčanih podataka je vidljivo da sva područja nisu ravnomjerno (dovoljno) pokrivena mjernim postajama, a isto je vidljivo i na slici 3 [5].



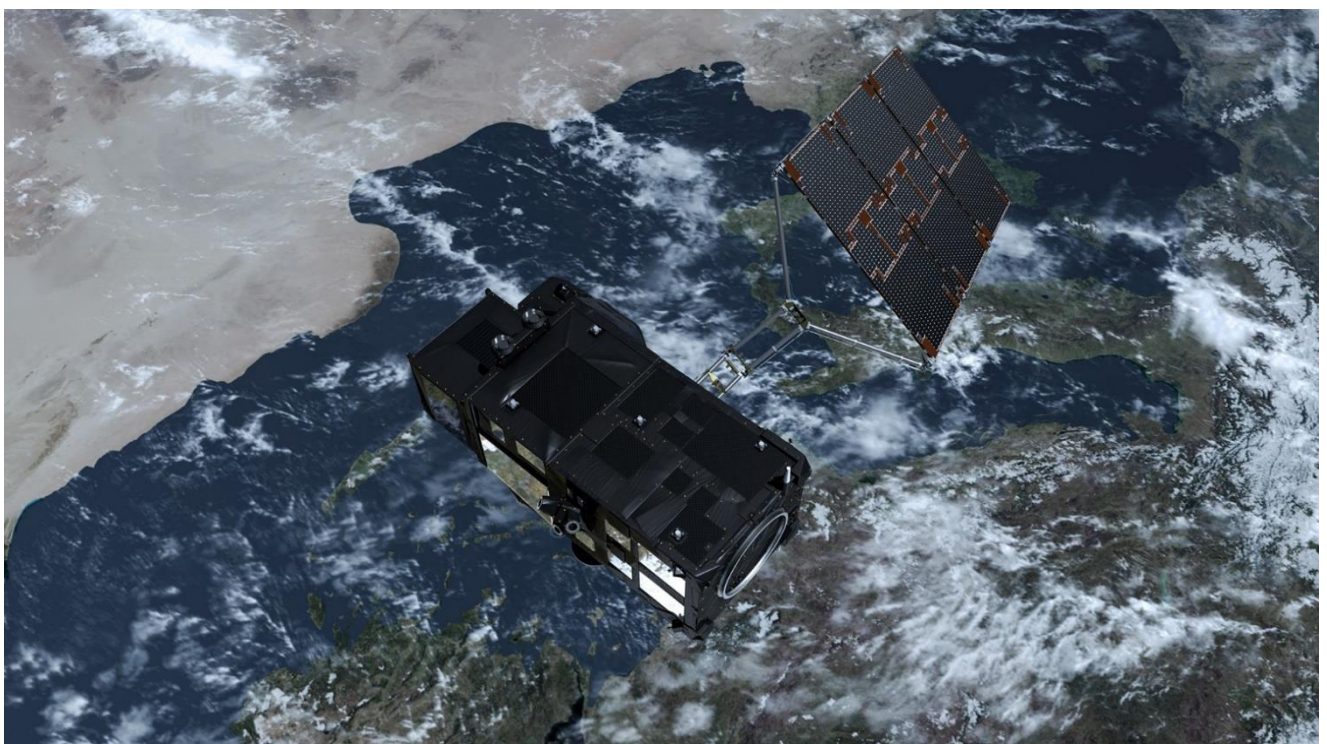
Slika 3. Raspored meteoroloških postaja sustava Meteonorm [5]

Ako bi se detaljnije analizirali podaci o rasporedu mjernih postaja, vidjelo bi se da je veći broj postaja stacioniran u ekonomski razvijenijim zemljama.

Osim postaja raspoređenih na tlu, izvor podataka su i sustavi koji mjerenja vrše putem satelita. Takvi sustavi mjere ekstraterestričko zračenje (Sunčevo zračenje na ulasku u Zemljinu atmosferu). Za područje Europe, postoji operativna satelitska agencija – EUMETSAT koja prikuplja satelitske podatke o vremenu i klimi, te ih dostavlja zemljama članicama, ali i državama suradnicama, partnerima i zainteresiranim korisnicima širom svijeta. U suradnji s SAD-om, koriste i dijele zajednički polarni sustav satelita (Metop / EUMETSAT i NPP Suomi / NOAA – američka Nacionalna Oceanografska i Atmosferska uprava). Pored toga, surađuju i s japanskom i kineskom meteorološkom agencijom u okviru trajne i koordinirane obrade satelitskih podataka o okolišu za praćenje klime. Tijekom godina, EUMETSAT je lansirao veći broj satelita (tablica 1), a u planu su i nova lansiranja zbog zamjene postojećih, na slici 4, prikazan je satelit Sentinel [6] :

Tablica 1. Sateliti EUMESATa

Satelit	Oznaka	Godine rada	Broj satelita	Položaj
Meteosat First Generation	MFG	1977 – 2017	7	geostacionarni
Meteosat Second Generation	MSG	2004 – 2025	4	geostacionarni
Meteosat Third Generation	MTG	2021 – 2039	6	geostacionarni
Metop		2007 – 2024	3	polarna orbita
Jason		2009 – 2036	3	morski
Sentinel – 2		2016 – 2024	2	morski



Slika 4. Satelit Sentinel [6]

Postavlja se pitanje korištenja podataka, koji su podaci bolji, točniji i sl. Da li sa zemaljskih postaja ili satelita? Zemaljske postaje koje mjere vremenske podatke, s dobro održavanim

instrumentima i određene (dobre) kvalitete, mogu još uvijek pružiti najtočnije podatke o Sunčevom zračenju. Ti su podaci točni i relevantan su parametar kod primjene sustava za korištenje Sunčeve energije. Međutim, njihov razmještaj kao što je prikazano, nije uvijek u blizini mjesta budućeg projekta pa zbog mnogih parametara (činioca), podaci mogu biti nepotpuni. S druge strane, sateliti su postali dobar izvor podataka o Sunčevom zračenju jer ravnomjerno pokrivaju zadano područje (putanja satelita ili geostacionarni položaj) pa su dobar nadomjestak područjima gdje nema zemaljskih postaja. Međutim, i kod satelita postoje nedostaci poput nepostojanja pojedinih parametara, problema sa sastavom atmosfere, oblacima, snijegom i sl.

Koja je opcija bolja, nema određenog pravila. Ako je moguće, uvijek treba kombinirati više izvora podataka (zemaljskih i satelitskih) kako bi se postigla najbolja procjena raspoloživog Sunčevog zračenja.

3. Predviđanje Sunčevog zračenja

Prilikom proračunavanja i projektiranja sustava za korištenje Sunčeve energije, bitno je poznavati energiju Sunčevog zračenja koje upada na plohu kolektora. Sunčevo zračenje i energija koja dopire do Zemljine površine, a mogla bi se iskorištavati, mijenja se tijekom godine zbog eliptične putanje Zemlje oko Sunca, ali i tijekom dana, zbog vrtnje Zemlje oko vlastite osi te ovisi o položaju plohe na koju dopire zračenje. Promjena zračenja je uvjetovana velikim brojem činioca koji mogu biti uzrokovani prirodnim putem (oblacima, promjenom nadmorske visine, promjenom zemljopisne širine, oblikom, bojom i sastavom podloge, ...) i/ili uslijed čovjekove aktivnosti (količina i vrste čestica ispuštenih u atmosferu, umjetne tvorevine,). Intenzitet sunčevog zračenja izražava se u W/m^2 [7].

Kako je broj i položaj mjernih postaja ograničen na određena područja, zbog nabavne cijene mjernih instrumenata i zbog njihovog održavanja i umjeravanja, razvijeni su modeli koji koriste dostupne podatke. Njihovom međusobnom usporedbom utvrđeno je kako broj ulaznih podataka i složenost modela nije nužan uvjet za točnost procjene zračenja [8].

Modele za procjenu Sunčevog zračenja jedni autori, po dostupnoj literaturi, razvrstavaju u četiri skupine prema ulaznim parametrima (Sunčevo zračenje, temperatura, naoblaka / relativna vlažnost i drugi meteorološki parametri) [9]. Drugi autori utvrđuju kako se trajanje Sunčevog zračenja (sati) najčešće koristi za procjenu globalnog zračenja. Analiziraju se i uspoređuju 56 empirijskih modela koji se odnose na globalno Sunčevo zračenje korištenjem parametara za:

- Trajanje Sunčevog zračenja (sati) / svjetla može se lako i pouzdano mjeriti, a podaci su dostupni.

- Maksimalna temperatura zraka – uobičajena dostupnost maksimalnih i minimalnih temperatura zraka, a modeli temeljeni na temperaturi, pretpostavljaju da je razlika između maksimalne i minimalne temperature uvjetovana izvanzemaljskom zračenjem primljenog na razini tla. Međutim postoje i drugi čimbenici koji mogu utjecati na razliku temperature kao što su oblaci, vlažnost zraka, nadmorska visina, topografija, blizina veće količine vode i sl.

- Naoblaka / čisto nebo / relativna vlažnost – oblaci i njihovi prateći vremenski uzroci su važne atmosferske pojave koje ograničavaju dostupnost Sunčevog zračenja na površinu Zemlje. Oblaci, kao ograničavajuća komponenta, uzrokuju rasipanje difuzne komponente Sunčevog zračenja i utječu na količinu zračenja koje će dospjeti na površinu Zemlje [10].

U nekim se radovima promatra globalno Sunčevo zračenje i njegove komponente (direktno i difuzno) pa se težište postavlja na valne duljine Sunčevog zračenja. Veliki problem predstavlja difuzna komponenta Sunčevog zračenja zbog velikog broja činioca koji utječu na nju. Zemljina površina i oblaci upijaju vidljivo i nevidljivo zračenje Sunca i

ponovno emitiraju veliki dio energije u infracrvenom dijelu spektra, nazad u atmosferu. Neke čestice u atmosferi, uglavnom kapljice vode i vodene pare, ali i ugljikov dioksid, metan, dušični oksid itd., upijaju taj dio infracrvenog zračenja i ponovno ga zrače u svim smjerovima pa i na Zemlju. Na taj način, efekt staklenika grije atmosferu i površinu Zemlje na veće temperature, nego da nema infracrvenog zračenja. Od nevidljivih komponenti, za procjenu Sunčevog zračenja važan je infracrveni dio u dijelu 0,78 – 3 μm , poznatije kao blisko infracrveno područje (NIR). To je područje određeno s apsorpcijom vodene pare, naročito u dijelu 1,4 – 3 μm [11, 12].

Prednost meteorološkog modela (MRM) u odnosu na druge slične modele je u jednostavnosti prikupljanja i upotrebe ulaznih parametara / podataka: temperatura zraka, relativna vlažnost, tlak, trajanje Sunčevog zračenja, a koji se mogu dobiti od mnogih mjernih postaja. Fleksibilnost modela je pokazana tijekom provjere za vrijeme pomrčine sunca 29.03.2006. godine [13].

Za procjenu globalnog / ukupnog zračenja, u obzir se može uzeti vanjska temperatura, relativna vlaga, *albedo* efekt površine, koeficijent zamućenosti, nadmorska visina i utjecaj prepreka (smetnji) na horizontu. Odabrani koeficijenti omogućuju korištenje modela u situacijama kada postoji utjecaj snijega ili sjena u zoru i sumrak, u područjima sa složenom topografijom poput brdsko-planinskih područja [14].

Kako pouzdani podaci o Sunčevom zračenju za određena područja nisu uvijek dostupni, razvijaju se modeli zračenja koji osiguravaju izračunavanje potrebnih parametara unutar prihvatljivih odstupanja. Nastale pogreške mogu biti uzrokovane metodologijom mjerenja, promatranja, sakupljanjem podataka i njihovim pohranjivanjem u određene baze podataka, kvalitetom mjerne opreme, akumulacijom vlage i nečistoća na uređajima i sl. [15]. Iako određeni napredak u tehnici i tehnologiji omogućuju preciznija mjerenja i obradu podataka (apsorpcijska svojstva plinova, optička svojstva aerosola, produkti izgaranja naftnih derivata i sl.), optimirana su umjeravanja mjernih instrumenata za precizna mjerenja Sunčevog zračenja pa su bolji i ulazni podaci, točniji su podaci mjerenja atmosferskih uvjeta, uzimaju se češće i sl. Najveći dio podataka dolazi s meteoroloških postaja – garancija točnosti i univerzalnosti izmjerenih podataka [16].

Insolacijski modeli se koriste dugi niz godina u svom originalnom ili modificiranom obliku za predviđanje Sunčevog zračenja na područjima gdje nema mjerenja Sunčevog zračenja, ali su poznati klimatološki podaci kao što su solarna konstanta, zenitni kut, tlak, *albedo* efekt, vodena para, čistoća / mutnost atmosfere. Budući da nema mjernih stanica, moguće je dobiti / izmjeriti ulazne podatke na licu mjesta. Usporedbom različitih modela i dostupnih podataka, razvijeni su novi modeli koji daju točnije rezultate. Broj ulaznih parametara može biti mali pa čak i samo jedan, ali točnost modela je zadovoljavajuća [17].

4. Zaključak

Energija Sunca koja dolazi na Zemlju i koju se može iskoristiti na određenom području, ovisi o uvjetima na dotičnom području. Kut pod kojim Sunčevo zračenje dolazi na Zemlju i sastav atmosfere mijenjaju se iz minute u minutu. Iako postoji cikličko ponavljanje godišnjih doba / sezona, predviđanje određenih pojava zahtijeva višegodišnja promatranja mjerenja. Kako ne postoji dovoljno gusta mreža zemaljskih mjernih postaja koje bi mjerile podatke za određeno područje, potrebno je korištenje i satelitskih podataka koji preko više

modela i upotrebom većeg broja utjecajnih činioca osiguravaju određenu pokrivenost potrebnim podacima zadovoljavajuće točnosti.

Razvijanje novih modela za procjenu Sunčevog zračenja uvjetovani su velikim brojem činioca koji utječu na sam rezultat procjene. Zbog problema sakupljanja velikog broja relevantnih podataka, nastoji se razviti modele koji bi zadovoljili određene uvjete i dali zadovoljavajuće podatke potrebne za predviđanje Sunčevog zračenja. Mnogi modeli kalkuliraju podatke za čisto nebo s korektivnim faktorima koji uključuju određena gušenja / ograničavanja Sunčevog zračenja zbog prisutnih oblaka / vodena para, čestica aerosola i sl.

5. Literatura

- [1] Dincer I. Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renew Sustain Energy Rev* 2000;4:157–75.
- [2] Duzen H, Aydin H. Sunshine-based estimation of global solar radiation on horizontal surface at Lake Van region (Turkey). *Energy Convers Manag* 2012;58:35–46.
- [3] Adaramola MS. Estimating global solar radiation using common meteorological data in Akure, Nigeria. *Renew Energy* 2012;47:38–44.
- [4] DHMZ; <http://meteo.hr/> (15.06.2017.)
- [5] Meteonorm; <http://www.meteonorm.com/> (15.06.2017.)
- [6] EUMETSAT; <https://www.eumetsat.int/website/home/index.html> (16.06.2017.)
- [7] Ljubomir Majdandžić; *Solarni sustavi*, Graphis, Zagreb, 2010
- [8] Behar O. Khellaf A. Mohammedi K. Comparison of solar radiation models and their validation under Algerian climate – The case of direct irradiance. *Energy Conversion and Management* 2015; 98; 236-251
- [9] Besharat F, Dehghan AA, Faghih AR. Empirical models for estimating global solar radiation: a review and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 21; 798–821
- [10] Bakirci K. Models of solar radiation with hours of bright sunshine: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009; 13; 2580–2588.
- [11] Escobedo J.F. Gomes E. N. Oliveira A. P. Soares J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy* 2009; 86; 299-309
- [12] Jakhrani A.Q. Al-Khalid Othman A-K. Rigit A.R.H. Samo S.R. Kamboh S.A. Estimation of Incident Solar Radiation on Tilted Surface by Different Empirical Models. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2012; 12;
- [13] Psiloglou B. E. Kambezidis H. D. Performance of the meteorological radiation model during the solar eclipse of 29 March 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2007; 7; 6047–6059
- [14] López G. Javier Batlles F. Tovar-Pescador J. A new simple parameterization of daily clear-sky global solar radiation including horizon effects. *Energy Conversion and Management* 2007; 48; 226–233.

- [15] Becker S. Calculation of direct solar and diffuse radiation in Israel. *International Journal of Climatology* 2001; 21: 1561–1576
- [16] Gueymard, C.A., 2008. REST2: High-performance solar radiation model for cloudless-sky irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation – validation with a benchmark dataset. *Solar Energy*; 2008; 82; 272–285.
- [17] M. H. Safaripour M. H. Mehrabian M. A. Predicting the direct, diffuse, and global solar radiation on a horizontal surface and comparing with real data. *Heat Mass Transfer* 2011; 47;1537–1551

Modeliranje potrošnje prirodnog plina javnih zgrada inteligentnom podatkovnom analitikom

Modeling natural gas consumption of public buildings by intelligent data analytics

M. Zekić-Sušac*

Ekonomski fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: marijana@efos.hr

Sažetak

Javne zgrade kao što su administrativne, kulturne, obrazovne, sportske, zdravstvene i druge zgrade opće namjene koje pružaju javne usluge pripadaju u značajne potrošače prirodnog plina. S pomoću inteligentne podatkovne analitike moguće je statističkim metodama i metodama strojnog učenja identificirati koji atributi zgrada najviše utječu na potrošnju ovog energenta. U radu su korišteni stvarni građevinski i energetske podaci o javnim zgradama u Hrvatskoj s ciljem otkrivanja važnih prediktora godišnje potrošnje prirodnog plina. Podaci su najprije analizirani statističkim metodama korelacija i hi-kvadrat testa kako bi se utvrdile međuzavisnosti. Na temelju ovih analiza napravljena je selekcija značajnih varijabli koje utječu na potrošnju prirodnog plina kod javnih zgrada, a zatim je kreiran model za predikciju potrošnje s pomoću umjetnih neuronskih mreža. Takav reducirani model uspoređen je s modelom sa svim raspoloživim varijablama. Rezultati pokazuju da se podatkovna analitika može koristiti kao podloga za odlučivanje o potrebnim mjerama za obnovu zgrada, o alociranju resursa u sektoru javnih zgrada, što može dovesti do veće energetske učinkovitosti, a time i značajnih ušteda u budžetu i većem doprinosu zaštiti okoliša.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, podatkovna analitika, potrošnja prirodnog plina, umjetne neuronske mreže

Abstract

Public buildings such as administrative, cultural, educational, sport, health, and general buildings that provide public services are among the large consumers of natural gas. Using intelligent data analytics, particularly statistical methods and machine learning methods, it is possible to identify the attributes of buildings that mostly influence the consumption of this energy source. In this paper, real construction and energy data on public buildings in Croatia were used with the aim to discover important predictors of yearly consumption of natural gas. To discover interdependencies, the data were analyzed using statistical methods of correlations and chi-square test. On the basis of those analyzes, the selection

of important variables that influence the consumption of natural gas in public buildings is conducted, then the model for predicting gas consumption is created by artificial neural networks. Such reduced model is compared to the model with all available input variables. The results show that data analytics can be used as a base of making decisions on necessary measures for reconstructions, resource allocation in the sector of public buildings, which can lead to better energy efficiency, as well as significant savings in budget and higher environment protection.

Keywords: energy efficiency, data analytics, natural gas consumption, artificial neural networks

1. Uvod

Zgrade u EU troše 40% ukupne energije, od čega se većina energije potroši na grijanje i zagrijavanje vode [1]. Stoga je opravdano što su i državne mjere za smanjenje utroška energije većinom i usmjerene u sektor zgradarstva, a posebno su tu važne javne zgrade kod kojih je država ili lokalna uprava često i vlasnik te može direktno utjecati na njihovu energetske učinkovitost. U svrhu ostvarivanja EU direktiva koje imaju za cilj smanjenje emisije stakleničkih plinova za 20%, povećanje energetske učinkovitosti za 20% i uporabe obnovljivih izvora energije minimalno 20% u ukupnoj energiji do 2020. godine, Hrvatska je donijela Zakon o energetske učinkovitosti [2], osnovala odgovarajuće institucije i donijela nacionalne akcijske planove [3]. Za provedbu politike energetske učinkovitosti u Hrvatskoj je zaduženo Nacionalno koordinacijsko tijelo (NKT), koje djeluje u okviru Centra za praćenje poslovanja energetske sektora i investicija. Vezano uz javne zgrade, Agencija za pravni promet i posredovanje nekretninama (APN) zadužena je za upravljanje centraliziranim informacijskih sustavom za gospodarenje energijom (ISGE) koji prati energetske učinkovitost u javnim zgradama. Međutim, u sustavu nedostaje detaljnija kvantitativna analiza povezanosti između konstrukcijskih, geoprostornih, energetske i drugih atributa koji se vode o javnim zgradama, kao i modeli koji bi mogli utvrditi značajne prediktore potrošnje energije i ukazati na moguće veće uštede. U ovom radu koriste se podaci iz ISGE sustava s ciljem otkrivanja povezanosti među atributima zgrada i njihovog utjecaja na ukupnu godišnju potrošnju plina kao energenta. Ovo preliminarno istraživanje dio je većeg projekta u kojem je cilj izgraditi metodološki okvir za učinkovito upravljanje energijom s pomoću inteligentne podatkovne analitike.

2. Prethodna istraživanja

Analiza prethodnih istraživanja u području predviđanja potrošnje energije pokazuje da se za predviđanje uglavnom koriste razni deterministički i stohastički modeli dobiveni statističkim metodama, kao što su autoregresivni pomični prosjeci (ARMA), analiza ciklusa ili višestruka regresija [4], dok nedavni radovi pokazuju da neuronske mreže (NM) i druge metode strojnog učenja pokazuju veću uspješnost predikcije i imaju druge prednosti [5], [6], [7]. Beccali i dr. [5] su koristili NM u predviđanju potrošnje električne energije u okolici Palermo u Italiji i pokazali da one mogu poslužiti kao koristan instrument za generiranje

kratkoročnih (dnevni) prognoza potrošnje i predlažu ih za uporabu u planiranju potreba za energijom. Thaler i dr. [8] predložili su model NM za predviđanje potrošnje prirodnog plina u Sloveniji pri čemu su koristili genetičke algoritme za izbor značajnih prediktora. Potocnik et al. [9] razvili su model temeljen na statistici koristeći podatke o prethodnoj potrošnji, povijesne vremenske podatke, prognoze vremena te neke dodatne parametre kao npr. sezonske utjecaje kako bi predvidjeli dnevnu i tjednu potrošnju plina. Mikučionienė i dr. [10] koristili su metodu stabala odlučivanja za optimiranje oblika paketa mjera za energetske učinkovitost u Litvi. Hsu [11] je koristio integrirane metode klasteriranja za predviđanje potrošnje energije višeobiteljskih zgrada u New Yorku. Iz pregleda prethodnih istraživanja može se zaključiti da se u području modeliranja energetske učinkovitosti i potrošnje energije uglavnom koriste statističke metode, metode strojnog učenja i simulacijske metode te da autori naglašavaju potrebu za uključivanjem varijabli vezanih uz uporabu zgrada, a ne samo prošle potrošnje i klimatske podatke [12]. Ovaj rad doprinosi tome na način da uključuje i građevinske, energetske, geoprostorne te podatke o uporabi, kako bi otkrio važne čimbenike za predviđanje potrošnje prirodnog plina.

3. Metodologija

U radu se koriste metode deskriptivne statistike, korelacijska analiza i hi-kvadrat test za redukciju varijabli te umjetne NM za kreiranje prediktivnog modela. Kao jedna od metoda strojnog učenja, umjetne NM mogu se opisati kao programi ili uređaji koji učenjem na povijesnim podacima aproksimiraju funkciju koja povezuje ulazne varijable sa izlaznom, kako bi se koristile na novim podacima za predviđanje izlaza [13]. Bit će korištena NM višeslojni perceptron (eng. Multi-layer perceptron – MLP) u okviru koje će biti testirane dvije aktivacijske funkcije: logistička i tangens-hiperbolna, a od algoritama za minimiziranje greške modela koristit će se backpropagation, conjugate gradient i Broyden-Fletcher-Gordfarb-Shanno (BFGS) [13]. MLP mreža kreirana u radu sastoji se od tri sloja: ulaznog sloja koji učitava podatke iz ulaznog vektora uzorka, skrivenog u kojem se sumiraju vagane ulazne vrijednosti i prema izabranoj aktivacijskoj funkciji generira vrijednost za izlazni sloj, koji prikazuje izlaz korisniku i u kojem se uspoređuje izračunati rezultat mreže sa stvarnim rezultatom i računa greška. Greška se zatim propagira unatrag i korigira težinske koeficijente ulaznih varijabli, te se proces od ulaznog sloja preko skrivenog do izlaznog ponavlja u više iteracija (epoha). Za izgradnju arhitekture modela NM trenirano je i testirano po 20 arhitektura za svaku aktivacijsku funkciju, pri čemu je metodom unakrsne validacije na testnom uzorku izabran optimalni broj procesnih jedinica (neurona) u skrivenom sloju. Kao ciljna funkcija korišten je koeficijent korelacije između stvarnih rezultata i rezultata NM, a za dodatno ocjenjivanje uspješnosti korištena je simetrična srednja postotna greška (eng. Symmetric Mean Average Percentage Error – SMAPE) koju je predložio Armstrong [14] a u radu je izračunata prema:

$$SMAPE = 100 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_t - y_c|}{|y_t| + |y_c|} \quad (2)$$

gdje je y_t stvarni izlazna vrijednost, y_c je vrijednost predviđena od strane modela, a n je broj slučajeva u uzorku. SMAPE je kao mjera uspješnosti modela preporučena od strane



istraživača budući da standardna MAPE greška ne tretira jednako odstupanja koja su veća ili manja od stvarnih vrijednosti i kao takva daje krivu sliku o točnosti modela [14].

4. Uzorak i pretprocesiranje podataka

U radu su korišteni podaci preuzeti iz nacionalnog informacijskog sustava za gospodarenje energijom (ISGE) koji je u nadležnosti Agencije za pravni promet i posredovanje nekretninama. Prema Zakonu o energetske učinkovitosti, ISGE je definiran kao aplikacija „u koju se unose opći, konstrukcijski i energetske podaci te podaci o neposrednoj potrošnji energije i/ili vode za svaku zgradu javnog sektora“ u Hrvatskoj [2]. Iako se u sustavu nalazi 17 554 javnih zgrada, još uvijek za većinu njih podaci o potrošnji nisu u potpunosti raspoloživi, tako da je za potrebe ovog istraživanja izvršeno pretprocesiranje podataka kroz: (1) isključivanje zgrada za koje nisu uneseni podaci o potrošnji energije za cijelu 2016. godinu, (2) zamjenu nedostajućih vrijednosti prosjecima kod ostalih atributa kontinuiranog tipa, (3) selekciju varijabli na temelju važnosti za potrošnju plinom i analize međuzavisnosti. Nakon isključivanja nedostajućih podataka, uzorak se sastojao od 1039 zgrada i 143 atributa, na kojima je napravljena početna selekcija isključivanjem onih atributa koji su vezani uz hlađenje i električnu energiju tj. koji nisu relevantni za potrošnju plina kao energenta. Drugi korak selekcije proveden je s pomoću naredbe *Feature selection* u alatu Statistica, koja na temelju χ^2 -testa ispituje zavisnosti svake ulazne varijable sa izlaznom i izlučuje one kod kojih je F-vrijednost značajna na razini 5%. Ova procedura izlučila je 29 ulaznih varijabli koje su po skupinama prikazane u Tablici 1, uz dobivene F-vrijednosti i p-vrijednosti χ^2 -testa kao i vrijednosti deskriptivne statistike (aritmetičke sredine \bar{x} i standardne devijacije σ za kontinuirane, a frekvencije za kategorijalne varijable).

Tablica 1. Deskriptivna statistika značajnih ulaznih varijabli izabranih pomoću χ^2 -testa

Rb	Oznaka varijable	Opis varijable	F-vrijednost	p-vrijednost	Deskriptivna statistika
Geo-prostorni podaci					
1	V71	Županija	4,1197	0,000000	21 županija RH*
Konstrukcijski podaci					
2	V7	Ploština bruto podne površine zgrade [m ²]	105,4240	0,000000	\bar{x} =2036,92, σ =3011,2
3	V8	Ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade [m ²]	105,4240	0,000000	\bar{x} =1629,5, σ =2409,04
4	V9	Oplošje grijanog dijela zgrade A [m ²]	43,8487	0,000000	\bar{x} =3287,35, σ =4436,9
5	V10	Bruto obujam grijanog dijela zgrade kojem je oplošje A [m ³]	60,4736	0,000000	\bar{x} =6569,68, σ =9312,2
6	V11	Broj etaža	35,1637	0,000000	\bar{x} =2,13, σ =1,3

7	V17	Faktor oblika zgrade	4,7698	0,000009	$\bar{x} = 0,73, \sigma = 0,4$
8	V51	Koeficijent prolaska topline građevnih dijelova, u [W/m ² K] za strop grijani	9,2060	0,000000	$\bar{x} = 0,07, \sigma = 1,3$
9	V52	Debljina sloja toplinske izolacije [cm] za strop grijani	41,6496	0,000000	$\bar{x} = 0,16, \sigma = 3,0$
10	V84	Kategorija objekta (1=samostalna zgrada, 2=zgrada u kompleksu, 3=kompleks, 4=dio zgrade)	32,6199	0,000000	1=79,67%, 2=8,77%, 3=4,82%, 4=6,74%
Podaci o grijanju					
11	V19	Ukupan broj ogrjevnih tijela - radijatora	5,8468	0,000025	$\bar{x} = 32,67, \sigma = 113,9$
12	V20	Ukupno instalirana snaga ogrjevnih tijela - radijatora [kW]	85,2254	0,000000	$\bar{x} = 206,73, \sigma = 2551,3$
13	V24	Ukupno instalirana snaga ostalih ogrjevnih tijela [kW]	160,1206	0,000000	$\bar{x} = 316,38, \sigma = 5395,3$
14	V25	Ukupna instalirana toplinska snaga ogrjevnih tijela [kW]	49,8802	0,000000	$\bar{x} = 535,31, \sigma = 5967,6$
15	V37	Godišnja potrebna toplinska energija za grijanje Q _{H,nd,ref} [kWh/a]	4,0140	0,001301	$\bar{x} = 40832,77, \sigma = 120814,5$
16	V80	Šifra PTV energenta 1 (0=nedostajuć podatak, 1=sunce, 2=el.energija, 3=extra light ulje, 4=toplinska energija, 5=light ulje, 6=LPG plin, 7=LUS II, 8=prirodni plin, 9=ostalo, 10=para-voda, 11=drvo)	3,4030	0,001335	0=58,86, 1=0,19%, 2=17,73%, 3=0,87%, 4=3,27%, 5=0,19%, 6=0,1%, 7=0%, 8=18,79%, 9=0%, 10=0%, 11=0%
17	V81	Šifra PTV energenta 2 (0=nedostajuć podatak, 1=sunce, 2=el.energija, 3=extra light ulje, 4=toplinska energija, 5=light ulje, 6=LPG plin, 7=LUS II, 8=prirodni plin, 9=ostalo, 10=para-voda, 11=drvo)	2,5652	0,025680	0=89,60, 1=0,29%, 2=8,28%, 3=0,29%, 4=0,19%, 5=0%, 6=0%, 7=0%, 8=1,35%, 9=0%, 10=0%, 11=0%
18	V82	Šifra načina pripreme PTV (0=nema, 1=centralni, 2=kombinirani, 3=individualni)	9,7954	0,000002	0=78,52%, 1=8,38%, 2=4,05%, 3=9,05%
Podaci o uporabi zgrade					
19	V3	Broj zaposlenih	73,5725	0,000000	$\bar{x} = 59,47, \sigma = 133,8$
20	V4	Broj korisnika	43,2651	0,000000	$\bar{x} = 553,59, \sigma = 1503,7$
21	V5	Broj radnih dana u tjednu	11,7199	0,000000	$\bar{x} = 5,17, \sigma = 1,3$

22	V6	Broj radnih dana u godini	12,8703	0,000000	$\bar{x}=248,19,$ $\sigma=78,8$
23	V13	Broj radnih sati u radnom danu	12,4241	0,000000	$\bar{x}=12,41,$ $\sigma=4,7$
Energetski koeficijenti dijelova zgrade					
24	V35	Najveći dopušteni koeficijent transmisijskog topl. gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade, $H'_{tr,nd}$ [W/m ² K]	5.1320	0,000033	$\bar{x}=0,54,$ $\sigma=0,3$
25	V39	Koeficijent prolaska topline građevnih dijelova, u [W/m ² K] krova	2,6940	0,029764	$\bar{x}=0,23,$ $\sigma=2,2$
26	V42	Debljina građevnog dijela [cm] krova	2,2716	0,045530	$\bar{x}=5,07,$ $\sigma=12,7$
27	V46	Debljina građevnog dijela [cm] poda	3,9197	0,001589	$\bar{x}=12,95,$ $\sigma=18,8$
28	V50	Debljina građevnog dijela [cm] prozora	2,5462	0,026658	$\bar{x}=3,19,$ $\sigma=4,6$
29	V64	Debljina sloja toplinske izolacije [cm] vrata	3,8848	0,048990	$\bar{x}=0,01,$ $\sigma=0,2$
Izlazna varijabla					
30	SUM kWh	Ukupna potrošnja prirodnog plina u 2016.godini (kWh)			$\bar{x}=219725,7,$ $\sigma=514886,1$

*Zbog nedostatka prostora frekvencije za županije nisu navedene. Raspoložive su kod autora na zahtjev.

Izlazna varijabla je kontinuiranog tipa i predstavlja prosječnu potrošnju prirodnog plina u 2016. godini u kWh. Analiza zavisnosti pokazala je da su prema F -vrijednosti najznačajniji prediktori iz skupine varijabli za grijanje *Ukupno instalirana snaga ostalih ogrjevnih tijela i Ukupno instalirana snaga radijatora, zatim iz skupine konstrukcijskih podataka Ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade, Debljina sloja toplinske izolacije grijanog stropa, Oplošje grijanog dijela zgrade i Broj etaža*, ali također su se važnim pokazale varijable vezane uz uporabu zgrade kao što su *Broj zaposlenih i Broj korisnika*. Međutim, i sve ostale varijable navedene u Tablici 1 imaju značaj za modeliranje potrošnje prirodnog plina na razini 5% signifikantnosti. Treći korak selekcije varijabli proveden je s pomoću korelacijske analize. Pearsonov koeficijent korelacije izračunat je na varijablama izabranim u drugom koraku selekcije te su izabrani parovi varijabli koji imaju jaku linearnu vezu (koeficijent veći od 0.7). Kod svakog para ostavljena je ona varijabla koja ima veću korelaciju sa potrošnjom plina. Jake korelacije pronađene su između varijabli:

- V7 - *Ploština bruto podne površine zgrade [m²]* i V8 - *Ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade [m²]* (1.0000),
- V5 – *Broj radnih dana u tjednu* i V6 - *Broj radnih dana u godini* (0.815207),
- V3 – *Broj zaposlenih*, V7 - *Ploština bruto podne površine zgrade [m²]* i V8 - *Ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade [m²]* (0.807026),
- V7 – *Ploština bruto podne površine zgrade [m²]* i V9 - *Oplošje grijanog dijela zgrade A [m²]* (0.718539),

- V7 – Ploština bruto podne površine zgrade [m^2] i V10 - Bruto obujam grijanog dijela zgrade kojem je oplošje A [m^3] (0.925793),
- V8 – Ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade [m^2] i V9 - Oplošje grijanog dijela zgrade A [m^2] (0.718539),
- V8 – Ukupna ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade [m^2] i V10 - Bruto obujam grijanog dijela zgrade kojem je oplošje A [m^3] (0.925793),
- V9 – Oplošje grijanog dijela zgrade A [m^2] i V10 - Bruto obujam grijanog dijela zgrade kojem je oplošje A [m^3] (0.726376)

Nakon analize korelacija iz modela su izbačene varijable: V3, V6, V7, V9 i V10. Nakon ove selekcije, skup prediktora za modeliranje sastojao se od preostale 24 ulazne varijable. Za potrebe učenja i testiranja model NM korištena je metoda slučajnog poduzorkovanja (engl. random sampling) na način da je ukupan uzorak slučajnom raspodjelom podijeljen 10 puta na tri dijela: poduzorak za treniranje (60%), testiranje (20%) i validaciju (20%), pri čemu je poduzorak za testiranje korišten za optimizaciju parametara kao što su broj skrivenih jedinica i duljina učenja kod NM. Na taj način kreirano je 10 puta po 3 poduzoraka koji su korišteni za modeliranje. Razlog za kreiranje više uzoraka je u ovisnosti metode NM o podjeli uzorka. Generiranjem modela na 10 uzoraka promatra se stabilnost rezultata.

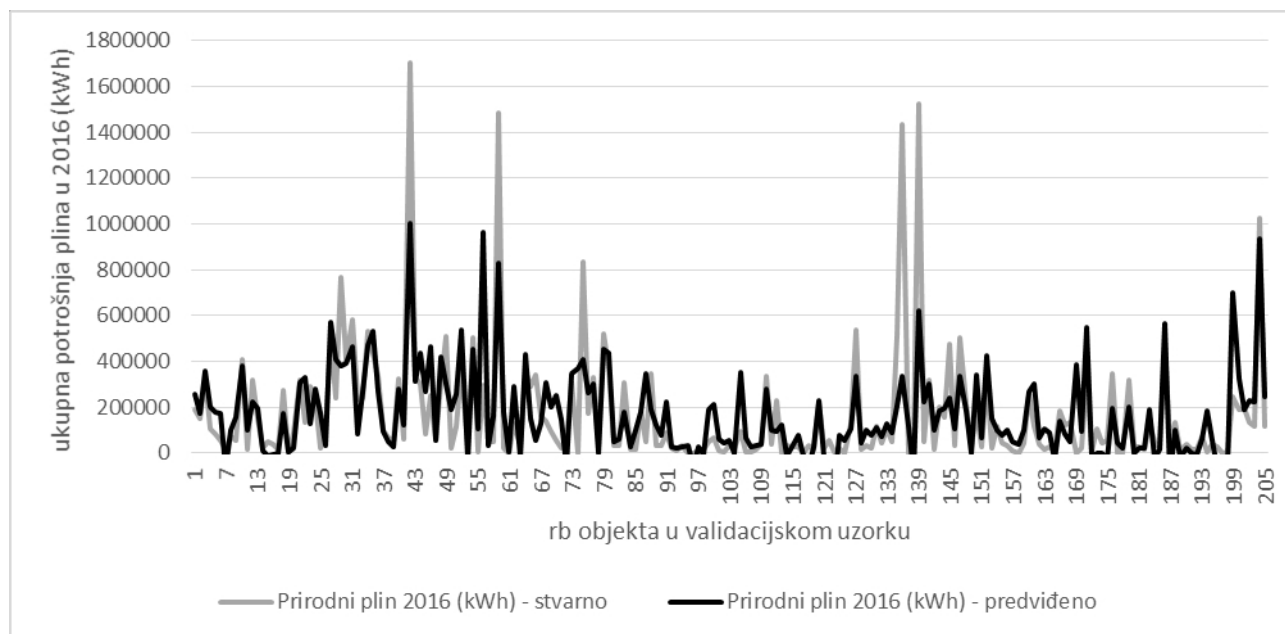
5. Rezultati prediktivnog modela

Nakon selekcije varijabli sljedeći korak je izrada prediktivnog modela ukupne potrošnje prirodnog plina u javnim zgradama uporabom umjetnih NM. Model se sastojao od 24 izabrane ulazne varijable, a testirano je po 20 arhitektura NM s različitim aktivacijskim funkcijama, algoritmima i brojem skrivenih neurona (od 1 do 20). Kao mjerilo ocjenjivanja uspješnosti modela korišteni su koeficijent korelacije između stvarnog rezultata i rezultata predviđenog modelom i SMAPE. Za usporedbu je napravljen i model sa svim raspoloživim varijablama, budući da metoda NM za razliku od regresijske analize dozvoljava kolinearnost među ulaznim podacima. Rezultati oba modela NM na 10 slučajnih validacijskih uzoraka prikazani su u Tablici 2. NM u Modelu 1 imala je strukturu neurona po slojevima 59-18-1, a u Modelu 2 strukturu 134-2-1, a algoritam je BFGS. Iz Tablice 2 je vidljivo da Model 1 sa izabranim varijablama daje u prosjeku manji koeficijent korelacije na validacijskom uzorku u odnosu na Model 2 sa svim raspoloživim varijablama i da ima nešto veću standardnu devijaciju. Međutim, prosječna SMAPE greška Modela 1 na 10 uzoraka je manja od iste greške Modela 2 (41,3391% u odnosu na 42,6657%). S obzirom da je SMAPE mjerilo koje je jednostavnije primijeniti za ocjenu praktične uporabe i isplativosti modela, možemo zaključiti da je Model 1 ipak u prednosti u odnosu na Model 2, kako zbog točnosti, tako i zbog brzine rada, budući da je potrebno manje vremena za prikupljanje podataka i treniranje modela s manjim brojem ulaznih varijabli. Testirana je i statistička značajnost razlike u MAPE rezultatima dvaju modela, s pomoću *t*-testa razlike proporcija koji pokazuje da je $p=0,4357$, što znači da se prosječne MAPE greške dvaju modela ne razlikuju statistički značajno. Test pokazuje da kod metode NM redukcija varijabli ne pridonosi nužno i većoj točnosti modela, no zbog brzine izvođenja preporuča se za uporabu model koji zahtijeva manje vremena, što je u ovom slučaju Model 1.

Tablica 2. Rezultati modela neuronske mreže na 10 slučajnih validacijskih uzoraka

Rb uzorka	Model 1 - izabrane 24 značajne varijable		Model 2 - sve raspoložive varijable	
	Koeficijent korelacije	SMAPE (%)	Koeficijent korelacije	SMAPE (%)
1	0,6414	38,4387	0,6534	38,9878
2	0,5131	39,1007	0,7368	49,4951
3	0,6327	40,1850	0,6144	41,3962
4	0,5158	38,9526	0,5679	43,8903
5	0,7232	40,7961	0,6625	43,3319
6	0,5915	42,1579	0,6584	43,7134
7	0,7422	45,6500	0,7563	41,1052
8	0,5386	37,1744	0,4678	39,3346
9	0,5491	45,8026	0,5900	43,6423
10	0,4265	45,1328	0,6856	41,7598
Prosjek	0,5874	41,3391	0,6393	42,6657
Standardna devijacija	0,0987	3,1913	0,0843	2,9838

Slika 1 prikazuje grafički rezultat najbolje arhitekture NM za Model 1 na uzorku za validaciju, pri čemu je vidljivo da su kod predikcija modela manja odstupanja od stvarnih vrijednosti kod zgrada čija potrošnja se kreće do okvirno 600 000 kWh, dok je kod zgrada koje značajno odskaku u potrošnji odstupanje veće.



Slika 1. Stvarna i predviđena ukupna potrošnja prirodnog plina u 2016. godini

6. Zaključak

Rad je imao za svrhu s pomoću inteligentne podatkovne analitike identificirati značajne prediktore ukupne godišnje potrošnje prirodnog plina u javnim zgradama. Korišteni su stvarni građevinski, energetske, geoprostorni i podaci o uporabi preuzeti iz ISGE sustava koji prati energetske potrošnje javnih zgrada u Hrvatskoj. Analiza zavisnosti na temelju hi-kvadrat testa pokazala je da su najznačajniji prediktori potrošnje prirodnog plina iz skupine varijabli za grijanje (instalirana snaga radijatora i ostalih ogrjevnih tijela), zatim iz skupine konstrukcijskih podataka (ploština neto podne površine grijanog dijela zgrade, oplošje grijanog dijela zgrade, debljina sloja toplinske izolacije grijanog stropa, broj etaža), a tu su i varijable koje opisuju intenzitet uporabe objekta kao što su broj zaposlenih i broj korisnika. Energetski koeficijenti pojedinih dijelova zgrade također su značajni na razini 5%. Doprinos ovog rada je u uključivanju više skupina atributa u analizu potrošnje prirodnog plina i njihova analiza pomoću statističkih metoda i metoda strojnog učenja, a rezultati su pokazali da su opravdane sugestije prethodnih istraživanja da podatke o uporabi zgrada treba uključiti u prediktivne modele. Na temelju selekcije varijabli kreiran je prediktivni model metodom umjetnih NM koji zasad nije producirao zadovoljavajuću točnost, no ukazao je na potencijal metoda strojnog učenja u ovom području. Rad je pokazao i da redukcija varijabli kod metode NM pridonosi određenom, iako još uvijek ne i statistički značajnom povećanju točnosti modela te se stoga za praksu preporuča koristiti reducirani model zbog brzine rada. Smjernice za daljnja istraživanja uključuju rad na mogućem povećanju uspješnosti modela kroz testiranje više različitih vrsta NM i više metoda strojnog učenja. Zbog velikih raspona vrijednosti potrošnje plina u uzorku, plan za daljnje istraživanje je svakako odvojiti velike potrošače od manjih i napraviti posebne modele za svaku skupinu zgrada koji će biti precizniji u predikcijama, što je moguće napraviti metodom klaster analize.

Zahvala

Ovaj rad je financiran od strane Hrvatske zaklade za znanost u okviru projekta IP-2016-06-8350 "Metodološki okvir za učinkovito upravljanje energijom s pomoću inteligentne podatkovne analitike" (MERIDA).

7. Literatura

- [1] Tommerup H.; Rose, J.; Svendsen, S. Energy-efficient houses built according to the energy performance requirements introduced in Denmark in 2006 // Energy and Buildings, 39(2007), 10; 1123-1130. (ISSN: 0378-7788)
- [2] Narodne novine, Zakon o energetskej učinkovitosti, Narodne novine 127/2014, http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_10_127_2399.html (pristupljeno 20.07.2017)
- [3] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Četvrti nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti za razdoblje 2017. - 2019., travanj 2017, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hr_neeap_2017_hr.pdf (pristupljeno 21.07.2017)

- [4] Gutierrez, R.; Nafidi, A.; Gutierrez Sanchez, R.G. Forecasting total natural-gas consumption in Spain by using the stochastic Gompertz innovation diffusion model // *Applied Energy* 80(2005), 2; 115–124. (ISSN: 0306-2619)
- [5] Beccali, M.; Cellura, M.; Lo Brano, V.; Marvuglia, A. Forecasting daily urban electric load profiles using artificial neural networks // *Energy Conversion and Management*, 45(2004), 18–19; 2879-2900. (ISSN: 0196-8904)
- [6] Tonković, Z.; Zekić-Sušac, M.; Somolanji, M. Predicting Natural Gas Consumption by Neural Networks // *Tehnički vjesnik*, 16(2009), 3; 51-61. (ISSN 1330-3651)
- [7] Benedetti, M.; Cesarotti, V.; Introna, V.; Serranti, J. Energy consumption control automation using Artificial Neural Networks and adaptive algorithms: Proposal of a new methodology and case study // *Applied Energy*, 165(2016). 60-71. (ISSN: 0306-2619)
- [8] Thaler, M.; Grabec, I.; Poredos, A. Prediction of energy consumption and risk of excess demand in a distribution system // *Physica A*, 355(2005). 1; 46–53. (ISSN: 0378-4371)
- [9] Potocnik, P.; Thaler, M.; Govekar, E.; Grabec, I.; Poredoš, A. Forecasting risks of natural gas consumption in Slovenia // *Energy Policy*, 35(2007), 8; 4271–4282. (ISSN: 0301-4215)
- [10] Mikučionienė, R.; Martinaitis, V.; Keras, E. Evaluation of energy efficiency measures sustainability by decision tree method // *Energy and Buildings*, 76(2014), 64-71 (ISSN: 0378-7788)
- [11] Hsu, D. Comparison of integrated clustering methods for accurate and stable prediction of building energy consumption data // *Applied Energy*, 160(2015). 153-163. (ISSN: 0306-2619)
- [12] Zekić-Sušac, M. Overview of prediction models for buildings energy efficiency // *Proceedings of the 6th International Scientific Symposium Economy Of Eastern Croatia – Vision And Growth / Mašek Tonković Anka (ur.)*. (ISSN: 1848-9559). Osijek: Faculty of Economics in Osijek, 25.05. - 27.05.2017. s.697 -706.
- [13] Masters, T. *Advanced Algorithms for Neural Networks*. New York: John Wiley & Sons, 1995. (ISBN-13: 978-0471105886)
- [14] Tofallis, C. A better measure of relative prediction accuracy for model selection and model estimation // *Journal of the Operational Research Society*, 66(2015), 8: 1352-1362. (ISSN: 0160-5682)

Razvoj plinifikacije na distributivnom području tvrtke „Plin projekt“ d.o.o. - Nova Gradiška *Development of gasification in the distribution area of „Plin projekt“ („Gas project“ Ltd) - Nova Gradiška*

M. Ivanović, Lara Liović

Panon - institut za strateške studije, Osijek

Autor za korespondenciju. E-pošta: milanivanovi4@gmail.com

Sažetak

U radu se daje povijesni pregled plinifikacije na području Nove Gradiške i okolnih općina te prikazuje osnivanje i razvoj lokalnog distributera plina – „Plin projekt“ d.o.o. Nova Gradiška - koji je provodio proces plinifikacije na ovom dijelu slavonske regije. Posebno se prikazuje izgradnja plinovoda, broj i struktura potrošača te potrošnja prirodnog plina.

Ključne riječi: Plinifikacija Slavonije, „Plin projekt“, Izgradnja plinovoda, Potrošnja plina,

Abstract

This paper gives a historical overview of the gasification in the area of Nova Gradiska city and the surrounding municipalities and presents the establishment and development and operation of the local gas distributor - „Plin projekt“ Ltd Nova Gradiška - who conducted the process of gasification in this part of the Slavonian region. Gas pipeline construction, number and structure of consumers, and natural gas consumption are particularly shown.

Keywords: Gasification of Slavonia, „Plin projekt“ Ltd, Gas pipeline construction, Gas consumption

1. Povijesni okvir plinifikacije Nove Gradiške

Nakon otkrića plinskog polja Bokšić Lug, 1973. godine, u INA-„Naftaplinu“ je, na te-melju ankete industrijskih potrošača, izrađena studija "Problematika plinifikacije i istraži-vanje tržišta prirodnog plina na području slavonsko-baranjske makroregije". Ova je studija pokazala da je najveća potrošnja supstituabilne energije u gradovima, sjedištima tadašnjih općina. INA-„Naftaplin“ je studiju dostavila Privrednoj komori Slavonije i Baranje u Osijeku na razmatranje (i provedbu), no - zbog nedovoljne pripremljenosti potencijalnih potrošača na području regije za prihvata plina (vrijeme za izradu projekata i nabavu te izgradnju plinskih postrojenja kao i financijski problemi) - ovaj se projekt u Slavoniji nije mogao brzo realizirati. Stoga je eksploatacija prirodnog plina iz Slavonije usmjerena k spremnim potrošačima na području ranije plinificiranog dijela SR Hrvatske - okolica Zagreba, [1][2].

Ni godinu dana nakon otkrića plinskog polja Bokšić Lug - 1974. godine - u proces plinifikacije regije uključila se "Elektroslavonija" Osijek i to:

a) izgradnjom plinsko-turbinske elektrane (PTE) u Osijeku (kao velikog potrošača slobodnih količina plina) i

b) vođenjem poslova plinifikacije na regionalnoj razini; naime, na poticaj Savjeta za energetiku Privredne komore Slavonije i Baranje u Osijeku „Elektroslavonija“ se prihvatila poslova organizatora i nositelja plinifikacije Slavonije i Baranje "kao najprikladnija radna organizacija za obavljanje te djelatnosti.", [2].

"Elektroslavonija" je već 3.8.1974. godine uputila u 14 općina u sastavu Zajednice općina Osijek (ZOO) ponudu za nositelja plinifikacije. Tu je ponudu prihvatilo 1974. godine šest općina, 1975. četiri općine i 1976. godine još dvije općine, dok se općine Vinkovci i Brod nisu očitovale. Sretna je okolnost bila da su se u ovaj proces, ponekad i uz dodatna stručna objašnjenja i uvjeravanja, uključile sve općine u podravskom dijelu Slavonije, tako da su se pripremni radovi mogli nesmetano i pravodobno obavljati. U "Elektroslavoniji" su odmah prišli izradi studija plinifikacije za općine na čijem su se području 1975. godine gradili magistralni plinovodi. Studije su omogućile izradu „Programa plinifikacija ZO Osijek za razdoblje 1979. - 1985.“; Program je analizirao problematiku uvođenja prirodnog plina u 25 gradova i većih naselja u regiji i potvrdio da u prvoj fazi plinifikacije regije prioritet trebaju imati općinski centri, jer se u ostalih 11 snimljenih mjesta trošilo samo 4,2% supstituabilne energije korištene u Slavoniji. Ovaj su Program prihvatile skupštine svih 14 općina kao i Skupština Zajednice općina Osijek te stručnjaci INA-„Naftaplina“, [3].¹

Nakon prihvaćanja Programa načinjen je Društveni dogovor o razvoju plinske mreže na području ZOO u razdoblju 1980.-1985. godine koji nikad nije potpisan; naime - nije se mogla dogovoriti financijska konstrukcija za njegovu realizaciju, pogotovo nakon što je INA-„Naftaplin“ odbila njegovo potpisivanje uz obrazloženje - „da, iako je Program tehnički dobro postavljen, njegova realizacija u navedenom petogodišnjem razdoblju - zbog ograničenih količina plina - nije moguća“. Raspoložive količine prirodnoga plina (sa slavonskih polja) nisu bile u to vrijeme dostatne da bi se „Program plinifikacije“ mogao realizirati planiranom dinamikom i kapacitetima, [4][5].

Od ukupno 14 tadašnjih općina slavonske regije u 1991. godini plin se koristi na području devet općina, a neplinificirane su ostale općine Beli Manastir, Đakovo, Nova Gradiška, Vukovar i Županja. No, u tom razdoblju (1977.- 1991.) „Elektroslavonski“ OOUR „Distribucija plina“ intenzivno radi na pripremnim radovima za dovođenje plina na nova područja:

a) za općinu Nova Gradiška snimljena je struktura potrošnje energije te projiciran potencijalni plinski konzum;

b) za općine Beli Manastir, Đakovo i Županja napravljena su idejna rješenja priključenja na plinski sustav i raspleta plinovodne mreže u općinskim centrima s troškovnicima;

c) za općinu Vukovar izrađen je izvedbeni projekt glavnog distribucijskog plinovoda, [2].

1.1. Počeci plinifikacije na području Nove Gradiške

Nakon višegodišnjeg čekanja, svjesni da prirodni plin neće tako skoro doći do njihova grada gradski oci, poslovni ljudi i građani Nova Gradiške, odlučili su sami riješiti pitanje plinifikacije svoga grada; dok ne bude raspoloživih količina prirodnog plina i dok ne budu izgrađeni magistralni plinovodi - u Novoj Gradiški će se koristiti gradski plin - kao u gradu Rijeka - miješanjem propana i butana sa zrakom. Ovo je dalekovidno rješenje jer se izgrađena plinska mreža (i trošila kod kupaca) mogu koristiti i kada prirodni plin bude došao do Nove Gradiške, [6].

¹ Izvršno vijeće Skupštine općine Nova Gradiška usvojilo je „Program plinifikacije ZO Osijek 1981.-1985.“ dana 10. 04.1979. godine (broj odluke: 0-04-1077 – 1-1979.). [2]

Devedesth godina prošlog stoljeća utemeljeno je više poduzeća u Novoj Gradišci koja su imala registriranu djelatnost glede proizvodnje i lokalne distribucije plina:

- a) „Themmag“ d.o.o. za projektiranje, izgradnju plinskih mreža i uređaja, tehničkih postrojenja i trgovinu, uvoz-izvoz, Nova Gradiška, Ljudevita Gaja 89 - registrirano 1991. godine kod Trgovačkog suda u Osijeku - stalna služba u Slavanskom Brodu, registracijski broj 050013004; Ugašen 2003. godine, [7].
- b) „Eko-projekt“ d.o.o. za komunalnu djelatnost, projektiranje i građevinarstvo - Nova Gradiška, Josipa Jurja Strossmayera 14 - registrirano 1993. godine kod Trgovačkog suda u Osijeku - stalna služba u Slavanskom Brodu, registracijski broj 050000329; Djelatnosti: (između ostalih) Trgovina na veliko krutim, tekućim i plinovitim gorivima i srodnim proizvodima, Proizvodnja plina, distribucija plinovitih goriva opskrba parom i toplom vodom; Ugašen 2016. godine, [7].
- c) „Ekoprojekt i dr.“ k.d. - društvo za izgradnju i distribuciju plina komanditno društvo, Nova Gradiška, Gajeva 89 - registrirano 1995. godine kod Trgovačkog suda u Osijeku - stalna služba u Slavanskom Brodu (registracijski broj 050003143); Djelatnost: (između ostalih) Trgovina plinom distribucijskom mrežom, Proizvodnja plina, Distribucija plinovitih goriva, Pripremni radovi na gradilištu, Izgradnja građevinskih objekata, Instalacijski radovi, Cjevovodni transport; Ugašen 2003. godine, [7].
- d) „Ekoplin“ d.o.o. za izgradnju i distribuciju plina, Nova Gradiška, Štrosmajerova 30 – registrirano 1995. godine kod Trgovačkog suda u Osijeku - stalna služba u Slavanskom Brodu (registracijski broj 050002708); Djelatnosti: (između ostalih) Proizvodnja plina, distribucija plinovitih goriva distribucijskom mrežom. Ugašen 2012. godine, [7].
- e) „Plin projekt“ d.o.o. Alojzija Stepinca 36, Nova Gradiška - registrirano 1997. godine kod Trgovačkog suda u Osijeku - stalna služba u Slavanskom Brodu. Tvrtka Plin projekt d.o.o. specijalizirana je za distribuciju plina. Registrirane djelatnosti: (između ostalih) Proizvodnja plina, distribucija plinovitih goriva distribucijskom mrežom, Građenje, projektiranje i nadzor, Cjevovodni transport, Opskrba plinom, Kontrola i ispitivanje plinskog i toplinskog sustava, Distribucija plina, [7].

1.1.1. Odluke Gradsko vijeća Grada Nova Gradiška

Gradsko vijeće Grada Nova Gradiška na 27. sjednici održanoj 29. veljače 1996. godine, donijelo je Odluku o davanju koncesije za financiranje, izgradnju, upravljanje i održavanje postrojenja i opskrbu plinom na području Grada Nova Gradiška. tvrtki "Ekoprojekt i dr." - društvo za izgradnju i distribuciju plina Nova Gradiška na vrijeme od 30 (trideset) godina, [8].

Gradsko vijeće Grada Nova Gradiška na 7. sjednici održanoj 26. veljače 1998. godine, donijelo je Odluku o prenošenju koncesije za financiranje, izgradnju, upravljanje i održavanje plinskog postrojenja i opskrbu plinom na području Grada Nova Gradiška s tadašnjeg koncesionara "Ekoprojekt i dr." Društvo za izgradnju i distribuciju plina, komanditno društvo iz Nove Gradiške na "Plin projekt" d.o.o. iz Nove Gradiške, [9].

Gradsko vijeće Grada Nova Gradiška na 4. sjednici održanoj dana 9. studenoga 2000. godine, donijelo je Odluku o davanju suglasnosti tvrtki "Plin projekt" d.o.o. iz Nove Gradiške na proširenje sustava distribucije plina na područje općina Cernik, Rešetari i Dragalić, [10].

2. Izgradnja plinske mreže i potrošnja gradskog plina

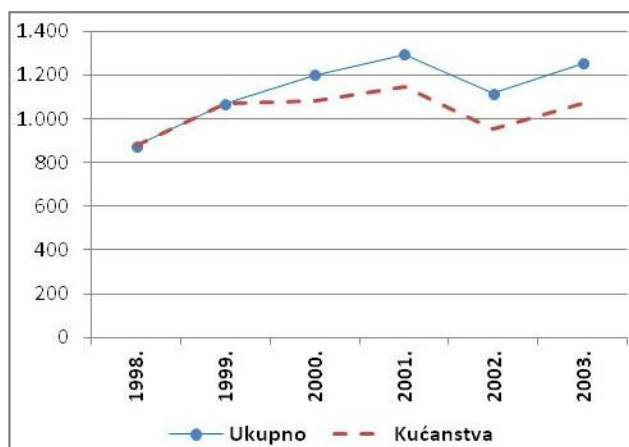
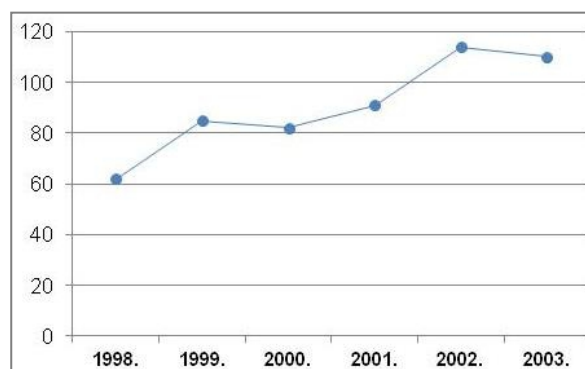
Projekt izgradnje postrojenja za miješanje plina, s kojim je u Hrvatskoj bilo vrlo malo iskustva (osim u gradu Rijeka) te izgradnje distribucijskih plinovoda provela je tvrtka "Plin-projekt" d.o.o. Nakon velikih početnih poteškoća, zbog nedostatka kapitala, uz velike napore, ali zavidnim entuzijazmom i optimizmom, pronađeni su pogodni partneri voljni financijski podržati ovaj projekt, koji je tada i realiziran zajedničkim ulaganjima talijanskih i hrvatskih tvrtki, [6]. Tablicom 1 i grafikonima 1 – 4 prikazan je razvoj plinske mreže, broj i struktura potrošača te potrošnje gradskog plina na području Grada Nova Gradiška i okolnih općina.

Tablica 1. Izgrađenost plinoopskrbe na području Grada Nova Gradiška u razdoblju od 2000. do 2002. godine

Rb	Elementi plinskog sustava	JM	Količina
1.	Mješalište plina sa spremnicima za ukapljeni plin	kom	1
2.	Redukciona stanica (srednji tlak/niski tlak)	kom	3
3.	Plinska cijev PE-HD 225 mm	m	13.356
4.	Plinska cijev PE-HD 160 mm	m	10.289
5.	Plinska cijev PE-HD 110 mm	m	8.183
6.	Plinska cijev PE-HD 90 mm	m	10.958
7.	Plinska cijev PE-HD 63 mm	m	21.730
8.	Plinska cijev PE-HD 50 mm	m	562
9.	Plinska cijev PE-HD 32 mm	m	14.888
Ukupno plinovodi (m)			79.966

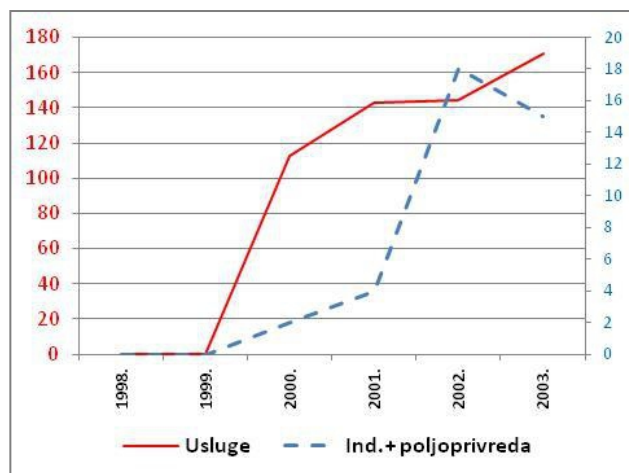
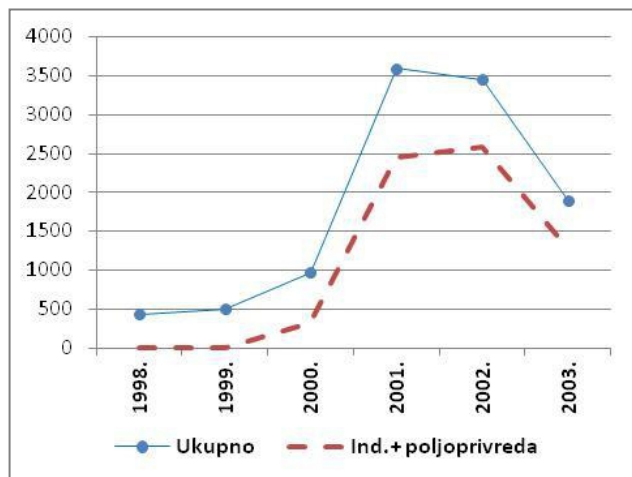
Izvor:[11]

Slika 1. Izgrađena plinovodna mreža na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška [12]

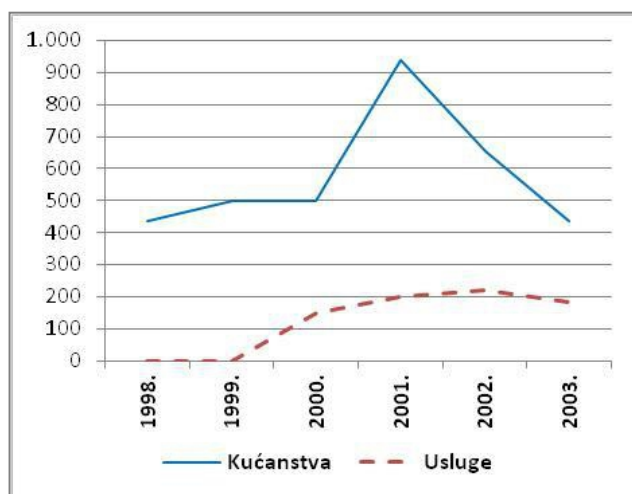


Slika 2. Ukupan broj potrošača i broj potrošača kućanstava gradskog plina na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška [12]

Slika 3.
Broj potrošača gradskog plina u kategoriji „Usluge“ i „Industrija+poljoprivreda“ na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška [12]



Slika 4.
Ukupna potrošnja gradskog plina i potrošnja u kategoriji „Industrija+poljoprivreda“ na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška (10^3 m^3) [12]



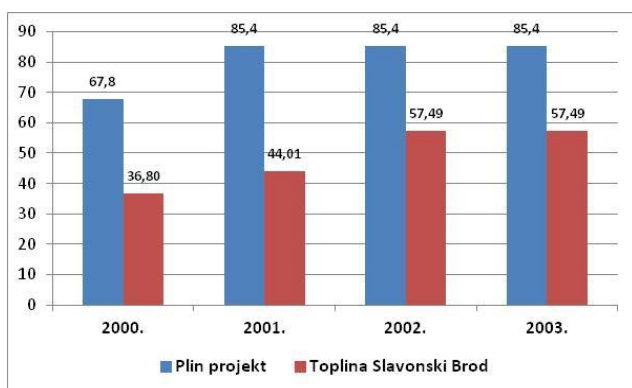
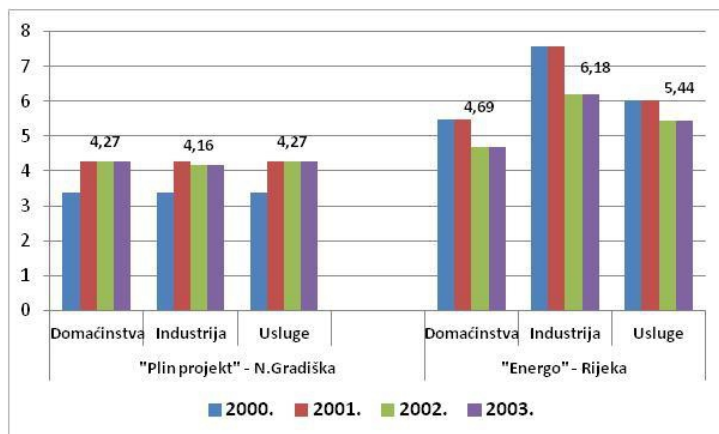
Slika 5.
Potrošnja gradskog plina u kategoriji „Kućanstva“ i „Usluge“ na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška (10^3 m^3) [12]

2.1. Cijene gradskog plina za potrošače na području Nove Gradiške

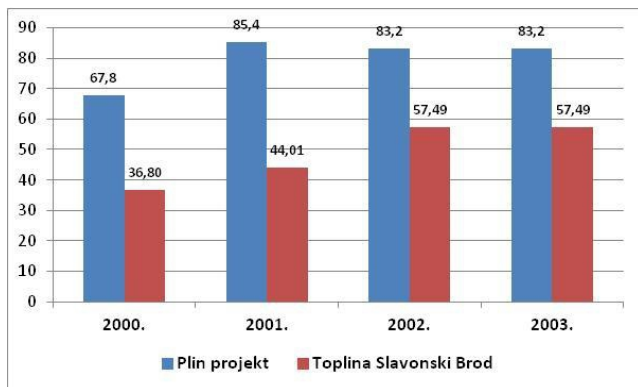
Slikama 6 – 9 prikazana je analiza cijena gradskog plina za potrošače na području Nove Gradiške;

- Potrošači gradskog plina u svim kategorijama potrošnje na području Nove Gradiške imali su nižu cijenu gradskog plina od potrošača na području grada Rijeke (gdje je, također, distribuiran gradski plin - slika 6);
- Energetska vrijednost gradskog plina za 1 m^3 iznosi (u prosjeku) 50 MJ, a prirodnog plina (u prosjeku) 33,4 MJ. Da bi se usporedila razina cijena gradskog plina za potrošače u Novoj Gradiški sa susjednim gradom (Slavonski Brod) gdje je distribuiran prirodni plin –izračunata je cijena za 1000 MJ; potrošači gradskog plina u svim kategorijama potrošnje na

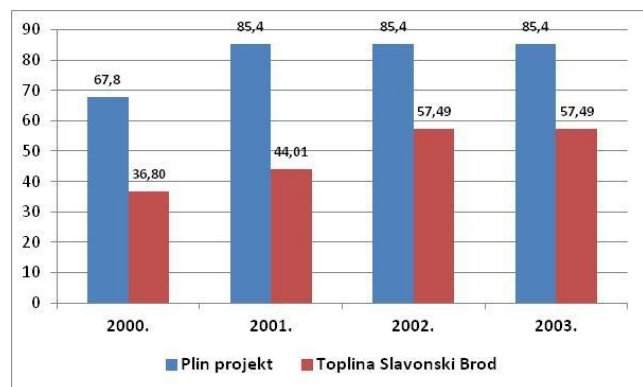
Slika 6.
Cijene gradskog plina na distribucijskom području „Plin projekta“ Nova Gradiška i „Energo“ Rijeka (Kn/m³) [12]



Slika 7.
Cijene gradskog plina za kućanstva na distribucijskom području „Plin projekta“ Nova Gradiška i „Brod plin“ Slavonki Brod (Kn/1000 MJ) [12]



Slika 8.
Cijene gradskog plina za industriju na distribucijskom području „Plin projekta“ Nova Gradiška i „Brod plin“ Slavonki Brod (Kn/1000 MJ) [12]



Slika 9.
Cijene gradskog plina za usluge na distribucijskom području „Plin projekta“ Nova Gradiška i „Brod plin“ Slavonki Brod (Kn/1000 MJ) [12]

području Nove Gradiške imali su višu cijenu korištenog plina od potrošača na području grada Slavonski Brod - gdje je distribuiran prirodni plin - slike 7, 8 i 9.

3. Prirodni plin doveden do Nove Gradiške

Zamjenu gradskog plina (ukapljeni naftni plin+zrak) zemnim plinom u Novoj Gradišci omogućila je izgradnja magistralnog plinovoda Novska – Nova Gradiška (2003. g.) ukupne dužine 32.738 m. Plin se na područje Nove Gradiške dobavlja kroz transportni sustav kojim upravlja operator sustava „Plinacro“ d.o.o. (sl. 10). Dužina izgrađenog PE distribucijskog plinovoda iznosi 110,3 km, [13] [14] [15].

Slika 10.

Cjevovodni promet u Republici Hrvatskoj
[16]



Nakon velikih početnih poteškoća tijekom proteklih godina tvrtka „Plin projekt“ d.o.o. je investirala oko 20 mil.€ u razvoj poslovanja, [6].

Hrvatska energetska regulatorna agencija (HERA) je u prosincu 2009. godine dala pozitivno mišljenje „Plin projektu“ d.o.o. na Petogodišnji plan razvoja distribucijskog sustava za razdoblje od 2009. do 2013. godine, a u studenom 2013. produžena je dozvola za obavljanje energetske djelatnosti distribucije plina, [17].

3.1. Distribucijsko područje

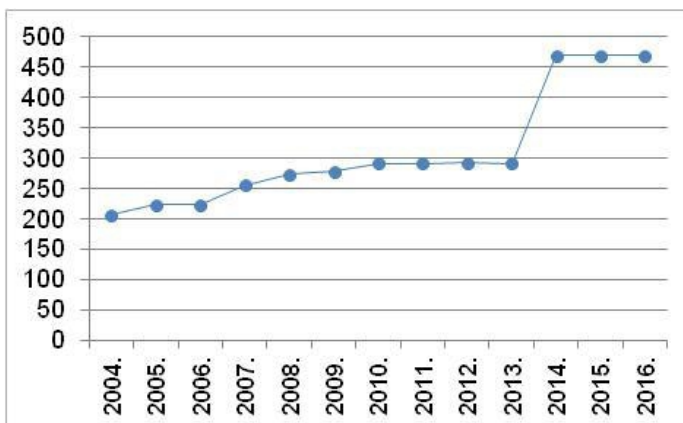
„Plin Projekt“ d.o.o. je distributer prirodnog plina za područje gradova Nova Gradiška i Novska te susjednih općina: [6]

- Grad Nova Gradiška (Nova Gradiška, Kovačevac, Ljupina, Prvča),
- Općina Okučani (Okučani, Bodegraj, Cage, Lađevac)
- Općina Gornj Bogičevci (Gornji Bogičevci, Kosovac, Smrtić, Trnava)
- Općina Dragalić (Dragalić, Mašić, Medari)
- Općina Cernik (Cernik)
- Općina Rešetari (Rešetari, Adžamovci, Brđani, Zapolje)
- Općina Staro Petrovo Selo (Staro Petrovo Selo, Godinjak, Oštri Vrh, Vrbova)
- Općina Nova Kapela (Nova Kapela, Batrina, Bili Brig)
- Grad Novska (Novska, Borovac, Brestača, Bročice, Jazavica, Nova Subocka, Paklenica, Rajić, Roždanik, Stara Subocka, Stari Grabovac, Voćarica)
- Općina Lipovljani (Lipovljani, Kraljeva Velika, Krivaj, Piljenice, Kozarice)
- Općina Jasenovac (Jasenovac)
- Općina Garčin (Garčin, Bicko Selo, Klokočevik, Sapci, Selna, Trnjani, Vrhovina, Zadubravlje)
- Općina Donji Andrijevc (Donji Andrijevc, Staro Topolje, Novo Topolje)

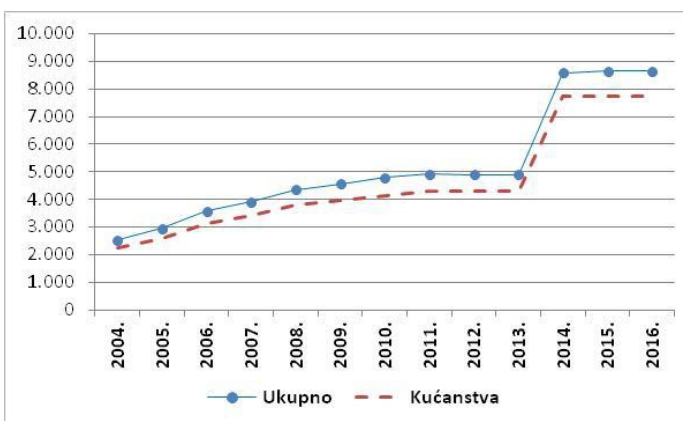
3.2. Izgrađena plinovodna mreža i potrošnja prirodnog plina

Grafikonima 11 – 15 prikazan je razvoj plinske mreže, broj i struktura potrošača te potrošnje prirodnog plina na području Grada Nova Gradiška i okolnih općina.

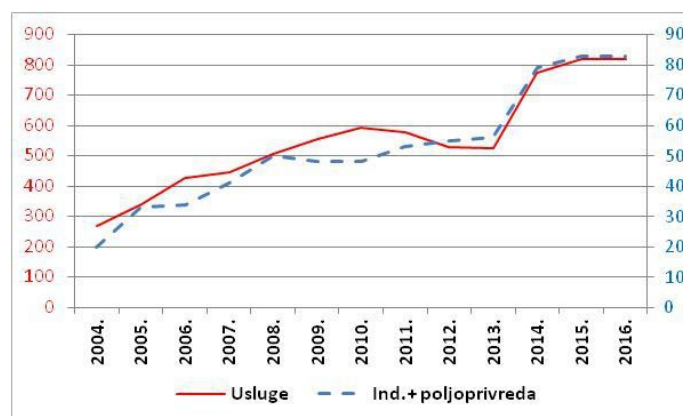
Slika 11.
Izgrađena plinska mreža na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška (km) [12]



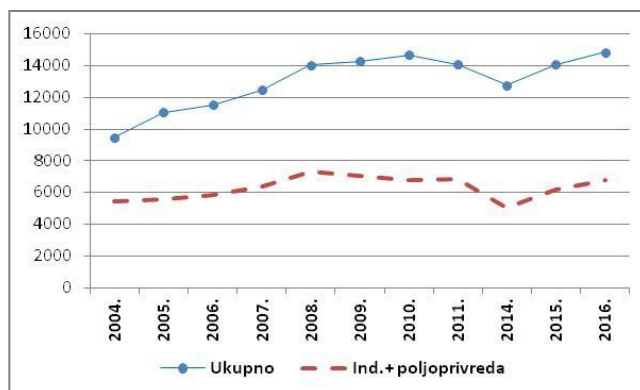
Slika 12.
Broj potrošača prirodnog plina na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška [12]



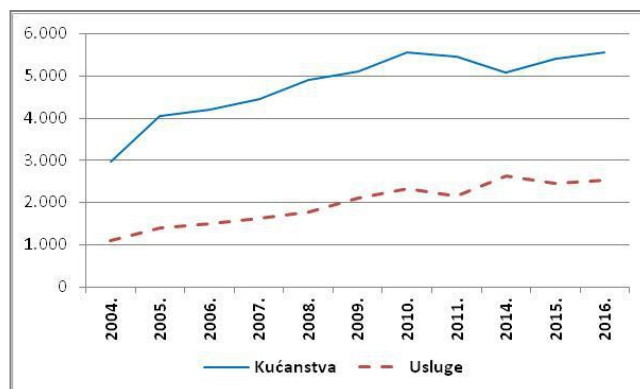
Slika 13.
Broj potrošača prirodnog plina na distribucijskom području „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška [12]



Slika 14.
Potrošnja prirodnog plina
na distribucijskom području „Plin projekta“
d.o.o. Nova Gradiška (10³ m³) [12]



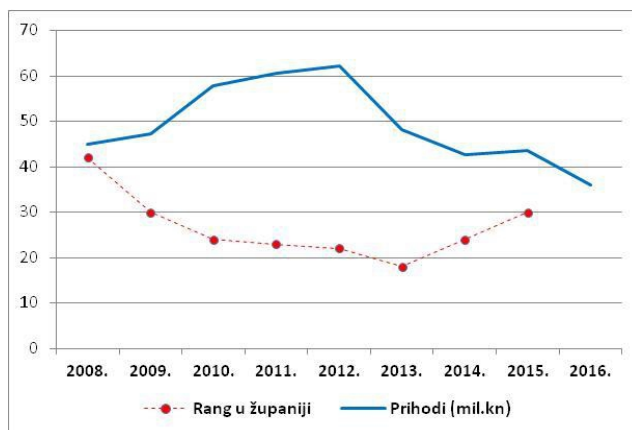
Slika 15.
Potrošnja prirodnog plina
na distribucijskom području „Plin projekta“
d.o.o. Nova Gradiška (10³ m³) [12]



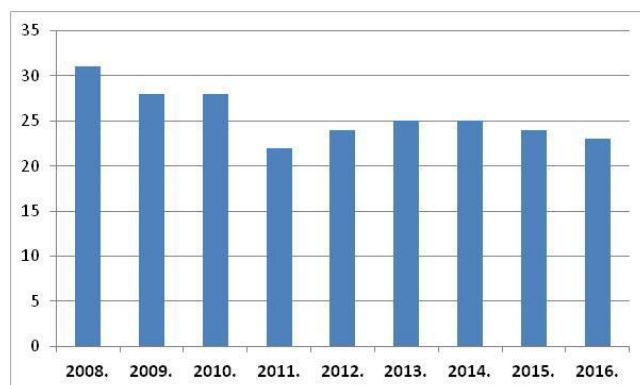
3.3. Poslovanje „Plin projekta“ d.o.o. Nova Gradiška

Direktori tvrtke „Plin projekt“ d.o.o. su Nada Falica, oec. i Ivan Heli, dipl.ing. Rezultati poslovanja i broj zaposlenih po godi-nama prikazuju grafikoni 16 i 17;

Slika 16.
Ukupni prihod tvrtke „Plin projekt“ d.o.o.
Nova Gradiška (10⁶kn) i mjesto na rang na
listi najvećih poduzeća u
Brodsko-posavskoj županiji [18][7]



Slika 17.
Broj zaposlenih u tvrtki
„Plin projekt“ d.o.o.
Nova Gradiška [18][7]





„Plin projekt“ d.o.o. bio je jedan od osnivača i ulagača u poslovnu zonu „Industrijski park“ Nova Gradiška gdje su izgrađene i poslovne prostorije tvrtke (sl. 18 i 19).

Slika 18.
Poslovna zgrada „Plin projekta“ [19]



Slika 19.
„Industrijski park“ - Nova Gradiška [19]

Za provedbu plinifikacije područja Nove Gradiške zaslužno je na desetine stručnjaka, tehničara i radnika te lokalnih dužnosnika, a inicijatoru i pioniru plinifikacije Nove Gradiške - primjenom tehnologije miješanja propana i butana sa zrakom - Josipu Vukoviću, dipl. ing. elektrotehnike iz Nove Gradiške, osnivaču i direktoru tvrtke „Plin projekt“ d.o.o. - Hrvatska stručna udruga za plin (HSUP) je 2008. godine dodijelila priznanje MANAGER GODINE, [20].

4. Zaključak

Proces plinifikacije slavonske regije započeo je nakon otkrića plinskog polja Bokšić Lug, 1973. godine. Iako su lokalne vlasti i gospodarski subjekti odmah započeli - ipak (zbog nedovoljne pripremljenosti potencijalnih potrošača za prihvatanje plina i financijskih problema) - ovaj se projekt u Slavoniji nije mogao brzo realizirati. Stoga je eksploatacija prirodnog plina iz Slavonije usmjerena k spremnim potrošačima na ranije plinificiranom dijelu Hrvatske u okolici Zagreba.

Kada je početkom 1980-tih načinjen Program plinifikacije slavonske regije raspoložive količine plina iz slavonskih polja nisu bile dostatne tako da se prirodni plin u regiji koristio samo u gradovima i naseljima blizu magistralnih plinovoda. Tako je do početka Domovinskog rata (i do njegovog završetka) u Slavoniji - od 14 tadašnjih općina - pet velikih općina (1/3 regije) ostalo neplinificirano.

Poduzetnici i stručnjaci iz Nove Gradiške nisu čekali „dolazak prirodnog plina“ u njihov grad već su mudrom inicijativom sredinom 1990-tih započeli plinifikaciju grada i okolnih općina primjenom miješanja ukapljenog naftnog plina sa zrakom (tzv. gradski plin) čime su pridonijeli efikasnijem i udobnijem korištenju energije u kućanstvima, javnim ustanovama i poduzetništvu. U isto vrijeme - na ovaj je način utrt put za brži prihvatanje prirodnog plina na koje je plinovod Nova Gradiška priključena 2004. godine.

5. Literatura

- [1] Ivanović, Milan. - Znanost i regionalna energetika; ISBN 953-6032-502-3, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2006.
- [2] Ivanović, Milan. - HEP PLIN d.o.o. Osijek - 40 godina 1975-.2015.; ISBN 978-953-7973-09-3: HEP Plin d.o.o. Osijek i Alberta naklada - Osijek, 2016.
- [3] Ivanović, Milan – Efikasnost korištenja energije, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 1991
- [4] Ivanović, M.; Glavaš, Hrvoje - The Techno-Economical and Enviromental Results of Gasification in the Slavonia Region (Croatia); Acta Tehnica Corviniensis – Bulletin of Engineering, Tome IX [2016] Fascicule 1; [January – March]; ISSN: 2067 – 3809; pp 39 – 43
- [5] Ivanović, Milan - Energy consumption, structure and development, in european transition countries; IJECES – International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems, ISSN 1847-6996; Vol. 3, No.2, (2012), pp 7-16
- [6] Plin projekt d.o.o. Nova Gradiška (<http://www.plinprojekt.hr/>)
- [7] EL KONCEPT d.o.o.- portal Fininfo.hr (<https://www.fininfo.hr/>)
- [8] Odluka o dodjeli koncesije; Novogradiški glasnik, br. 1/1996.
- [9] Odluka o dodjeli koncesije; Novogradiški glasnik, br. 1/1998.
- [10] Odluku o davanju suglasnosti na proširenje sustava distribucije plina; Novogradiški glasnik, br. 5/2000.
- [11] Izvješće o stanju u prostoru prostoru za period 2000. – 2002.g., Novogradiški glasnik, 29.11.2002.
- [12] Hrvatska stručna udruga za plin – Plinski godišnjak Hrvatske (<http://www.hsup.hr/>)
- [13] Županijska razvojna strategija Brodsko-posavske županije 2011.- 2013. „Službeni vjesnik“ Brodsko-posavske županije, br. 4/2011.
- [14] Procjena ugroženosti od požara i tehnološke eksplozije Brodsko-Posavska Županija, 2013.
- [15] Industrijski park Nova Gradiška d.o.o. - Strategija razvoja grada Nova Gradiška do 2020.g. (<http://www.ipng.hr/>)
- [16] Izvješće o stanju u prostoru (2008.) - Brodsko-posavska županija www.bpz.hr/_Data/Files/stanje-upros.pdf
- [17] Pozitivno mišljenje na Petogodišnji plan razvoja distribucijskog sustava – Hrvatska energetska regulatorna agencija - <https://www.hera.hr/>
- [18] „Privredni vjesnik“ - 400 najvećih hrvatskog gospodarstva
<https://issuu.com/nestar/docs/400naj2010>
<https://issuu.com/nestar/docs/400naj2011>
<https://issuu.com/nestar/docs/400naj2012>
<https://issuu.com/nestar/docs/400naj2013>
<https://issuu.com/nestar/docs/400naj2014>
<https://issuu.com/nestar/docs/400naj2015>
- [19] Industrijski park Nova Gradiška d.o.o. (<http://www.ipng.hr/>)
- [20] Kreković. Dražena - Dan plina '2008.; Plin, 4, Vol. VIII, 2008. pp 13-19
http://www.hsup.hr/upload_data/editor/files/DP_08_txt.pdf

Prikaz istraživanja razvoja simulacijskog modela lanca opskrbe prirodnim plinom

Research overview on a development of a simulation model of the natural gas supply chain

J. Mesarić¹, D. Dujak^{1,*}, Z. Tonković²

¹Ekonomski fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

²HEP-Plin d.o.o., Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: ddujak@efos.hr

Sažetak

Prirodni plin predstavlja važan energetska i sirovinski resurs u društvenom i gospodarskom sustavu. Raspoloživost prirodnog plina u količinama i cijenama iz domaćih izvora i uvoza za različite kategorije potrošača zahtijeva izgradnju, funkcioniranje, održavanje i proširenje kompleksnog tehnološkog sustava na kojem se izgrađuju odnosi različitih sudionika i kao takvi čine kompleksni opskrbni lanac. Upravljanje takvim opskrbnim lancima na različitim razinama (operativnoj, taktičkoj i strateškoj) polazi od različitih ciljnih funkcija sudionika i različitih ograničenja koja proizlaze iz tehnoloških karakteristika tih sustava, zakonske regulative, tržišnih i društveno-političkih odnosa. Funkcioniranje opskrbnog lanca plina zbog konfliktnih ciljeva i navedenih ograničenja podložno je neuravnoteženim stanjima koja se manifestiraju neravnotežama u ponudi i potražnji i ekonomiji procesa i koja zahtijevaju mehanizme otpornosti s jedne strane i prilagodljivosti sustava na nove zahtjeve s druge strane. U svijetu, kao i u Republici Hrvatskoj su za upravljanje ovim kompleksnim sustavima izgrađeni brojni modeli kojima se poboljšava njihovo funkcioniranje, planiranje, nadzor i upravljanje. Ovaj rad daje pregled plana znanstvenog istraživanja koje ima za cilj izgraditi simulacijski model lanca opskrbe prirodnim plinom u Republici Hrvatskoj. Pretpostavka je da kombinirana uporaba različitih metoda strojnog učenja i simulacijskog modeliranja može dovesti do smanjenja potrošnje, kvalitetnijeg upravljanja lancem opskrbe prirodnog plina, smanjenja troškova, preciznije procjene razdoblja povrata ulaganja, te očuvanja okoliša manjom emisijom štetnih plinova. Razvoj simulacijskog modela se temelji na analizi opskrbnog lanca plina u Republici Hrvatskoj što će se provesti metodama višestrukog mapiranja opskrbnog lanca i modeliranjem poslovnih procesa (od mapiranja postojećeg stanja opskrbnog lanca plina, preko uočavanja kritičnih točaka u istom i razrade procesa kod pojedinih članova). Očekivani rezultati upotrebe mapiranja i modeliranja poslovnih procesa kao i implementacije simulacijskog modela bit će temelj za prilagodbu opskrbnog lanca plina koji mogu dovesti do određenih pozitivnih učinaka u smislu ušteda i unapređenja usluge opskrbnog lanca u cijelosti.

Ključne riječi: opskrbeni lanac, prirodni plin, simulacijski model, mapiranje, prognoza potrošnje, projekt MERIDA

Abstract

Natural gas represents an important energy and raw material resource in the social and economic system. The availability of natural gas in quantities and prices from domestic sources and imports for different categories of consumers requires the construction, operation, maintenance and expansion of a complex technological system that builds the relationships of different participants and as such constitutes a complex supply chain. Managing such supply chain at different levels (operational, tactical and strategic) starts from the different targeting functions of the participants and various constraints stemming from the technological characteristics of these systems, legal regulations, market and socio-political relations. The functioning of the gas supply chain due to conflicting goals and limitations is subject to unbalanced conditions manifested by the imbalances in supply, demand, and economy of the process, which require resistance mechanisms on one hand and a system adaptation to new demands on the other. In the world as well as in the Republic of Croatia, numerous models have been built to manage these complex systems, improving their functioning, planning, supervision and management. This paper gives an overview of the plan of scientific research aimed at building a simulation model of the natural gas supply chain in the Republic of Croatia. The assumption is that the combined use of different machine learning methods and simulation modeling can lead to reduced consumption, better management of the natural gas supply chain, cost reduction, more accurate estimation of the return period of investment, and environmental conservation with lower emission of harmful gases. The development of the simulation model is based on an analysis of the gas supply chain in the Republic of Croatia, which will be implemented by multiple chain mapping methods and business process modeling (from mapping the existing gas supply chain, by pointing out critical points in the same and elaborating processes in individual members). The expected results of mapping and modeling business processes as well as the implementation of the simulation model will be used as the basis for adjustment proposals of the gas supply chain that can lead to certain positive effects in terms of savings and improvement of the supply chain service in its entirety.

Keywords: supply chain, natural gas, simulation model, mapping, spending forecast, MERIDA project

1. Uvod

Prirodni plin postaje sve važniji (mjestimično i jedini) primarni energent i/ili industrijska sirovina iz koje se različitim tehnološkim procesima proizvode različiti proizvodi. Proizvodnja, transport, skladištenje, distribucija i neposredno iskorištavanje prirodnog plina poprimilo je razmjere svjetskog poslovanja i u fokusu je regionalnih, državnih i međunarodnih gospodarskih odnosa i strateških opredjeljenja. Aktivnosti koje se povezane s prirodnim plinom treba promatrati u kontekstu kompleksnog opskrbenog lanca u kojem se

mogu identificirati međusobno povezane faze, procesi, proizvodi, sudionici i različite potporne aktivnosti i usluge.

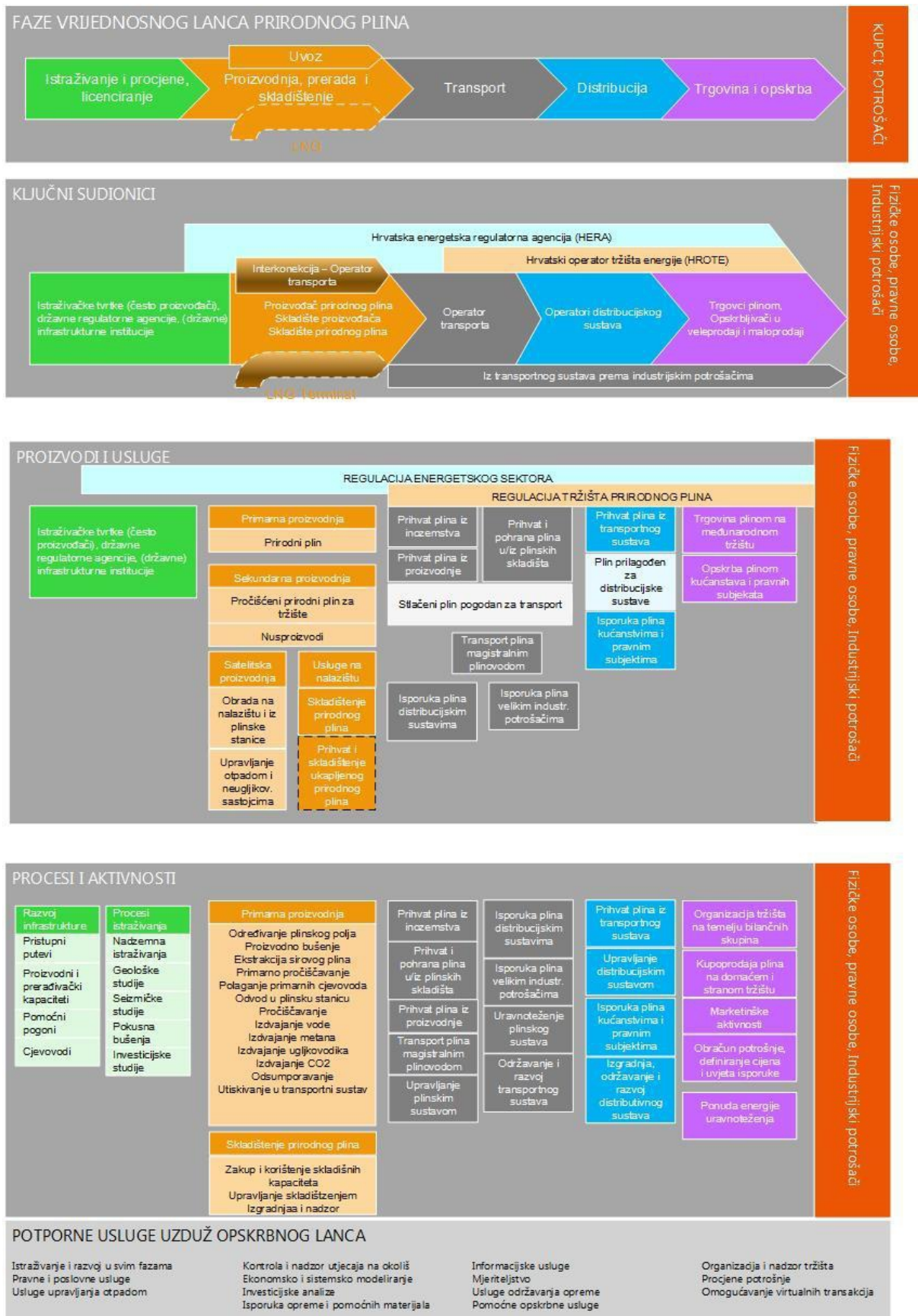
Kompleksnost ovih opskrbnih lanaca, posebno u odnosima pojedinih sudionika i njihovih uloga i dinamike zahtijeva stvaranje cjelovite slike o opskrbnom lancu u smislu kreiranja novostvorenih vrijednosti s jedne strane i dekompoziciju na ključne aspekte kojima se funkcioniranje takvih sustava kao i upravljanje takvim sustavima može dovesti u stanje prihvatljivih dinamičkih ravnoteža.

Ovaj rad sastavni je dio projekta MERIDA (Metodološki okvir za učinkovito upravljanje energijom s pomoću inteligentne podatkovne analitike) kojeg je odobrila i financira Hrvatska zaklada za znanost i odnosi se na njegov treći cilj “predložiti model lanca opskrbe koji će omogućiti učinkovito upravljanje energijom od dobave do distribucije uz uporabu podatkovne analitike i simulacijskih modela” opskrbnog lanca plinom.

Kroz ovaj projekt ponudit će se novi multi-metodološki pristup i mogućnost integracije razvijenih modela u informacijski sustav koji bi doprinio boljem iskorištenju energije učinkovitim planiranjem potrebnih zaliha i narudžbi, manjim gubicima i troškovima. Osim toga, ovaj projekt daje podlogu za stvaranje podatkovnog laboratorija koji bi se i nakon završetka projekta mogao koristiti za podatkovnu analitiku za procjenu potrošnje plina i odlučivanje o naručivanju i iskorištavanju zaliha odnosno transportnih kapaciteta te tako služio donositeljima odluka u području nacionalne energetske politike. U radu će biti predstavljen pristup mapiranju opskrbnog lanca u Republici Hrvatskoj, pregled dosadašnjih istraživanja i pristup ključnom problemu opskrbnog lanca plinom - što točnije prognoziranje potrošnje te pristup izgradnji simulacijskog modela kojim će se izvesti adaptacije sustava na poremećaje dinamičkih ravnoteža.

2. Vrijednosni lanac opskrbe prirodnim plinom

Opskrbni lanac prirodnog plina mapiran u vrijednosne lance opskrbe prirodnim plinom u Republici Hrvatskoj prikazan je na slici 1.



Slika 1. Vrijednosni opskrbni lanac prirodnog plina

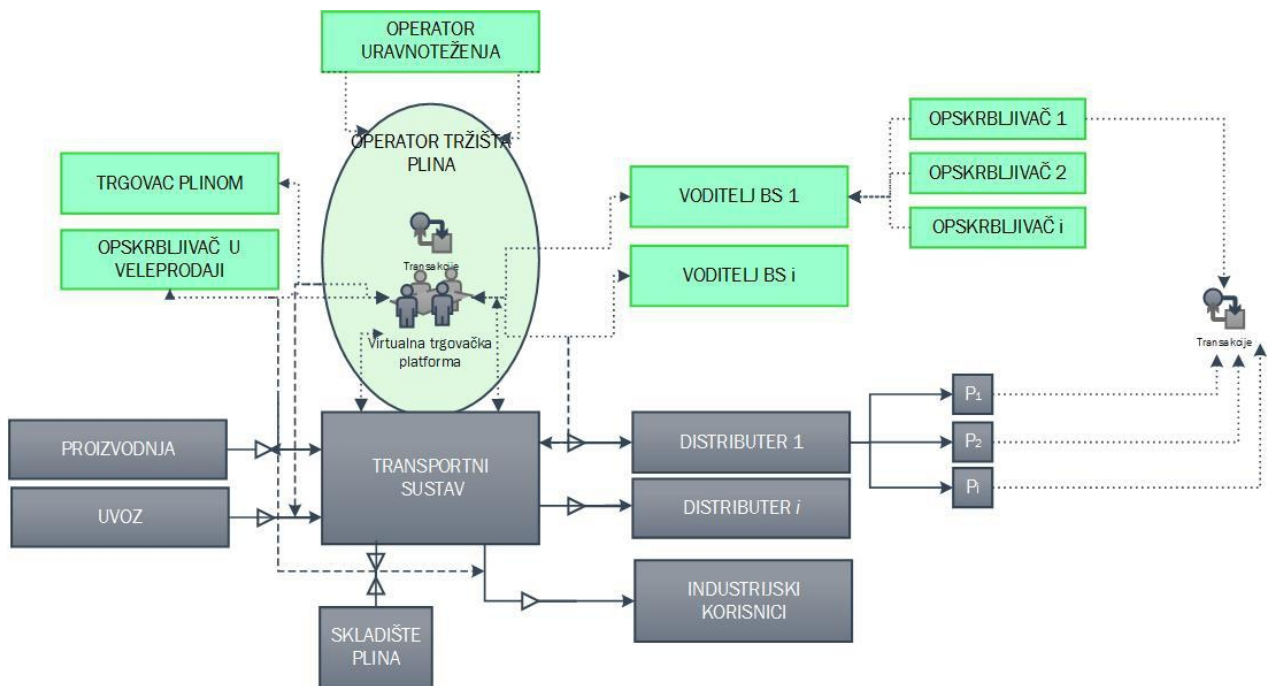
Svrha mapiranja vrijednosnog lanca je [1]:

- Identifikacija prilika za poslovanje u industrijskom sektoru te njegov rast i ekspanziju
- Potpora sudionicima kroz otvaranje komunikacije o procesima i aktivnostima te kako poboljšati ili unaprijediti vrijednosni lanac kroz poslovne politike i zakonodavne okvire
- Osigurati osnovu za detaljnu analizu opskrbnog lanca
- Kroz iterativne postupke razjasniti ponašanje opskrbnog lanca u vremenu što će pomoći izgradnji inteligentne politike, regulacije i dobavnih procesa baziranih na dijeljenom razumijevanju sektora
- Podizanje međusobnog povjerenja među sudionicima dijeljenjem kvalitetnih informacijskih sadržaja koji su relevantni za vođenje cjelokupnog sustava kao i za njegov budući razvoj
- Stvaranje potpore za konzistentne međusektorske analize na razini države i regija uključenih u lanac.

Hrvatski opskrbeni lanac prirodnog plina u visokom je stupnju izgrađenosti i procesno je i funkcionalno uređen na način da može podmiriti većinu potreba odnosno zahtjeva tržišta: velikih industrijskih potrošača, ostalih gospodarskih, javnih i institucionalnih potrošača te kućanstava. Opskrbeni lanac obuhvaća sve tipične sudionike: proizvođače, skladišta, transportere, distributere i krajnje korisnike.

Sudionici i njihovi međusobni odnosi, uključujući informacijsko-komunikacijsku infrastrukturu, procesi i aktivnosti, potporni i regulatorni mehanizmi u aktualnom lancu opskrbe prirodnim plinom u Republici Hrvatskoj rezultat su primjene energetske politike i strategije Europske unije odnosno uredbi koje reguliraju ovo područje kao i usvajanja zakonodavnog okvira u kojem funkcionira opskrbeni lanac prirodnog plina. Među ključnim dokumentima koji reguliraju ovaj opskrbeni lanac u Hrvatskoj su: Zakon o tržištu plina [2], [3], [4], Mrežna pravila plinskog distribucijskog sustava [5], [6], Pravila o organizaciji tržišta plina [7], Mrežna pravila transportnog sustava [8], Pravila korištenja sustava skladišta plina [9].

Navedenom legislativom određuju se i ekonomski okviri u kojem sudionici mogu minimizirati ili u cijelosti otkloniti troškove koji se, kao i u većini opskrbnih lanaca, pojavljuju u vezi s planiranjem, iskorištavanjem i povećanjem kapaciteta te planiranjem zaliha. Sukladno uredbama EU i aktualnom zakonodavnom okviru proizvodno-materijalni tokovi odvojeni su od financijskih transakcija a povezanost informacijskih tokova osim internih tokova svakog pojedinog sudionika riješena je uvođenjem novih informacijskih platformi (slika 2.).



Slika 2. Materijalne i financijske transakcije u opskrbnom lancu plina

Ključna pitanja na koje će se nastojati dobiti odgovor je kako poboljšati procjenu potrošnje i posljedično povećati sposobnost sustava odnosno nekih njegovih dijelova za brzu reakciju na promjene u okruženju. U nastavku će se dati kratki prikaz dosadašnjih istraživanja usmjerenih na rješavanje postavljenih istraživačkih problema i predložiti okvir za njihovo rješavanje.

3. Pregled dosadašnjih istraživanja

3.1. Predviđanja potrošnje prirodnog plina

Za predviđanja potrošnje prirodnog plina, ovisno o vremenskom horizontu na koje se predviđanja odnose, obujma podataka, odnosno sustava za koji se predviđanja odnose korišteni su različiti modeli i metode. U analizi raspoloživih izvora o upotrebi metoda strojne inteligencije suradnici na projektu [10], su uočili da se u predviđanjima potrošnje koriste:

- Neuronske mreže (NN različiti modeli) za predviđanja na satnoj dnevnoj i godišnjoj razini [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18],
- ANFIS (adaptive-neuro-fuzzy inference systems) – hibridni model za predviđanje potrošnje dan unaprijed [19], [20],
- Grey system model – predviđenje na temelju podataka vremenskih serija (posebno onih najnovijih) [21], [22], [23], [24],
- SVM/SVR- support vector machine (SVM) and support vector regression (SVR)- za predviđanje potražnje u kraćim vremenskim razdobljima
- Genetički algoritmi – za kratkoročna predviđanja prirodnog plina [25], [26], [17],
- Matematički i statistički (modeli za predviđanja potrošnje plina za 1 do 5 dana uz korištenje neizvjesnosti u procjeni [27], stohastički Gompertz innovation diffusion

model [28], [29], je predložio nelinearni model s mješovitim efektom (NLME), parametrijski statistički model koji je kasnije uspoređivan s pristupom analize vremenskih serija

- Modeli vremenskih serija – autoregressive integrated moving average (ARIMA) i izvedenice istog modela, u predviđanju sezonalnosti potrošnje prirodnog plina ([20], [13], [15], [29], [30])
- Hibridni modeli – u kojima je korišteno više modela ovisno o obujmu predviđanja.

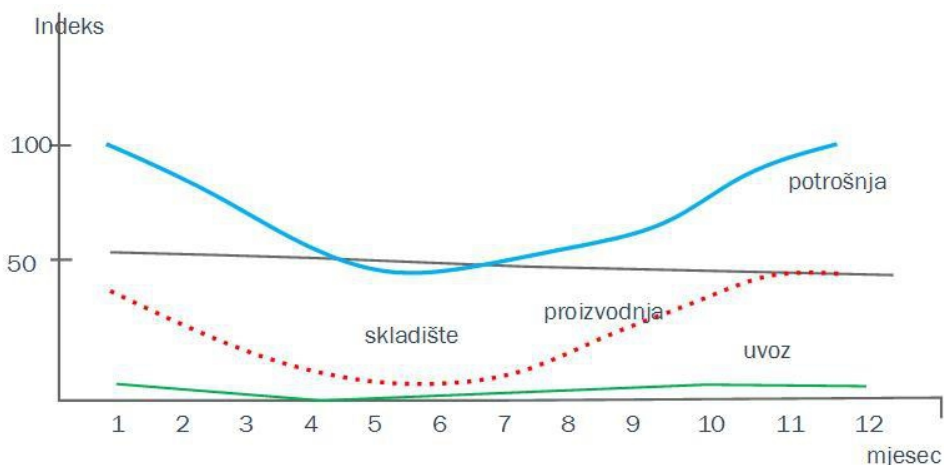
Korištenje spomenutih modela, posebno onih koji imaju brze algoritme i koji su se pokazali dovoljno pouzdanim u predviđanjima potrošnje prirodnog plina u različitim uvjetima može znatno unaprijediti korištenje nominacijskog sustava kojeg koriste voditelji bilančnih skupina.

3.2. Simulacijski modeli u opskrbnom lancu prirodnog plina

Drugi problem koji treba riješiti jest odziv kojim sustav odnosno njegovi dijelovi mogu odgovoriti na predviđene promjene. Takav je tip problema razmatran kroz upotrebu drugačijih modela i metoda u čemu prednjače metode simulacija (diskretnih ili kombinacija diskretnih i kontinuiranih simulacija)

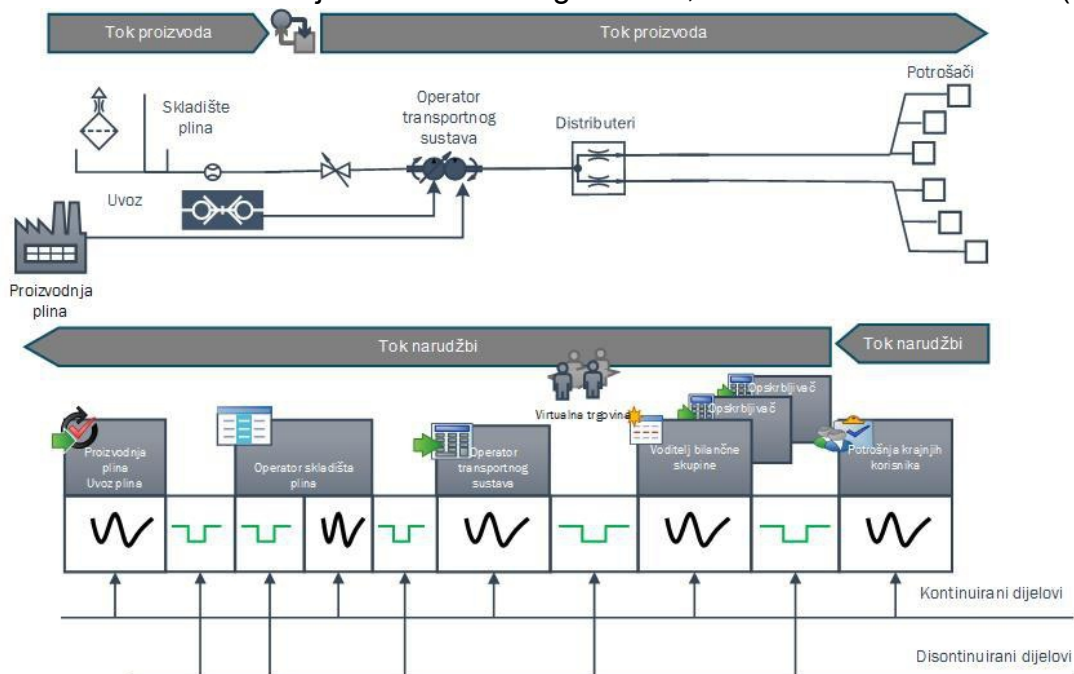
Promjene u opskrbnom lancu plina odnosno u plinskom sustavu inicirane su zahtjevima na tržištu plina koje je izgrađeno na modelu bilančnih skupina. Prema Pravilima o organizaciji tržišta plina svi sudionici na tržištu plina moraju biti organizirani u bilančne „interesna udruženja sudionika na tržištu plina, organizirano na komercijalnoj osnovi, prvenstveno u svrhu uravnoteženja i optimiranja troškova uravnoteženja, za koje je odgovoran voditelj bilančne skupine“ [7]. Transakcije na tržištu plina odvijaju se na trgovinskoj platformi koju organizira operator tržišta plina a nadzire regulatorna energetska agencija. Transakcije su vezane uz isporuke na ulazima i izlazima iz transportnog sustava kojim upravlja operator transportnog sustava. One su inicirane zahtjevima opskrbljivača odnosno trgovaca prirodnim plinom koji opskrbljuju svoje potrošače a zahtjeve isporučuju voditeljima bilančne skupine kojoj pripadaju. Voditelj bilančne skupine uspostavlja preko trgovinske platforme operatora tržišta plina zahtjeve transportnom sustavu za prihvata ili isporuku plina i na taj način oni postaju korisnici transportnog sustava. Obzirom da se transportni sustav na taj način dovodi u stanje dinamičkih neravnoteža, nužno je angažirati dodatne resurse (radne, materijalne, tehničke i financijske) kako bi cjelokupni opskrbeni sustav mogao funkcionirati prema zahtjevima za isporuku dostatnih količina i kvalitete proizvoda isporučenih u zahtijevano vrijeme i na zahtijevanom mjestu prema konačnim potrošačima. Ukoliko je transportni sustav neuravnotežen bilo zbog krivo procijenjenih količina u povlačenju plina ili procijenjenih količina uvedenih u transportni sustav, voditelj bilančne skupine izlaže se riziku penalizacije. Na taj će se način smanjiti ekonomska efikasnost cjelokupne bilančne skupine.

Proizvodnja, stvaranje zaliha potrošnja plina tijekom jednogodišnjeg perioda imaju karakteristike koje su prikazane na slici 2. ²



Slika 2. Tokovi potrošnje, proizvodnje, uvoza i zaliha prirodnog plina u Hrvatskoj

Poznavanje prirode ponašanja sudionika u opskrbnom lancu korisna su za planiranja na taktičkoj i strateškim razinama pojedinih sudionika. Na operativnoj razini, a to je plinski dan odnosno plinski (dvo)sat, tokovi proizvoda i tokovi narudžbi u opskrbnom lancu plina imaju zbog tehnološke osnove na kojoj se izvode s jedne strane i načina funkcioniranja tržišta plina odnosno realizacije narudžbi s druge strane, diskontinuirani karakter. (slika 3)



Slika 3. Tokovi proizvoda i tokovi narudžbi u opskrbnom lancu prirodnog plina (Prilagođeno prema [7])

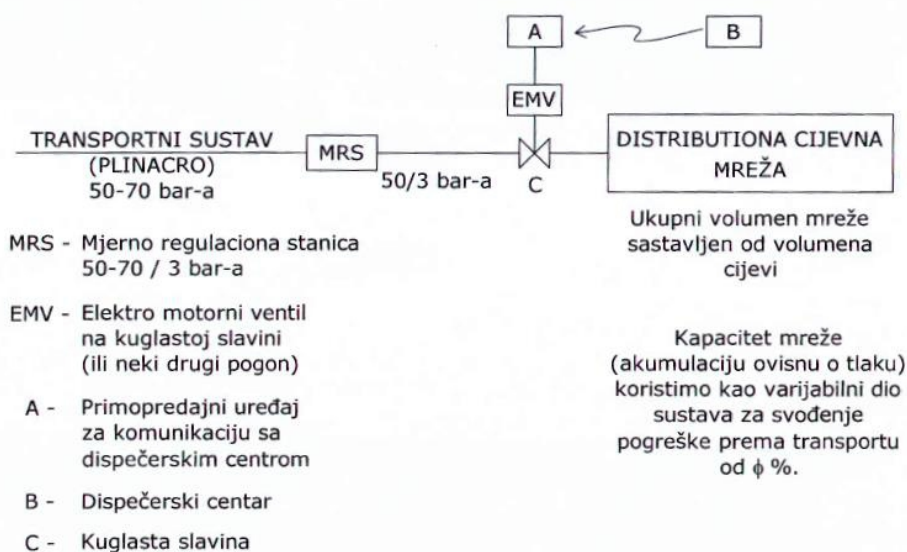
² Krivulje su aproksimativnog karaktera. Izvedene su za proizvodnju, ukupnu potrošnju i uvoz na temelju podataka Plinacra a raspodjela godišnje potrošnje po mjesecima je aproksimacija temeljena na podacima ODS HEP-Plin

Ovakva priroda procesa zahtijevat će u izradi simulacijskih modela kombinaciju diskretnih i kontinuiranih simulacijskih modela. U nastavku se daje kratak prikaz recentnih simulacijskih modela korištenih u opskrbnom lancu plina. [32] daju prikaz ne stacionarne simulacije plinske mreže i naznačuju parametre (tokove, pritisak) koji su nužni za osiguranje sigurnosti u snabdjeveniju prirodnim plinom u plinskom sustavu Rumunjske. [31] sugeriraju arhitekturu opskrbnog lanca koji uključuje jednadžbe kontinuiranog dijela koje se mogu uključiti u diskretni simulacijski model s ciljem otkrivanja poboljšanja. [33]) istraživali su Continuous-Time Discrete-Event (CTDE) simulacijski model za proučavanje ponašanja naftnog i plinskog opskrbnog lanca u svrhu poboljšanja njegovih performansi. [34] su razvili CAD simulacijski model za analizu ponašanja plinovodnog sustava prirodnog plina. Model sadrži svojstva prirodnog plina, energetske bilanciranje i bilanciranje mase na osnovi tehnoloških karakteristika ovog sustava. [35] razvili su online simulacijski model dijela plinovodnog sustava u Japanu za otkrivanje curenja plina. [36] ponudili su simulacijski model distribucijskog plinskog sustava u kojem se uzimaju u obzir sve ključne tehničke varijable koje utječu na karakteristike plinskog toka i koje su relevantne za stabilnost cjelokupnog plinovodnog sustava. [37] ponudili su discrete event simulation model koji omogućava simulaciju plinske mreže s posebnim osvrtom na procjenu vremenskih odnosa kroz različite transportne rute. [38] predložili su simulacijski model za procjenu razvoja distributivne mreže u Brazilu.

4. Okvir za rješavanje istraživačkih problema

Osnovna ideja simulacijskog modela temelji se na uravnoteženju „pool-a“ koji je u ovom slučaju transportni sustav na kojem se rezerviraju kapaciteti za planiranu potrošnju i koji mora biti uravnotežen. Diskretne varijable sustava su rezervacije bilančnih skupina i njihova povlačenja i vraćanja u transportni sustav odnosno uravnoteženja korištenjem plina u i iz skladišta plina. Kako u sustavu postoji vremenski odmak od rezervacija i korištenja plina javljaju se neravnoteže koje proizlaze iz potreba za smanjenjem ili povećanjem nominiranih količina i što rezultira penalizacijom.

Osnovna zamisao napredovanja u području nominiranja je nominiranje s pomoću inteligentne prediktivne analitike (neuronskih mreža) kao što je predloženo u npr. [11] s pogreškom od oko 10%, a konačni rezultat prema transporteru, razina pogreške treba težiti 0 %. Tehničko rješenje kojim bi se usklađenja mogla postići na kontinuiran način sastoji se u korištenju akumulacije distributivnog sustava u kojem postoje rezerve za smanjenja (povećanja) tlaka i u kojima distributivni sustav funkcionira bez pogrešaka. Kako se nominirane količine raspodjeljuju jednako po satnim razdobljima a njihova potrošnja ne slijedi takav tok, na ulazu u distributivni sustav postavila bi se elektromotorna kuglasta slavina koja je informatički upravljana na način da se postavlja položaj kuglastog ventila u položaj predviđenih satnih vrijednosti u okviru nominiranih vrijednosti čime bi se pogreška nominacija svela na minimum odnosno bila 0 % (vidi Sliku 4). U projektu će se uz ostalo predložiti simulacijski model u kojem će biti uvedene sve relevantne varijable predviđenog sustava te opcionalno trošak uvođenja i operacionalni troškovi njegova funkcioniranja.



Slika 4. Tehničko rješenje za pravodobna iskorištenja nominiranih količina plina

5. Zaključna razmatranja

Opskrbni lanac prirodnog plina Republike Hrvatske je kompleksni tehnološko-ekonomski sustav koji zbog zahtjeva tržišta mora osigurati kontinuitet, sigurnost i pouzdanost isporuke proizvoda uz postizanje prihvatljive razine ekonomske efektivnosti. Hrvatski opskrbeni lanac prirodnog plina je cjelovit u smislu postojanja svih sudionika u lancu (proizvođača, skladišta, transporta, distribucije, potrošnje) i kao takav je kompleksni tehnološki sustav. Prihvaćanjem pravila određenih u Europskim direktivama i inkorporirajući ih u cjelokupni opskrbeni lanac prirodnog plina Republike Hrvatske u njemu se pojavljuju novi sudionici vezani uz tržište plina. Takav opskrbeni lanac kreira kompletni lanac novostvorenih vrijednosti za čije je razumijevanje potrebno izvršiti njegovu dekompoziciju na logičke faze, procese, aktivnosti i proizvode, sudionike i njihove uloge te potporne usluge i mehanizme. U opskrbnom lancu prirodnog plina, koji funkcionira na temelju dobro utvrđenih pravila kao ključni problem javlja se sposobnost pojedinih sudionika za što kvalitetnije prognoziranje kratkoročne potražnje čime će se narudžbe za njihovo ispunjenje izvršiti na najbolji mogući način ne dovodeći plinski sustav u neravnoteže. Zbog nužnosti uravnoteženja plinskog sustava naručitelji će biti penalizirani, što će umanjiti njihovu poslovnu efektivnost. Zbog navedenog je razloga u okviru projekta MERIDA izvršeno istraživanje prognostičkih metoda temeljem kojih se dobivaju najmanje pogreške u prognoziranju i za koje postoje algoritmi odnosno izgrađeni računalni sustavi (metode inteligentne prediktivne analitike) na kojima se te prognoze mogu efikasno izvesti.

Za operativnu ali i razvojnu efikasnost cjelokupnog sustava potrebno je poznavati i unapređivati dinamiku sustava na taj način da se na temelju povijesnih podataka o ponašanju sustava uz dobro definirane skupove varijabli, parametara i ograničenja) i uvođenjem „što ako“ uvjeta u simulacijskim modelima sustava (ili njegovih dijelova) istraže i predlože efikasnija rješenja. Kako je to drugi cilj projekta vezan uz opskrbeni lanac plina, njemu će se posvetiti posebna pažnja u oblikovanju simulacijskih modela.

Zahvala:

Ovaj rad je financiran od strane Hrvatske zaklade za znanost u okviru projekta IP-2016-06-8350 "Metodološki okvir za učinkovito upravljanje energijom s pomoću inteligentne podatkovne analitike" (MERIDA).

6. Literatura

- [1] Economic Development Bord – South Australia, Using value chain mapping to build comparative advantage, Government of South Australia, Adelaide, 2015.
- [2] Narodne Novine – Službeni list Republike Hrvatske, 28/13 prema http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_03_28_472.html (10.07.2017.)
- [3] Narodne Novine – Službeni list Republike Hrvatske, 14/14 prema http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_02_14_299.html (10.07.2017.)
- [4] Narodne Novine – Službeni list Republike Hrvatske, 16/17 prema http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_02_16_367.html (10.07.2017.)
- [5] Narodne Novine – Službeni list Republike Hrvatske, 155/14 prema http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_12_155_2932.html (10.07.2017.)
- [6] Narodne Novine – Službeni list Republike Hrvatske, 43/17 prema http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_05_43_992.html (10.07.2017.)
- [7] HROTE Hrvatski operater tržišta energije (2017). *Pravila o organizaciji tržišta plina* prema http://files.hrote.hr/files/PDF/SOOTP/2017/20170310/Pravila_o_organizaciji_trzista_plina_HROTE_3_2017.pdf (10.07.2017.)
- [8] PLINACRO(2017). *Mrežna pravila transportnog sustava prema* <http://www.plinacro.hr/UserDocsImages/dokumenti/MPTS-03-2017.pdf> (10.07.2017.)
- [9] Podzemno skladište plina(2017). *Pravila korištenja sustava skladišta plina*, prema <http://www.psp.hr/UserDocsImages/Skladistenje/4.%20izdanje%20Pravila%20kori%C5%A1tenja%20sustava%20skladi%C5%A1ta%20plina%20UPR087-2017.pdf> (10.07.2017.)
- [10] Šebalj, D., Mesarić, J., Dujak, D. (2017). Predicting Natural Gas Consumption – A Literature Review, Central European Conference on Information and Intelligent Systems (CECIIS), 27-29.9.2017., Varaždin – Rad u postupku objavljivanja
- [11] Tonković, Z., Zekić Sušac, M., & Somolanji, M. (2009). Predicting natural gas consumption by neural networks. *Technical Gazette*, 16(3), 51-61.
- [12] Kaynar, O., Yilmaz, I., & Demirkoparan, F. (2011). Forecasting of natural gas consumption with neural network and neuro fuzzy system. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 26(2), 221-238.
- [13] Demirel, O., Zaim, S., Caliskan, A., & Ozuyar, P. (2012). Forecasting natural gas consumption in Istanbul using neural networks and multivariate time series methods. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 20(5), 695-711.
- [14] Olgun, M., Ozdemir, G., & Aydemir, E. (2012). Forecasting of Turkey's natural gas demand using artificial neural networks and support vector machines. *Energy, Education, Science and Technology*, 30(1), 15-20.

- [15] Taspinar, F., Celebi, N., & Tutkun, N. (2013). Forecasting of daily natural gas consumption on regional basis in Turkey using various computational methods. *Energy and Buildings*, 56, 23-31.
- [16] Soldo, B., Potočnik, P., Šimunović, G., Šarić, T., & Govekar, E. (2014). Improving the residential natural gas consumption forecasting models by using solar radiation. *Energy and Buildings*, 69, 498-506.
- [17] Izadyar, N., Ong, H., Shamshirband, S., Ghadamian, H., & Tong, C. (2015). Intelligent forecasting of residential heating demand for the District Heating System based on the monthly overall natural gas consumption. *Energy and Buildings*, 104(1), 208-214.
- [18] Szoplik, J. (2015). Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks. *Energy*, 85(1), 208-220.
- [19] Azadeh, A., Asadzadeh, S., & Ghanbari, A. (2010). An adaptive network-based fuzzy inference system for short-term natural gas demand estimation: Uncertain and complex environments. *Energy Policy*, 38(3), 1529-1536.
- [20] Kaynar, O., Yilmaz, I., & Demirkoparan, F. (2011). Forecasting of natural gas consumption with neural network and neuro fuzzy system. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 26(2), 221-238.
- [21] Ma, Y., & Li, Y. (2010). Analysis of the supply-demand status of China's natural gas to 2020. *Petroleum Science*, 7(1), 132-135.
- [22] Boran, F. (2015). Forecasting Natural Gas Consumption in Turkey Using Grey Prediction. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(2), 208-213.
- [23] Wu, L., Liu, S., Chen, H., & Zhang, N. (2015). Using a Novel Grey System Model to Forecast Natural Gas Consumption in China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 1-7.
- [24] Zeng, B., & Li, C. (2016). Forecasting the natural gas demand in China using a self-adapting intelligent grey model. *Energy*, 112(1), 810-825.
- [25] Aras, N. (2008). Forecasting Residential Consumption of Natural Gas Using Genetic Algorithms. *Energy Exploration & Exploitation*, 26(4), 241-266.
- [26] Forouzanfar, M., Doustmohammadi, A., Menhaj, M., & Hasanzadeh, S. (2010). Modeling and estimation of the natural gas consumption for residential and commercial sectors in Iran. *Applied Energy*, 87(1), 268-274.
- [27] Gil, S., & Deferrari, J. (2004). Generalized Model of Prediction of Natural Gas Consumption. *Journal of Energy Resources Technology*, 126(2), 90-98.
- [28] Potočnik, P., Thaler, M., Govekar, E., Grabec, I., & Poredoš, A. (2007). Forecasting risks of natural gas consumption in Slovenia. *Energy Policy*, 35(8), 4271-4282.
- [29] Brabec, M., Konar, O., Pelikan, E., & Maly, M. (2008). A nonlinear mixed effects model for the prediction of natural gas consumption by individual customers. *International Journal of Forecasting*, 24(4), 659-678.
- [30] Akpınar, M., & Yumusak, N. (2016). Year Ahead Demand Forecast of City Natural Gas Using Seasonal Time Series Methods. *Energies*, 9(9), 727.

- [31] Lee, Y.H., Cho, M.K., Kim, S.J., Kim, Y.B.: Supply chain simulation with discrete-continuous combined modelling, *Computers and Industrial Engineering* 43 (2002) 375-392
- [32] Eparu, C., Radulescu, R., Stoica, D., The dynamic simulation of the natural gas transportation, *Ovidius University Annals of Chemistry*, Volume 24, Number 2, pp.83 - 97, 2013
- [33] Kbah, Z. Erdil, N.O., Aqlan, F.: Analysis of Oil and Gas Supply Chain Using Continuous-Time Discrete-Event Simulation, *Proceedings of the 2016 Industrial and Systems Engineering Research Conference*, H. Yang, Z. Kong, and MD Sarder, eds.
- [34] Nimmanonda, P., Uraikul, V., Chan, C.W., Tontiwachwuthikul, P.: Computer-Aided Simulation Model for Natural Gas Pipeline Network System Operations, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2004, 43, 990-1002.
- [35] Fukushima, K., Maeshima, R., Kinoshita, A., Shiraishi, H., Koshijima, I.: Gas pipeline leak detection system using the online simulation method, *Computers and Chemical Engineering* 24 (2000) 453-456.
- [36] Herran-Gonzalez, J.M., De La Cruz, B., De Andres-Toro, J.L., Risco-Martín, J.L.: Modeling and simulation of a gas distribution pipeline network, *Applied Mathematical Modelling* 33 (2009) 1584–1600.
- [37] Spricigo, D., Baldissera de Borba, C., Lüders, R.: modeling and simulation of transportation time in a real-world pipeline network, *XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento*, p. 1192-1201.
- [38] Vasconcelos, C.D., Lourenço S.R., Carlos Gracias A., Alves Cassiano D.: Network flows modeling applied to the natural gas pipeline in Brazil, *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 14 (2013) 211-224

Elektrofuzijsko spajanje cijevi za transport plina izrađenih od polimernih materijala

Electrofusion joining of pipes for gas transport made of polymer materials

V. Starčević^{1,*}, I. Baričić^{2,*}, A. Rebronja^{1,*}, I. Samardžić¹

¹ Strojarški fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

² Brod Plin d.o.o., Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju: e-mail: vstarcevic@sfsb.hr

Sažetak:

Na tržištu danas dostupno je desetak karakterističnih i posebnih procesa zavarivanja polimernih materijala, od kojih su neki (poput elektrofuzijskog zavarivanja) u primjeni veći broj godina. Elektrofuzijski proces zavarivanja predstavlja jedinstven, lak i u potpunosti automatiziran proces spajanja PEHD cijevi u terenskim uvjetima, ali i u uvjetima kada primjena sučeonog zavarivanja PEHD cijevi nije izvodiva (spajanje koljena, T – komada, ventila i regulacijske opreme). U radu je opisan način pripreme i spajanja PEHD cijevi elektrofuzijskim postupkom zavarivanja, te dan primjer i opis reparacije oštećenog dijelaplinovoda. Pravilno izveden, zavareni spoj na cijevi jednako je čvrst kao i originalna cijev i sposoban je izdržati sva opterećenja nastala tijekom rutinske instalacije i eksploatacije.

Ključne riječi: Elektrofuzijsko zavarivanje, PEHD cijevi, plinovod, priprema cijevi, kontrola kvalitete

Abstract:

Today, more than ten characteristic and special polymer material joining processes are available on the market, some of them (such as electrofusion welding) have been in use a number of years. Electrofusion welding process is a simple, easy and fully automatized process of joining PEHD pipes in field conditions, but also in circumstances where joining of PEHD pipes is not practicable with butt fusion (such as adding knees, tees, valves and regulation equipment). The paper describes the preparation and joining of PEHD pipes with electrofusion welding, also example and description of the repair of the damaged gas pipeline is given. When is properly made, resulting pipe joint is as strong as the original pipe and able to withstand all the loads applied during routine installation and exploitation.

Key words: Electrofusion welding, PEHD pipes, gas pipeline, pipe preparation, Quality control

1. Uvod

Od trenutka svog otkrića početkom 30 – ih godina 20.stoljeća, uz polipropilen (PP), polietilen (PE) se ubraja u najpoznatije i najčešće primjenjivane plastomerne mase. Brojne mogućnosti koje pruža ova plastična masa prikazane su raznolikošću područja u kojima ostvaruje primjenu i uporabu. [1]

Nekoliko godina od otkrića prvotna primjenu PE je ostvarivao kao zamjena za gumu prilikom izrade električne izolacije i oblaganje telefonskih kablova, a strateško značenje dobiva tijekom II. svjetskog rata u izradi radarskih komponenti, te postaje jedna od najprimjenjenijih plastičnih masa. PE kao materijal za izradu cijevi počeo se primjenjivati u sjevernoj Americi od sredine 1950. – ih za potrebe industrije, opskrbu ruralnih naselja pitkom vodom te transport nafte od bušotine do rafinerije, drugim riječima, gdje god je bilo potreban fleksibilan i čvrst cjevovod male težine kako bi se ispunili svi svi zahtjevi rapidno rastuće naftne industrije. Potaknute uspjehom koje su ostvarile u naftnoj industriji, PE cijevi počele su se primjenjivati u distribuciji prirodnog plina, gdje je bio potreban savitljivi dugoročan materijal, otporan na koroziju koji će se moći na terenu spajati te koji će osigurati siguran transport od dobavljača do korisnika bez popuštanja.

Suvremene PE mase koje se danas primjenjuju dodatno su modificirane i razvijene za kompleksniju namjenu poput srednjetačnih i niskotlačnih sustava za distribuciju plina, kanalizacije, opskrbu pitkom vodom, rezervoara za naftu, podnog grijanja, spremnika za gorivo kod automobila i sl. i sve više istiskuju metale poput čelika iz primjene. Trend primjene PE materijala za izradu kritičnih infrastruktura danas raste velikom brzinom, i prema predviđanjima stručnjaka, do kraja desetljeća preko 90 % svih cjevovoda za distribuciju pitke vode i plina biti izrađeno od PE. [1]

2. Ponašanje plastomera pri zagrijavanju i zavarivanju

Plastomeri poput PE i PP najčešće su korišteni materijali u izradi cjevovoda karakterizira vrlo dobra zavarljivost, koja je u korelaciji sa strukturom i molekulskom masom. Plastomeri su plastične mase koje prilikom naknadnog zagrijavanja do određene temperature reverzibilno omekšavaju. Kada se prevedu u omekšalo i ohlađeno stanje, ponovnim zagrijavanjem termoplast se dovodi u tjestasto stanje preko kojeg se dobiva konačni oblik. U pravilu, isključivo plastomeri iste vrste se međusobno mogu zavarivati, a razlog tome su različiti parametri taljenja i viskoznosti. [2]

Osobine plastičnih masa ne omogućavaju spajanje – zavarivanje konvencionalnim procesima topljenja, stoga procesi zavarivanja plastičnih masa istovjetni su procesima zavarivanja metala pritiskom, a način dovođenja materijala u zagrijano stanje prilagođeni su karakteristikama plastične mase koja se želi zavariti. [2,3]

Procesi zavarivanja plastičnih masa definirani su normom DIN 1910 – 3 i međusobno se razlikuju prema načinu dovođenja topline i zagrijavanja materijala koji se zavaruje. Trenutno, na tržištu je dostupno desetak različitih procesa za spajanje plastičnih masa, dok su za spajanje PE cijevi za distribuciju pitke vode i prirodnog plina dominantni procesi sučeonog i elektrofuzijskog zavarivanja.

2.1. Elektrofuzijski proces zavarivanja

Elektrofuzijski proces zavarivanja (eng. *Electrofusion Welding – Welding*) sučeonog zavarivanja cijevi prilikom zavarivanja cjevovoda. Modifikacija se prvenstveno odnosi na fitinge i spojnice koje svojim konstrukcijskim karakteristikama osiguravaju veliku brzinu i sigurnost spajanja, ugradnja novih elemenata i priključaka i sl., a prilagođene su i za eventualne reparacije na pojedinim segmentima cjevovoda.

Elektrofuzijskim procesom dva kraja cijevi međusobno se spajaju pomoću dodatnog elementa, a energija potrebna za dovođenje materijala cijevi u stanje pogodno za spajanje dovodi se izvana. Naime, spojni elementi sadrže elektrootpornu žicu i protokom struje kroz elektrootpornu žicu dolazi do njenog zagrijavanja a time do taljenja materijala s unutrašnje površine spojnog elementa i sa vanjske površine cijevi, a na spojnim površinama nastaje tlak, što rezultira fuzijom materijala cijevi i spojnog elementa. [4]

3. Elektrofuzijsko zavarivanje polietilenskih cijevi

Prije same pripreme za zavarivanje potrebno je napraviti provjeru radnih uvjeta što uključuje pripremu i kontrolu opreme za zavarivanje koja će se koristiti (stroj za zavarivanje, strujni agregat, strugače, stege, noževе i kliješta te sredstva za čišćenje i odmaščivanje površine cijevi). Također, mjesto zavarivanja potrebno je osigurati da bude suho i po mogućnosti natkriveno (u slučaju atmosferskih oborina). Nakon što su provedeni i osigurani adekvatni radni uvjeti, može se započeti sa pripremanjima za zavarivanje. Kao i kod ostalih procesa zavarivanja, kvaliteta zavarenog spoja biti će funkcija načina pripreme i rukovanja strojevima i popratnom opremom, poštivanjem propisane tehnologije zavarivanja te pravilne selekcije parametara zavarivanja. [4]

Prilikom postavljanja spojnog elementa na krajeve na odstranjene dijelove cjevovoda krajevi cijevi moraju biti međusobno paralelni (odrezani pod kutom od 90°) i ujednačeni (slika 1). Krajevi cijevi mogu se odrezivati primjenom različitih alata (pila za drvo i stege, motorna pila za cijevi većeg promjera, noževi, kliješta i rezače cijevi i sl.), no preporuča se primjena rotacijskog noža kako bi se vrijednosti kružnosti cijevi zadržale u vrijednosti propisanih tolerancija [1].

U slučaju da rez nije ravan (i cijev nije umetnuta do kraja), elektrootporna žica unutar spojnice može ostati nepokrivena, što u konačnici može rezultirati kratkim spojem, predgrijavanjem, nekontroliranim taljenjem, pa čak i iznenadnim zapaljenjem. Ukoliko se područje zavarenog spoja nalazi izvan definiranih vrijednosti tolerancija, potrebno je provesti odgovarajuće korake koji će osigurati (slika 2) povratak cijevi i spojnog elementa unutar tolerancijskog područja. [3]

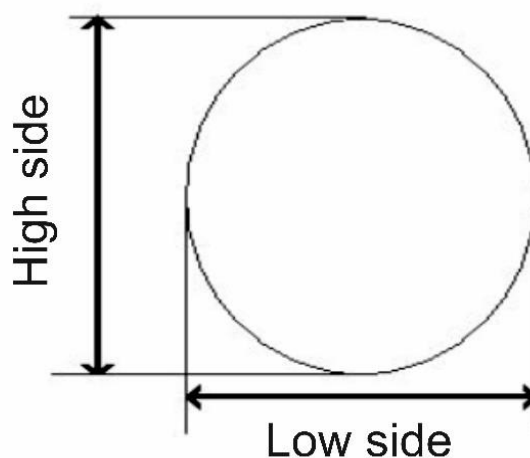


Slika 1. Odrezivanje cijevi pod kutom od 90° pomoću škara [4]

Ukoliko se područje zavarenog spoja nalazi izvan definiranih vrijednosti tolerancija, potrebno je provesti odgovarajuće korake koji će osigurati (slika 2) povratak cijevi i spojnog elementa unutar tolerancijskog područja.



a)



b)

Slika 2. Provjera vrijednosti tolerancija ovalnosti cijevi nakon odrezivanja [3]

Sa površine i krajeva cijevi koji će se zavarivati potrebno je ukloniti blato, zemlju i razne nečistoće. Čista voda može se primjenjivati za početno čišćenje površine, a zatim se grubom tkaninom uklanjaju ostaci nečistoća sa površine u dužini dvostruko većoj od ukupne dužine spojnog elementa. Nakon što je površina očišćena od prljavštine provodi se odmašćivanje mjesta zavarivanja (slika 3.).

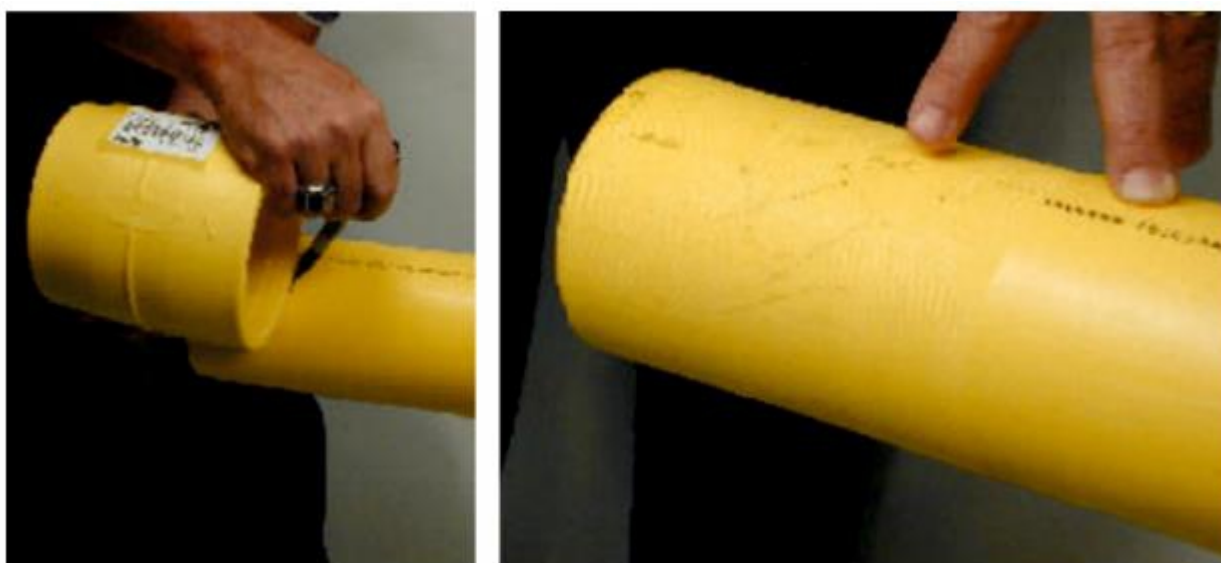


Odmaščivanje površine cijevi i spojnog elementa (osim u slučaju kada se direktno vadi iz zaštitne vrećice) provodi se najčešće jednokratnim maramicama koje su tretirane lako hlapljivim industrijskom alkoholom (najčešće toluenom, u min. koncentraciji od 70 %). Važno je napomenuti da se prije slijedećeg koraka u spajanju cijevi svo sredstvo za čišćenje mora ishlapiti sa površine. [3,4]



Slika 3. Čišćenje i odmaščivanje krajeva cijevi [3]

U slijedećem koraku potrebno je odrediti i označiti dužinu cijevi koja je potrebna kako bi se omogućilo potpuno spajanje unutarnje cijevi pomoću spojnih elemenata. Nakon što je izmjerena dubina umetanja spojnice potrebno je dodati 20 – 25 mm izmjerenoj duljini i označiti na cijevi. Na ovaj način moći će se izvršiti struganje i provjera. Označavanje na vanjskoj površini vrši se uglavnom markerima čiji trag služi kao vizualno pomagalo prilikom određivanje površine sa koje je potrebno ukloniti oksidni sloj (slika 4.)

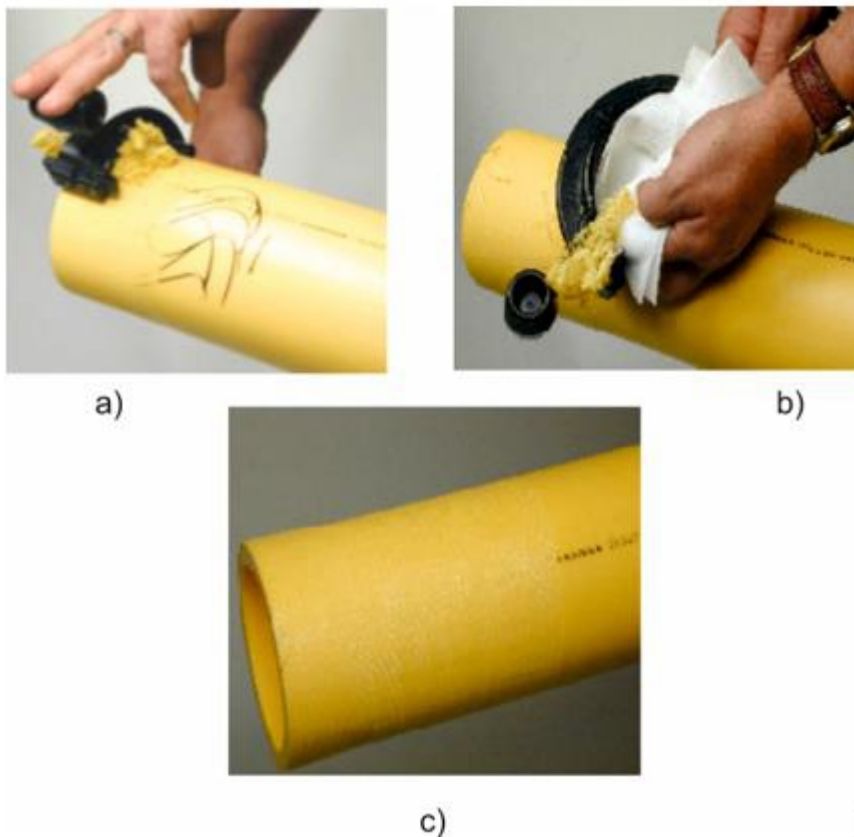


Slika 4. Markiranje površine cijevi na koje će biti instalirana spojnica [3]



Primjenom posebnog rotacijskog noža sa površine cijevi precizno se uklanja zaštitni sloj (minimalno 0,2 mm debljine) na mjestu zavarivanja spojnog elementa, sve dok se ne pojavi unutarnja cijev (slika 5.) na koji će se centrirati i fiksirati spojni nastavak.

Vanjska zaštitna cijev sastoji se od posebnog sloja maksimalne debljine 3 mm koji nije pričvršćen uz unutarnju cijev, a štiti unutrašnju cijev od ogrebotina, habanja i raznih oštećenja od trenutka proizvodnje pa sve do transporta na gradilište i proteže se na cijeli tehnički vijek cijevi. Prije zavarivanja potrebno je skinuti zaštitni sloj i osloboditi unutrašnju cijev koja ima odgovarajuće dimenzije za zavarivanje s spojnim elementom.



Slika 5. Uklanjanje oksidnog sloja s površine cijevi [3]

Kako je već navedeno, minimalna debljina zaštitnog oksidnog sloja koja se uklanja s površine cijevi iznosi 0,2 mm, dok se maksimalne vrijednosti debljine strugotine definiraju na temelju promjera cijevi koje se spajaju EF procesom. Potrebno je napomenuti da se struganje oksidnog sloja izvodi isključivo rotacijskim nožem, dok se primjena brusilice i sličnog alata ne preporučava zbog neujednačenog uklanjanja oksidnog sloja s površine. Nakon uklanjanja oksidnog sloja s površine cijevi još jednom je potrebno prijeći maramicom po dijelu cijevi koji će biti u kontaktu sa spojnim elementom kako bi se odstranili ostaci stugotine i nečistoća.

Svaki kontakt kože i očišćene površine potrebno je strogo izbjegavati iz razloga što masnoća i ostale kontaminacije koje se nalaze na rukama mogu negativno utjecati na kvalitetu zavarenog spoja. U slijedećem koraku spojni element i cijev se spajaju.

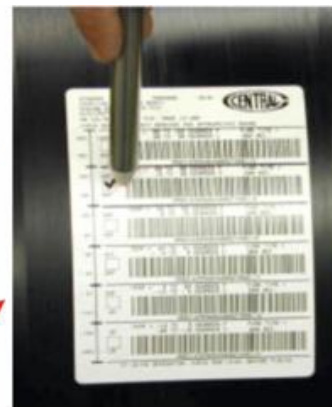


Pripremljena površina cijevi umeće se u spojnicu sve do graničnika, a zatim se vrši stezanje. Stezanje cijevi i spojnog elementa izvodi se primjenom stega (slika 6.). Osim centriranja, stega ima funkciju eliminiranja ovalnosti i držanja spoja stegnutim tijekom cijelog procesa zavarivanja i hlađenja. Spojnice čiji je promjer manji od 63 mm ne zahtijevaju primjenu stega. Vijke na sedlu potrebno je zatezati sve dok reper ne bude u istoj ravnini kao i nosači vijaka.



Slika 6. Cijev i spojni element [3]

Stezanje cijevi i spojnog elementa izvodi se primjenom stega. Osim centriranja, stega ima funkciju eliminiranja ovalnosti i držanja spoja stegnutim tijekom cijelog procesa zavarivanja i hlađenja. Spojnice čiji je promjer manji od 63 mm ne zahtijevaju primjenu stega. Nakon što je provedena kompletna priprema, spojni element se spaja na elektrofuzijsku kontrolnu jedinicu. [4]



Slika 7. Priklučivanje spojnog elementa na elektrofuzijsku kontrolnu jedinicu [3]

U slijedećem koraku elektrofuzijska kontrolna jedinica priključuje se na odgovarajući izvor struje i pali se. Podaci o elementu nalaze se u obliku bar koda na svakom spojnom elementu, a u kontrolnu jedinicu unose se primjenom laserskog bar kod čitača (slika 7). Očitane vrijednosti uspoređuju se sa realnim vrijednostima spojnog elementa na mjestu spajanja. Ukoliko se podaci podudaraju (nalaze se unutar dozvoljenih vrijednosti tolerancija) kontrolna jedinica pokreće proces zavarivanja, a ukoliko se podaci ne podudaraju, proces zavarivanja ne će kreniti.

Kontrolna jedinica regulira i vodi cjelokupni proces zavarivanja: mjeri vanjsku temperaturu i jakost struje napajanja te na temelju tih podataka definira trajanje vremena zavarivanja i hlađenja. Svi podaci i događanja vezana uz zavarivanje pohranjuju se na 2 mjesta, te također, vrši se ispis podataka (tkz. zapisnik zavarivanja). Nakon što je zavarivanje izvedeno, kontrolna jedinica se uklanja a zavareni spoj se hladi. Preporuka proizvođača je da se zavareni spoj ostavi stegnut i da se polagano hladi na radnoj temperaturi okoliša. [4]

4. Kontrola kvalitete zavarenog spoja

Cjevovod je čvrst koliko i njegov najslabiji spoj. Kvaliteta zavarenih spojeva kod poluautomatiziranih i automatiziranih procesa zavarivanja ovisiti će o pravilnom izboru tehnologije i parametara zavarivanja, tehnologije zavarivanja, rukovanja strojevima i opremom za zavarivanje, uputa proizvođača i sl. Kada je riječ o zavarivanju polietilenskih cijevi, oprema i postupci za ispitivanje polietilenskih zavarenih spojeva bitno se ne razlikuje od opreme i metoda za ispitivanje metalnih zavarenih spojeva. Primjenjuju se, dakle, metode ispitivanja bez razaranja (eng. NDT) i s razaranjem (eng. DT).

Od ispitivanja bez razaranja uglavnom se primjenjuje vizualna kontrola indikatora taline koji se nalaze u spojnom elementu te spajanje cjevovoda na radni tlak i provjera nepropusnosti pomoću sapunice. Ispitivanje s razaranjem uglavno obuhvaćaju ispitivanja zatezanjem i savijanjem koja se paralelno provode na osnovnom materijalu i na zavarenom spoju tog materijala. [3,4]

5. Oštećenje i detekcija oštećenja

Primjer jednog detektiranog i saniranog oštećenja lokalnih plinovodnih instalacija u Velikoj Kopanici (ul. Lađanik br. 10) prikazana je na slikama 8 a) i b). Prilikom iskapanja rovova za polaganje vodovoda, radnik na bageru ošteti je cijev plinovoda na dva mjesta, što je rezultiralo prekidanjem kućnog priključka za vlasnika kuće na navedenoj lokaciji.

Na temelju dojave o curenju plina, provedena je vizualna kontrola trase i kontrola indikatorom plina (iskopano okno, elementi oštećenog plinovoda te područja uz instalacije u blizini kojih se nalazi plinovod.).

Pošto se lokaciju oštećenog dijela plinovoda mogla detektirati vizualnim pregledom, odmah se pristupilo sanaciji nastalog kvara. Zbog otežanog pristupa instalaciji i uskog prostora za izvođenje reparaturnih radova odabrano je elektrofuzijsko zavarivanje.



Slika 8. Mehanička oštećenja cijevi za distribuciju plina

Nakon što su provedene pripreme i ostvareni preduvjeti opisani u prošli poglavljima pristupilo se elektrofuzijskom zavarivanju, kao što je prikazano na slici 9.



Slika 9. Elektrofuzijsko zavarivanje oštećene cijevi pri rekonstrukciji plinovoda

U relativno kratkom vremenu od prijave kvara (manje od 2 sata) kvar na plinskoj instalaciji u potpunosti je saniran, korisnik priključka ponovno je priključen na dovod plina a radovi na



obnovi vodovoda su nastavljeni. Na slici 10. dan je prikaz zavarenog spoja na drugom repariranom dijelu plinovoda koji je zavaren elektrofuzijskim postupkom. Zavareni spoj na cijevi jednako je čvrst kao i originalna cijev i sposoban je izdržati sva opterećenja nastala tijekom rutinske instalacije i eksploatacije.



Slika 10. Reparirani dio plinovoda

6. Zaključak

Među različitim materijalima koji su trenutno zastupljeni na tržištu posebno se ističe polietilen, koji se usprkos relativno kratkoj primjeni pokazao kao materijal pogodan za različitu industrijsku primjenu. Trend primjene PE cijevi svakodnevno raste i postupno sve više istiskuje čelične cjevode iz primjene, a među najodgovornije i najznačajnije zadatke prilikom gradnje PE cjevovoda smatra se učinkovito, brzo i pouzdano spajanje svih njegovih dijelova, čime se pred projektante, izvođače radova i distributere plina postavljaju posebni zahtjevi tijekom gradnje, ispitivanja i održavanja sustava. Trenutno na tržištu je dostupno oko 10 ak različitih metoda spajanja plastičnih masa, a među dominantne metode za spajanje PE cijevi ubrajaju se sučeoni i elektrofuzijski proces zavarivanja.

Elektrofuzijski proces predstavlja visokoučinkovit proces spajanja cijevi, armature i fazonskih komada izrađenih od plastomernih masa (PP ili PE). Jednostavnost primjene, preciznost, mogućnost primjene na uskim i teško dostupnim terenima, te čvrst i nepropusan zavareni spoj čija su mehanička svojstva i radni vijek gotovo istovjetna prvotnom spoju samo su neke od prednosti koje pruža ovaj inovativni proces zavarivanja.

7. Literatura

- [1] The Plastic Pipe Institute. Handbook of polyethylene pipe, 1st edition. Irving / Texas: The Plastic Pipe Institute, 2006. (ISBN 978 – 0977613106)
- [2] Ilić, Vera; Antić, Milica. Zavarivanje plastičnih masa, I deo // Zavarivanje i zavarene konstrukcije, 3 (2007), 111. – 118. (ISSN 0354 – 7965)
- [3] http://www.centralplastics.com/content/dam/gfps_country_US/Content/gfcp_assets/downloads/products/technical/EF%20Installation%20Booklet.pdf
- [4] <http://www.ptmg.hr/media/radovi/zavarivanje-elektrofuzijsko.pdf>

Below-grade natural gas distribution station design for an urban location

N. Boskovic^{1,*}, A. Loge¹, R. Gomez^{1,*}, J. MacLennan^{2,*}, R. Dawes²

¹FortisBC Energy Inc., Surrey, BC, Canada

² Spartan Controls Ltd., Burnaby, BC, Canada)

* Corresponding author. E-mail: niko.boskovic@fortisbc.com; randy.gomez@fortisbc.com; maclennan.julie@spartancontrols.com

Abstract

FortisBC Energy Inc. operates a natural gas distribution system in British Columbia, Canada. A large portion of this system is located in densely populated urban areas. As a result of regular internal review of existing assets, pressure regulation stations within the system can become a candidate for upgrade or replacement. This paper presents the design challenges, solutions, design process and outcomes of a recently completed urban distribution station replacement project for a below-grade station. While not all aspects of this project were typical, it is representative of the efforts required and the techniques employed for addressing issues and successfully completing the project..

Keywords: Natural Gas Station, Urban, Pressure Control Regulation, Design Optimization, HAZOP

1. Introduction

FortisBC Energy Inc. (hereafter referred to as 'FortisBC') is a natural gas and electricity utility company operating in the province of British Columbia, Canada, wholly owned by Fortis Inc. FortisBC delivers electricity, natural gas and propane to a combined total of approximately 1.1 million customers and owns and operates approximately 48,200 kilometers of natural gas transmission and distribution pipelines. About 60% of FortisBC gas customer base is in the Greater Vancouver area and Vancouver Island. FortisBC has several distribution stations located in major urban areas, many of which have been in place for several decades. In some cases, due to development in these areas over the years, stations flows are reaching their capacity, triggering a need to upgrade. Additionally, station designs have evolved considerably and these existing stations no longer meet current company standards for access, safety, noise, and ergonomics. The existing distribution station is located within the city limits of Vancouver, British Columbia (Fig.1), in a residential neighborhood immediately adjacent to a major arterial roadway intersection. The station was installed in 1976 and by 2015 was serving approximately 13,000 residential customers and 30 industrial/commercial customers, with peak flows at almost 99% of its capacity.

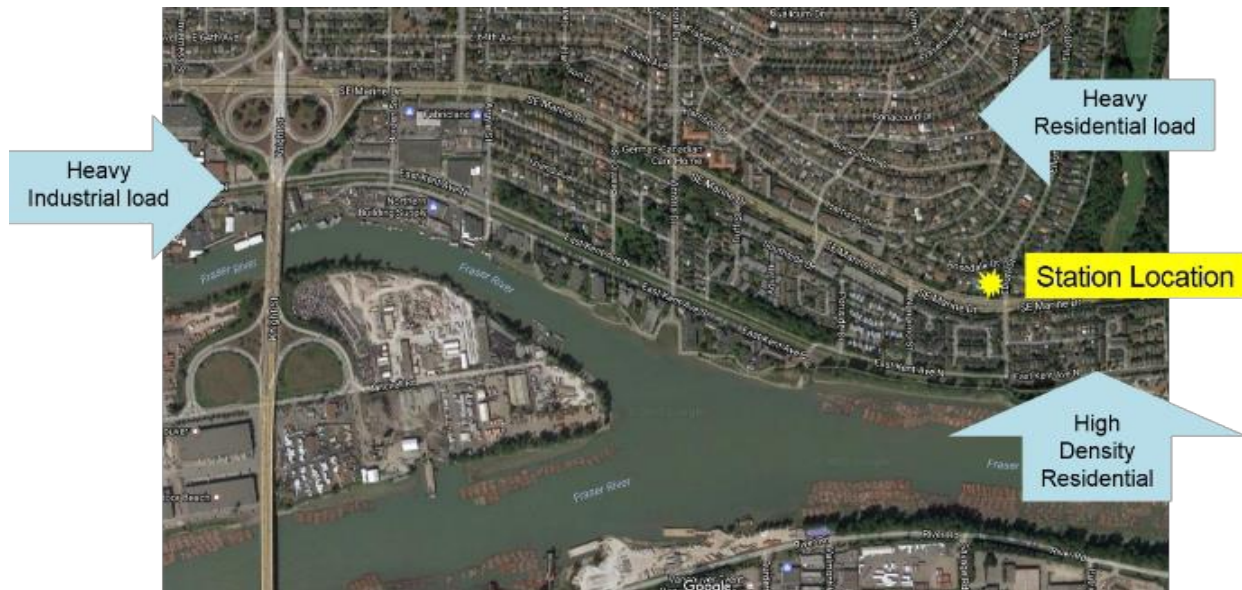


Figure 1. Map View of Station Location

Since the station was installed, the adjacent roadway has been widened considerably with a much increased volume of traffic, putting the station in close proximity to fast moving vehicles (Fig.2). This has also created issues for the potential of accidental vehicular intrusion as it is at an intersection. Furthermore, the high-traffic location makes parking in the vicinity of the station difficult for technicians during servicing and inspections.



Figure 2. Street View of Existing Station Location

The station design is obsolete (Fig.3) and does not include full redundancy nor meet current standards for overpressure protection or safe and efficient access for field personnel. The station is also prone to flooding, which causes corrosion of the piping and components.

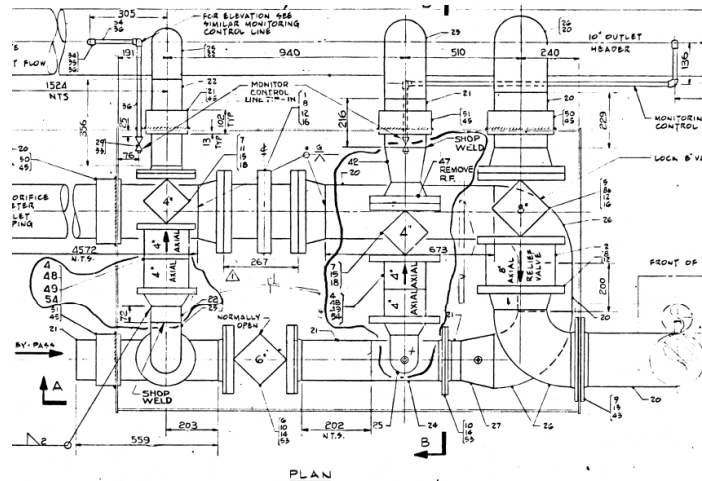


Figure 1. Existing Station Plan

A FEED (Front-End Engineering Design) study was conducted to establish the existing issues and risks, what options were available, and make a recommendation for the upgrade of the station. The FEED study recommended that the existing station be removed and replaced. Class 4 cost estimate [1] amounts were provided for the project, which are acceptable for FortisBC in the project planning phase.

2. Project Objectives

The decision was made to replace the existing station to accomplish the following:

- 2.1 Increase flow capacity to provide reliable gas supply for FortisBC customers and a proposed CNG station in the area.
- 2.2 Improve the design of the station to provide better overpressure protection and full redundancy [2].
- 2.3 Improve safety for technicians working at the station. This includes addressing confined space issues [3].
- 2.4 Improve vehicle access and parking around the station for technicians.
- 2.5 Improve station ergonomics and address the issue of flooding.
- 2.6 Provide greater capacity for increased gas flow through the station while minimizing impact to noise levels.
- 2.7 Improve monitoring and access to station pressure and flow data both locally and remotely.

3. Site Design Constraints

3.1 The area around the station is mostly residential properties with high market value. It would not be desirable to replace a below-ground station with an above-ground station owing to the visual impact this would have. FortisBC strives to maintain good relations with the community and tries to minimize the impact that our assets have on the surrounding area. It would be difficult to get municipal approval [4] for an above-ground station and a large capital investment would be required for land acquisition.

3.2 Existing site and boulevard space is very limited.

- 3.3 There is no parking available along the existing boulevard.
- 3.4 Existing boulevard has considerable slope, making a below-ground station installation more challenging.
- 3.5 There is considerable overgrowth of vegetation along the boulevard from the adjacent private property, which would require removal and/or regular trimming to maintain station access.
- 3.6 Existing pressure monitoring is old paper-based technology that must be accessed and maintained on site.

4. Station Design Constraints

- 4.1 Peak flows are relatively high and will require a large-capacity regulator to handle them. In addition, noise from the high gas flow is a concern.
- 4.2 In a densely populated urban area, overpressure protection must avoid any release of gas into the atmosphere, thus a closed system of pressure regulation is needed [4],[5].
- 4.3 Inlet pressure is reasonably stable and the downstream distribution system can be fed by other stations in periods of lower flows.
- 4.4 The regulator access pit must be large enough to allow safe and efficient access for technicians inside it to maintain the equipment while adhering to the space constraints of the site [2].

5. Station Design Process

FortisBC Engineering Services has over 70 years of experience in pressure control station design.

In response to regulatory requirements [4],[5] and business objectives, FortisBC has developed design optimizations to improve safety, ergonomics, efficiency, stability, flexibility, and redundancy. The below-grade concept used for the station is a 6th generation design.

FortisBC uses an internally standardized process (Fig. 4) for engineering tasks involved in designing, fabricating, pressure testing [2], constructing and commissioning of new stations.

5.1 Common Abbreviations Used in the Design Process

BOM	Bill of Material	NCS	Notice of Construction Start [4]
E&I	Electrical and Instrumentation	NPT	Notice of Pressure Test [4]
EOR	Engineer of Record	OGC	Oil and Gas Commission
FEED	Front End Engineering Design	PERR	Project Execution Resource Request
FUD	Foreign Utility Data	PM	Project Manager
GARP	Gas Asset Records Project	PMO	Project Management Office
IFC	Issue for Construction	RFQ	Request For Quote
IFR	Issue for Review	SCP	System Capacity Planning
LTO	Leave to Open [4]		

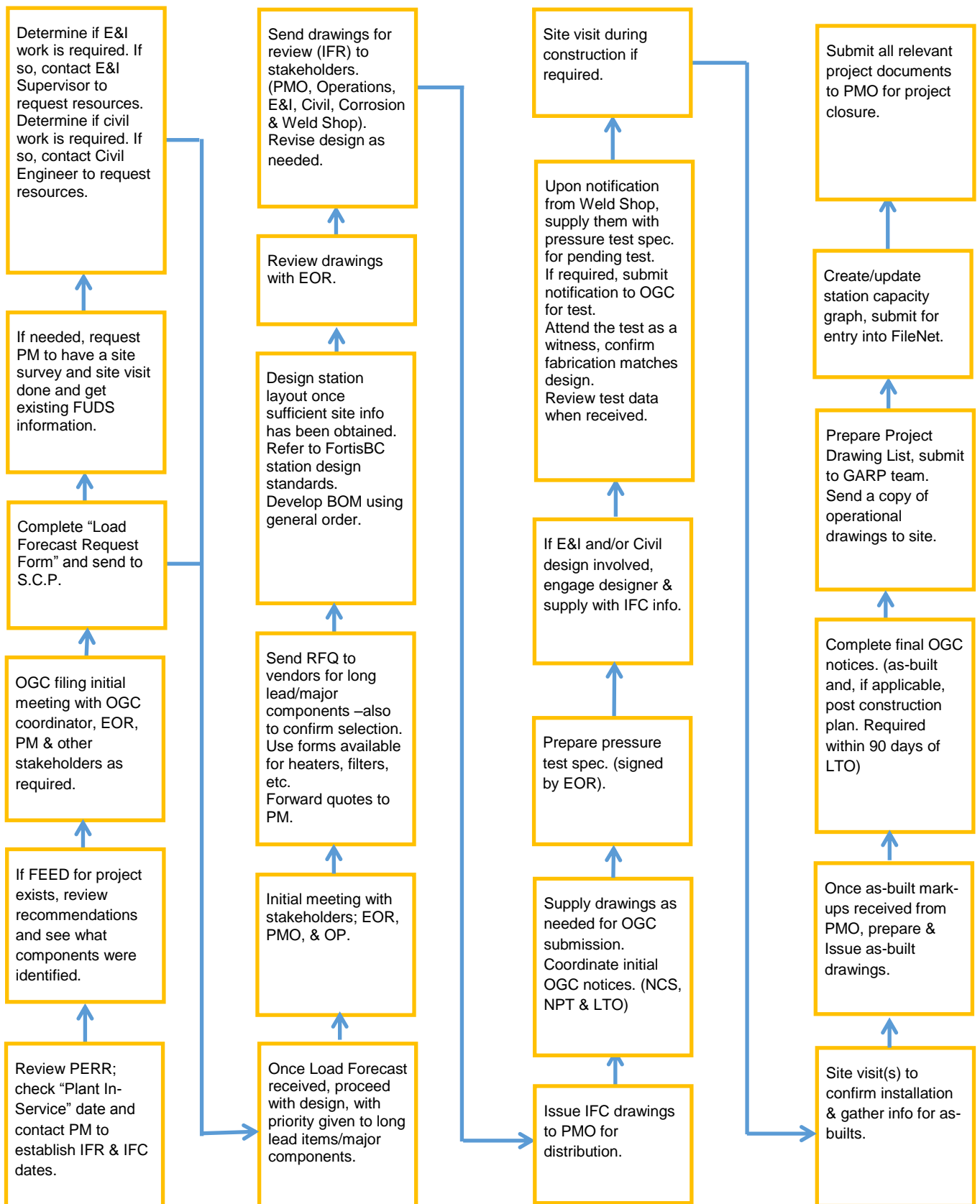


Figure 4. Station Design

6. Station Modelling

Forecast values for inlet pressure and peak flows were gathered from the FortisBC System Capacity Planning (SCP) department. Mathematical modelling software (Fluidflow [7]) was employed to determine both the station components and the piping required for the design parameters (Fig.5). This model was also used to generate a flow capacity graph for the station (Fig. 6).

40281 - 2390 Rosedale Drive District Station (Zone 1)
IP-DP Pit Station
Last modified: 2017/01/17
by Administrator

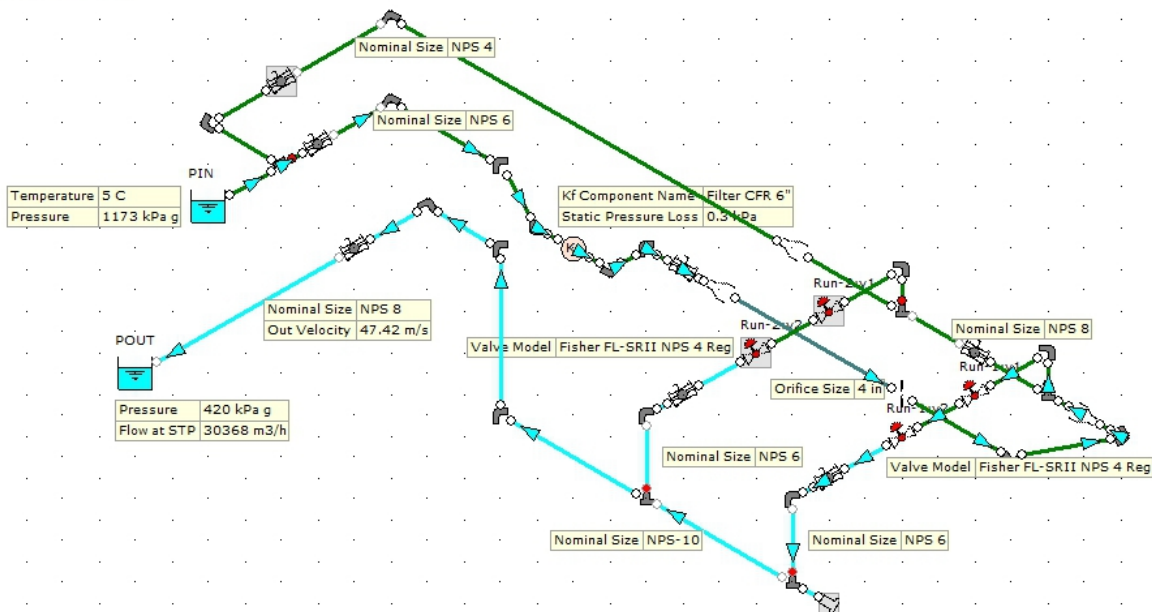


Figure 5. Station Design Model Interface

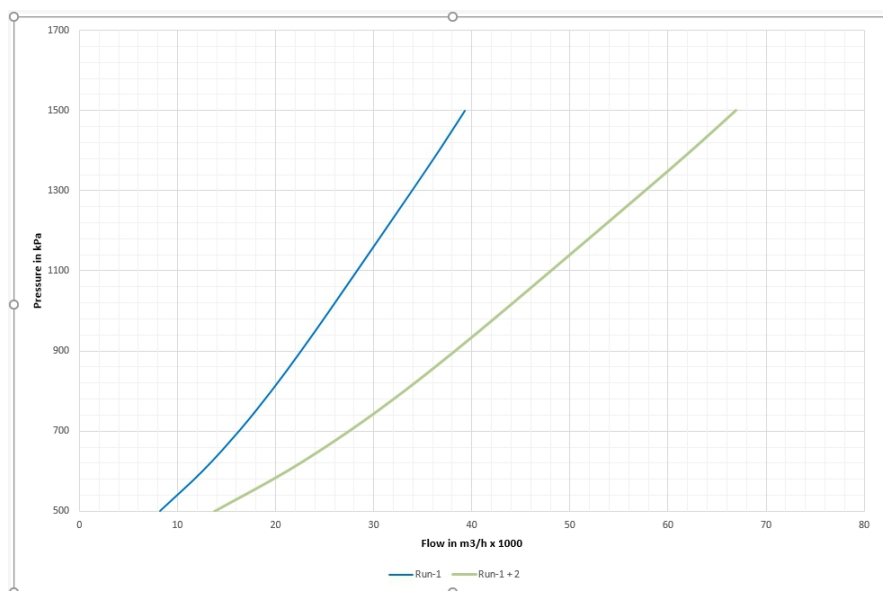


Figure 6. New Station Capacity Graph

The model was analyzed for flow capacity, pressure losses, gas temperature changes and gas velocities throughout the station [5],[6].

Analysis showed that most of the typical station components were acceptable for this application, however the pressure regulators would require a more robust design than usual.

7. Pressure Regulation Design Process

To meet the requirements stated above, 3 different technologies were considered for the station pressure regulators.

Option A – Boot-style (flexible element) regulators. 6” model required.

Option B – Axial two-path regulators. 4” model required.

Option C – Spring-to-open worker two-path regulators. 6” model required (at the time of this project, a 6” model was not available).

A process hazard assessment (HAZOP method Fig.7) was performed to compare the relative impact of the different technologies to customers and FortisBC. The assessment identified a potential \$1.3 million risk to FortisBC in the event of an outage.

Deviation: 1. No / Low Flow

Causes	Consequences	Without SG Risk			Safeguards	Residual Risk		Recommendations
		S	L	RR		L	RR	
1. Inadvertently close isolation valve inlet line to filter	1. Reduced redundancy in the system. This is no different than current operation.	2	2	4	1. Manual bypass around the filter 2. Manual bypass around the station (in the street)	2	4	3. Global comment: develop and/or modify operating/maintenance procedures.
2. Plugged Filter	1. Restricted flow through the filter	1	1	1	1. Regular PM	1	1	
3. Loss of flow signal from the flow meter (excludes valve closure)	1. No significant consequence identified							
4. Main regulator (PCV 311 or 312) malfunctions close FC position likelihood of failure is one level below typical control valve failure rate	1. Reduced redundancy in the system. This is no different than current operation.	2	2	4	1. Parallel run takes over Note: because parallel run has the ability to take full flow rate, the possibility of loss to customers is eliminated	2	4	3. Global comment: develop and/or modify operating/maintenance procedures.
5. Monitor regulator (PCV 211 or 212) malfunctions close	1. Reduced redundancy in the system. This is no different than current operation.	2	2	4	1. Parallel run takes over Note: because parallel run has the ability to take full flow rate, the possibility of loss to customers is eliminated	2	4	3. Global comment: develop and/or modify operating/maintenance procedures.

Figure 7. Process Hazard Assessment Results for Low Flow

Option B (axial two-path regulators) was selected as it provides the greatest degree of safety and noise abatement, with ample flow capacity. Some considerations with this option are:

- System that station is within must have a looped back design to back-feed the downstream system in case the regulators fail closed.
- A spring-to-open main regulator is required for stations within non-looped systems.

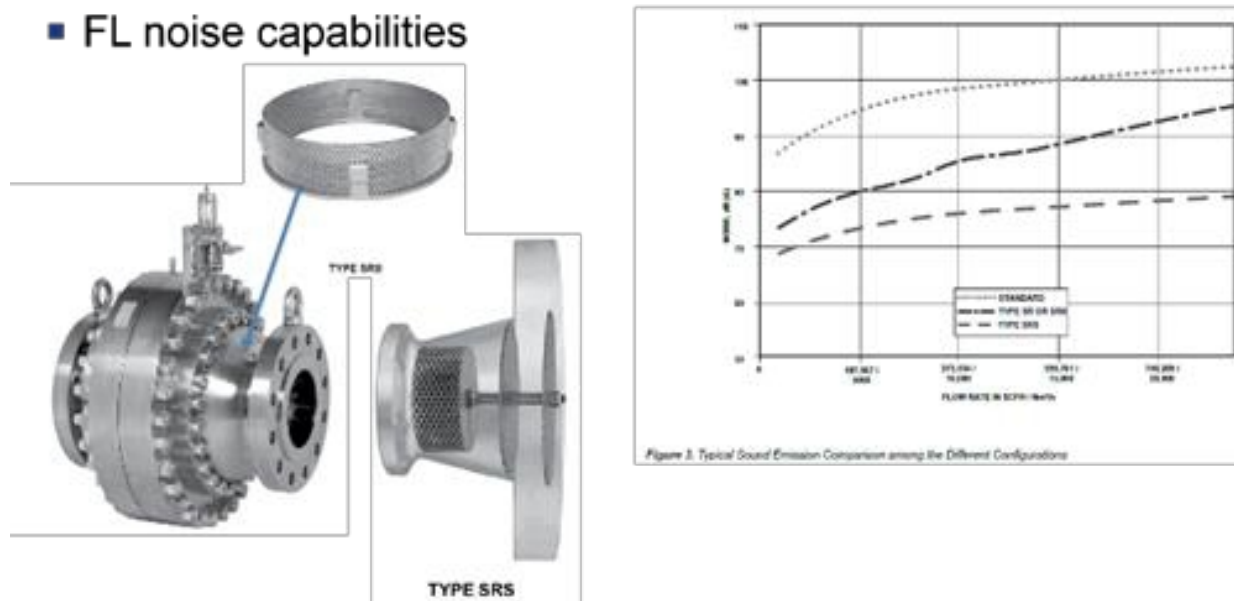
Deviation: 2. More / High Flow

Causes	Consequences	Without SG Risk			Safeguards	Residual Risk		Recommendations
		S	L	RR		L	RR	
1. Main regulator (PCV 311 or 312) malfunctions open Note: FC position likelihood of failure is one level below typical control valve failure rate	1. Overpressure downstream, line rupture, loss of containment (fire/explosion)	5	2	10	1. Monitor regulator (PCV 211 or 212)	1	5	
	2. High pressure downstream, MOP exceedance	2	2	4	1. Monitor regulator (PCV 211 or 212) 2. Operation can adjust TP/IP set pressure at Coquitlam	1	2	
2. Monitor regulator (PCV 211 or 212) malfunctions open Note: FC position likelihood of failure is one level below typical control valve failure rate	1. Overpressure downstream, line rupture, loss of containment (fire/explosion)	5	2	10	1. Monitor regulator (PCV 211 or 212)	1	5	
	2. High pressure downstream, MOP exceedance	2	2	4	1. Monitor regulator (PCV 211 or 212) 2. Operation can adjust TP/IP set pressure at Coquitlam	1	2	

Figure 8. Process Hazard Assessment Results for High Flow

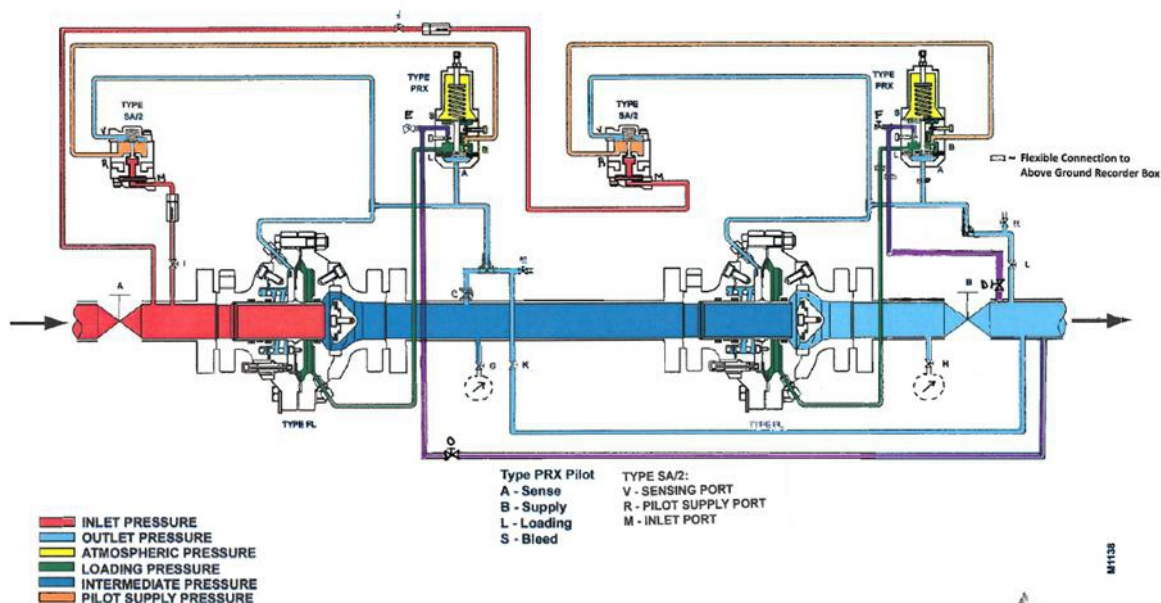
8. Pressure Regulator Selection

The regulator model chosen was the Emerson FL-with SR11 noise abatement trim with a PRX pilot and SA/2 pre-pilot (Fig.9) to provide very stable pressure control in an inherently low-noise body design as seen in the inline body design [8]. This two-path regulator was sized to function as a Wide-Open Upstream Monitor solution (Fig.10) for over-pressure protection and the back-fed system loop design providing under-pressure protection. The Emerson FL series regulators use an inline body for high capacity per line size. The inline design has about 15% more capacity than the equivalent top-entry design regulator. This extra capacity available in the inline design allowed the use of a 4" regulator [9] that aided in the tight physical piping space constraints of the available street boulevard. Alternate styles of regulators would have required a minimum of a 6" body size and increased the regulator run piping length. It also uses a special poly-urethane seat to provide robust and bubble-tight shut-off for a wide range of operating temperatures and better abrasion resistance. This is suitable for the demands of both high and low flow conditions and various pressure drops, which will increase the lifespan of the regulator and minimize the maintenance requirements. This will mean the technicians will have to go below-grade far less often to do maintenance. This FL regulator offers robust noise abatement, which was a significant consideration for the project. As the demand of the system increases, the noise generated can be of concern to the surrounding public in highly populated areas. The SR11 integral noise abatement trim offers a reduction in the noise generated through source treatment using a split flow Whisper design trim (Fig.9). At the maximum pressure drop and maximum flow, the noise generated is still below 85 dB(a) which is the Worksafe BC [3] safety limit for 8-hour exposure.



As it is a relatively new product to FortisBC, there was no previous installations that utilize this particular model of regulator. The design of the regulator instrumentation lines (Fig.11) was a collaborative effort between FortisBC and the regulator vendor, Spartan Controls. Design decisions unique to the regulator technology included keeping sense and bleed lines separate to maintain speed of response and accuracy, and ensuring there was sufficient upstream inline filtration to meet the overpressure protection requirements for the station.

Type FL-PRX Passive Monitor High Differential - Tubing Standard



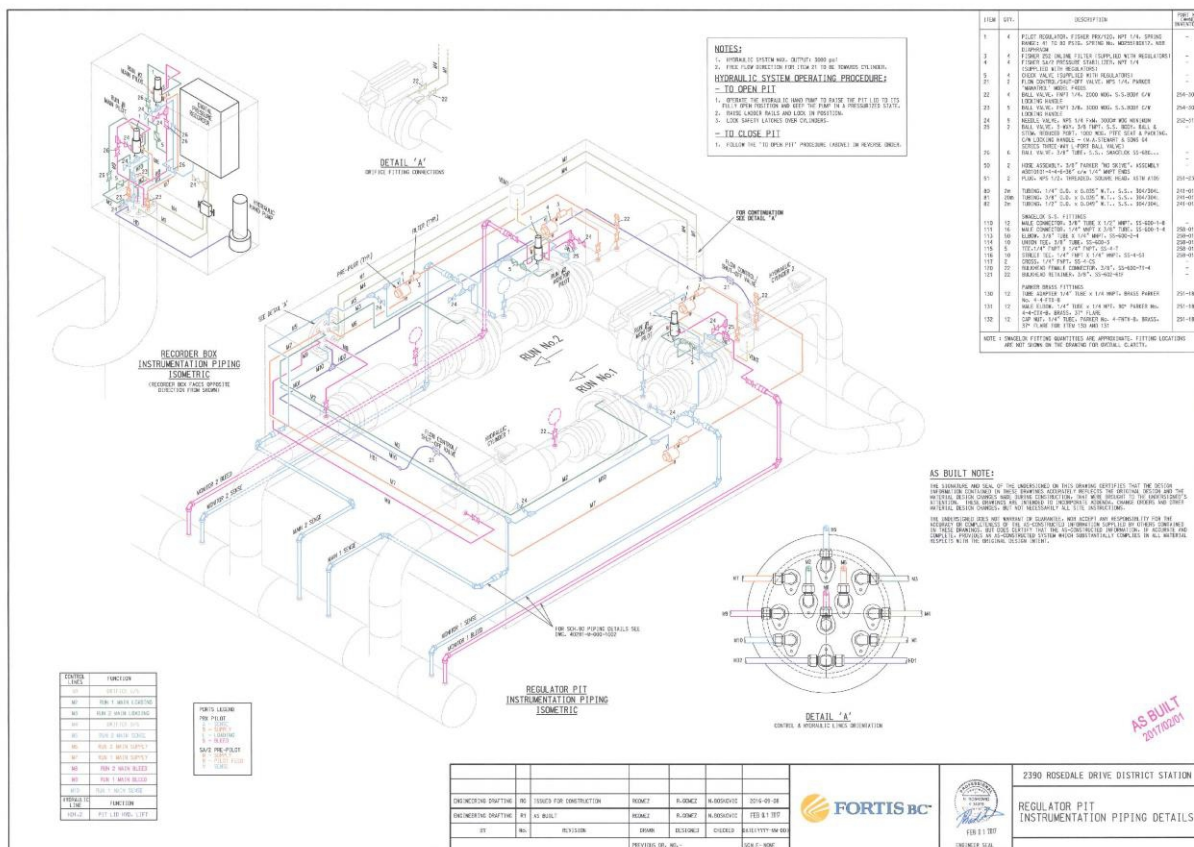


Figure 11. FortisBC Instrumentation Drawing

9. Pressure Regulator Selection

The new station installation is to include a digital pressure recorder that is connected to a cell modem. This will provide local and dial-in remote access to the inlet pressure, differential pressure, and calculated flow data. This will also reduce or eliminate site visits previously required to read and maintain the old paper-based system (Fig.12).



Figure 12. Digital Pressure Recorder

10. Site Selection

The existing station location (Fig.2 & 13) is one of the main reasons for this station upgrade, thus it was necessary to find a better location to install the new station. After a site meeting with the various stakeholders, it was decided to install the new station on a side street approximately 60 meters North and West of the existing station. The boulevard



location chosen (Fig.13 & 14) has more available width, there is much less vehicle traffic, and parking is available immediately in front of the station, all of which increase safety and efficiency for technicians.



Figure 13. New and Old Station Locations



Figure 14. New Station Location

The chosen location is within the road right-of-way, simplifying the approval process. The boulevard is also more level at this location, making piping configuration straightforward for the below-ground station. The adjacent property owner was notified and was agreeable to the location [2],[4].

11. Station Layout Design

The primary focus of station layout design (Fig.15) is to maximize safety and efficient access to the various components of the station. Also considered are the impact to the surrounding area visually, environmentally, and audibly. Items that can impact the layout include existing pathways, trees and vegetation, structures, underground utility and service lines, and private property boundaries.

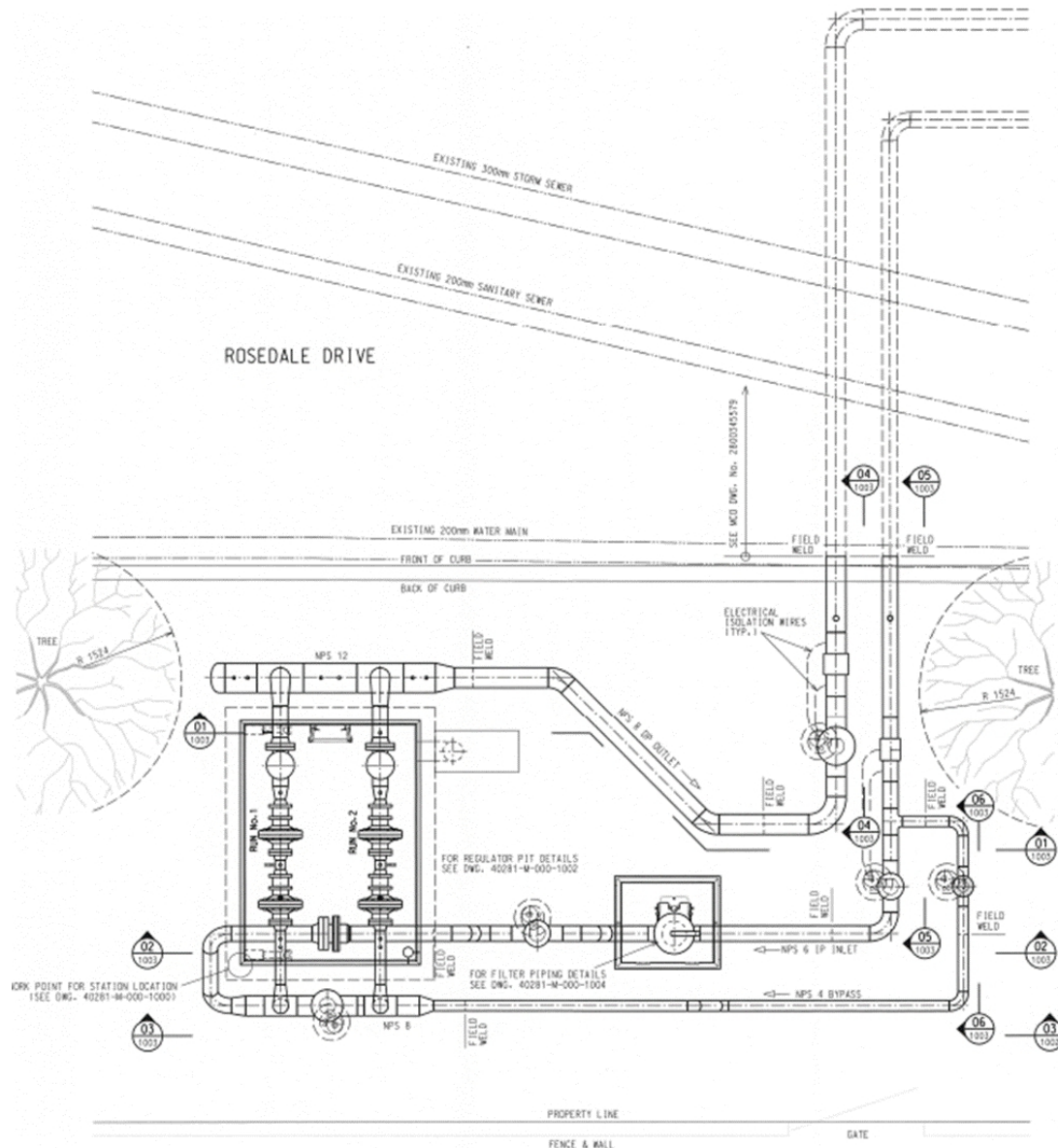


Figure 15. Station Layout

12. Project Goals Achieved

The station replacement project was executed on-time. The overall goals were achieved in addressing safety, access, parking, ergonomics, confined space, and monitoring issues. Environmental stewardship was improved with the installation of no-bleed style regulation equipment. While this project employed newer regulation equipment previously unfamiliar to FortisBC, Spartan Controls provided assistance during design, construction, commissioning, and startup which resulted in a seamless installation and the station was

operational by the winter of 2016. Installation of the new station (Fig.16) increased system integrity and reduced operational risk for FortisBC. Subsequent to the commissioning of the new station, the existing station was abandoned and removed.



Figure 16. New Station Installed

13. Acknowledgements

FortisBC Energy Inc.

<http://www.fortisbc.com/>

Spartan Controls Ltd.

<http://www.spartancontrols.com/>

14. References

- [1] AACE International – Total Cost Management Framework
- [2] FortisBC Corporate Reference Library: CRL #1630 Pressure Control Station Design, CRL #1632 Pressure Control Station Documentation, CRL #1404 Hydrostatic Testing of TP and IP Piping
- [3] Worksafe BC Occupational Health & Safety Regulations - Part 09 Confined Spaces
- [4] British Columbia Oil and Gas Commission Operations Manual
- [5] CSA Z662-15 (Canadian Standards Association - Oil and Gas Pipeline Systems)
- [6] ASME 31.3 (American Society of Mechanical Engineers Standard – Process Piping)
- [7] Fluidflow – Piping Systems Fluidflow Version 3 – Flite Software Ltd.
- [8] Emerson FL Bulletin – Bulletin 71.2 D103067X012 – Emerson Automation Solutions
- [9] Fisher Specification Manager – Version 2.11.16 – Emerson Automation Solutions

Tehnološki postupci izrade spojeva vodoopskrbnog sustava ***Technological procedures for water supply system connections***

**F. Dako^{1*}, A. Stoić², I. Samardžić², J. Zima¹, M. Duspara², D. Marić²,
V. Starčević², I. Putnik²**

¹Vodovod Osijek d.o.o; Osijek, Hrvatska

² StrojarSKI fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespodenciju. E-mail: franjo.dako@vodovod.com

Sažetak

Cjevovodi vodoopskrbnih sustava projektiraju se sukladno zahtjevima lokalnih distributera i isporučitelja vodnih usluga. Obzirom na navedeno, unaprijed se definira materijal od kojega će se cjevovod izvesti tj. izgraditi. Izborom materijala definiraju se načini spajanja istih u cjelinu s postojećim sustavom te ujedno i nadogradnjom samog postojećeg sustava. Samo spajanje cjevovoda može se izvesti rastavljivim ili ne rastavljivim spojem ovisno o potrebi i mogućnostima na terenu. Zbog bitnog utjecaja na vodonepropusnost, spojevi moraju biti tako izvedeni da niti u jednom trenutku ne utječu na isto, tj. da se na izvedenim spojevima ne dozvoli nekontrolirano istjecanje vode iz sustava javne vodoopskrbe, jer se isto trenutno reflektira na sami sustav u negativnoj konotaciji.

Abstract

Water supply systems are designed in accordance with the requirements of local distributors and suppliers of water services. Given the above, the pipeline construction material is defined in advance. The choice of material as well as upgrades to the existing system define the methods of connection with the existing system itself. The pipeline connection itself can be carried out as disconnectable or non-disconnectable depending on the needs and possibilities in the field. Due to their significant impact on watertightness, the construction of joints must not affect it at any one time, i.e. the conduits must not allow uncontrolled drainage of water from the public water supply system due to the immediate negative consequences thereon.

Ključne riječi: vodoopskrba, spoj, rastavljiv, nerastavljiv

1. Uvod

Izbor tehnologije za izradu spoja ovisi o samome izboru materijala od kojega će se vodoopskrbni cjevovod izgraditi, tj. o mogućnostima primjene pojedine tehnologije na terenu. Naime, u većini slučajeva nije moguće primjeniti istovjetnu tehnologiju izvedbe spoja na raznoimenim materijalima niti je moguća primjena svih načina spajanja u svim uvjetima. Temeljem navedenog, spojeve na vodoopskrbnom sustavu najčešće dijelimo na rastavljive i ne rastavljive. Sam naziv „rastavljiv“ spoj, podrazumijeva mogućnost demontaže te ponovne montaže spoja na predviđenom dijelu sustava, dok se „nerastavljiv“ spoj, veže za ne mogućnost demontaže tj. nije moguće izvesti uklanjanje spojnoga elementa bez da se isti trajno ne ošteti. Kako je vidljivo i u tablici br.1 sama podjela spojeva bazirana je na rastavljive i nerastavljive spojeve.

Tablica 1. Podjela spojeva na vodoopskrbnom sustavu u ovisnosti o materijalu

Rastavljivi spoj		Nerastavljivi spoj	
	Materijal		Materijal
Prirubnički spoj	PE-HD	Zavarivanje	
	PVC		
Naglavni spoj	Lijevano željezo	Elektrofuzijski postupak	PE-HD
	Čelik	Sučeonni postupak	PE-HD
	Azbest-cement	REL	Čelik

Prirubnički spojevi najčešće se koriste unutar zasunskih okana gdje je moguće izvršiti izmjenu neispravnog elementa, te na mjestima gdje je potrebno predvidjeti moguću izmjenu određene armature.

Postupkom zavarivanja polietilenskih cjevovoda ostvaruje se homogena struktura spoja s fazonskim komadima i armaturama gdje dolazi do trajnog spajanja cjevovoda s fazonskim komadima i/ili armaturom.

2. Izvedba rastavljivog spoja

Predmetni spojevi u većini slučajeva definiraju mogućnost rastavljanja pojedinih segmenata cjevovoda prilikom rekonstrukcije ili nadogradnje istoga bez da se bitno utječe na sam sustav ili izvedeni cjevovod u cijelosti. Spojevi na cjevovodu u smislu rastavljivih spojeva, najčešće se definiraju u izvedbama prirubničkog spoja ili naglavnoga spoja.



2.1 Prirubnički spoj

Prirubnički spojevi najčešće se koriste unutar zasunskih okana ili na mjestima gdje potrebno i neophodno izvesti priključenje objekta u vidu napajanja istoga sa vodoopskrbnoga sustava, ili gdje se ugrađuje izvjesna oprema za regulaciju sustava. Slika br. 1 prikazuje upotrebu prirubničkih spojeva u kombinaciji s vijčanim elementima neposredno prije ugradnje u zasunsko okno.



Slika 1. Prikaz čvorišta izveden od spojnih elemenata s prirubničkim spojem

Prirubnički elementi su visoko standardizirani te je njihova primjena značajna u sustavu vodoopskrbe, isti se dijele u ovisnosti o nazivnome tlaku sustava te tako razlikujemo 10,16,25 bar sustave unutar same vodoopskrbe.

Područje javnog isporučitelja vodnih usluga Vodovoda Osijek d.o.o. poznaje sustav unutar kojega je tlak same vodoopskrbne mreže definiran do 5 bar-a, obzirom na navedenu činjenicu istom se primjenjuje 10 bar-ski sustav, što ujedno definira raspored provrta po obodu prirubnice.

Prednosti prirubničkog spoja:

- mogućnost spajanja raznoimenih materijala,
- mogućnost demontaže te ponovne montaže,
- visok stupanj standardizacije samog spoja,
- vrlo dobro podnošenje dinamičkih opterećenja

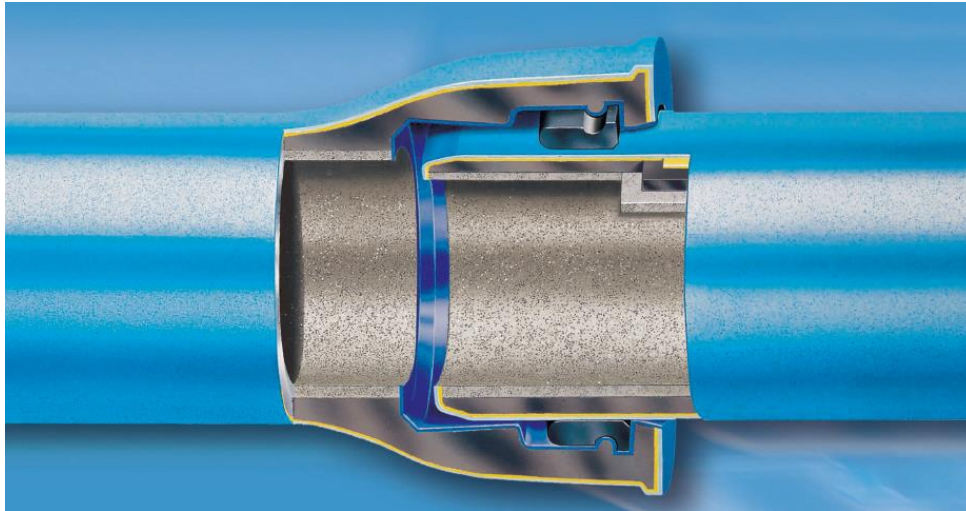
Nedostaci prirubničkog spoja:

- povećan broj elemenata zbog vijčanog spoja,
- povećana masa na cjevovodu zbog prirubnica



2.2 Naglavni spoj

Ovisno o materijalu na tržištu postoji niz proizvođača naglavnih spojeva, najutjecajniji i najčešće korišteni spoj je na lijevano željeznim cjevovodima. Obzirom kako je tehnika zavarivanja na predmetnim cjevovodima zahtjevnija za izvođenje, primjenjuje se spoj koji se može jednostavno i brzo izvesti na terenu. Do spoja dolazi postupkom hidrauličnog utiskivanja ravnoga dijela cijevi u naglavak druge cijevi ili fazonskog elementa uz određene pripreme te kao takav sačinjava cjelinu vidljiv na slici br. 2.



Slika 2. Izgled naglavnog spoja u uzdužnom presjeku [1]

Zbog jednostavnosti načina spajanja najčešće se koriste kod većih profila cjevovoda. Postoje različite izvedbe spojeva u ovisnosti o projektiranim zahtjevima na trasi cjevovoda. Razrađen je čitav niz fazonskih elemenata i armatura s predmetnim spojem te je moguće vrlo kratkom vremenskom roku izvršiti značajnu dinamiku polaganja trase cjevovoda.

Prednosti naglavnog spoja

Sama prednost naglavnog spoja u vodoopskrbnom sustavu očituje se u mogućnosti demontaže te ponovne montaže istog po potrebi. Obzirom da se radi o rastavljivim spojevima gdje se čvrsti dosjed rezultira temljem brtvenog materijala moguća je višestruka primjena. Spoj je jednostavne konstrukcijske izvedbe i ne sastoji se od puno elemenata.

Nedostaci naglavnog spoja

Prilikom hidrauličkog utiskivanja neophodna je upotreba građevinskog stroja kako kod montaže tako i kod demontaže predmetnog spoja. U slučajevima kada se montaža vrši pomoću tzv. povlačnih naprava izvedba spoja uvelike utječe na dinamiku izvođenja montažerskih radova. Zbog ostvarivanja čvrstog dosjeda, dopušteni kutevi loma unutar spoja vrlo su mali te ne smiju prelaziti više od 5°, tj. sama tolerancija dosjeda je vrlo mala.

3. Izvedba nerastavljivog spoja

Prilikom spominjanja nerastavljivog spoja prva asocijacija je postupak zavarivanja, što je u konačnici i točno. Naime, kod izvedbe nerastavljivog spoja najčešće se koriste polietilenski materijali cjevovoda, a rjeđe čelični cjevovodi.

Obzirom da postoje različiti postupci zavarivanja polietilena moguće je i izabrati između dva najviše primjenjivana postupka, od kojih je jedan elektrofuzijski postupak dok je drugi sučeoni tj. postupak zavarivanja grijaćom pločom. Postupkom zavarivanja postiže se homogena struktura spoja zbog čega se povećava koeficijent sigurnosti te se proporcionalno smanjuje mogućnost pojave propuštanja na samome spoju dvaju elemenata.

Prednosti nerastavljivog spoja

- postiže se homogena struktura (brtvljenje)
- dobra prenošenje dinamičkih opterećenja
- jednostavna primjena na terenu

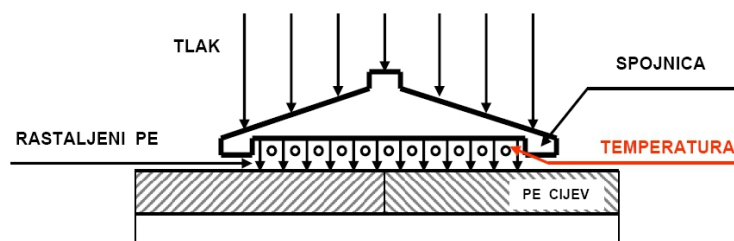
Nedostaci nerastavljivog spoja

- prilikom održavanja sustava neophodno je rezanje dijela cjevovoda
- primjenjivo za izgradnju novih sustava
- velik utjecaj nečistoće prilikom rada
- obuka montera

3.1 Elektrofuzijski postupak zavarivanja

Zavarivanje predmetnim postupkom definirano je uređajem za elektrofuzijsko zavarivanje koje mora biti priključeno na stabilan izvor električne energije, potom se isti uključuje u rad, skidaju se potrebni podaci s bar koda i vrši se automatizirani postupak zavarivanja.

Navedeni postupak definira se proizvodnjom izvjesne količine toplinske energije koji je izravan produkt toka električne energije kroz zavojnicu koja se nalazi unutar kolčaka tj. elektrofuzijske spojnice. Samim tokom električne energije kroz bakrenu zavojnicu stvara se određena količina topline koja otapa unutarnju površinu stjenke elektrofuzijske spojnice i vanjsku obrađenu površinu cijevi. Cjelokupan princip i postupak vidljiv je na slici br. 3.



Slika 3. Prikaz elektrifuzijskog zavarivanja [2]

Elektrofuzijski postupak nije prigodan za upotrebu u vodoopskrbnom sustavu za vrijeme rekonstrukcije ili sanacija pojedinih dijelova sustava. Razlog tomu je što se prilikom loma cjevovoda vodoopskrbne mreže pojavljuje izvjesna količina sitno zrnatih čestica (pijesak), te vode koji negativno mogu utjecati na kvalitetu samoga zavarenog spoja. Nadalje, zbog prirode posla na održavanju vodoopskrbnoga sustava poželjno je imati što je moguće manje prekida u samoj opskrbi, a postupak elektrofuzijskog zavarivanja sadrži i dio hlađenja zavarenog spoja koji izravno utječe na vrijeme ponovne uspostave isporuke vodnih usluga za razliku od drugih spojeva.



3.2 Zavarivanje polimernih materijala postupkom grijaće ploče

Predmetni postupak definiran je potrebitom obradom dviju čela cijevi te zagrijavanjem samih čeonih površina pomoću teflonske grijaće ploče, nakon navedenog zagrijavanja vrši se spajanje dviju čela cijevi uz djelovanje izvjesne količine sile koja uvelike ovisi o dimenzijama cijevi.



Slika 4. Princip zavarivanja postupkom grijaće ploče

Upotreba samog postupka uvelike ovisi o definiranju promjera cjevovoda te o njihovoj izvedbi, naime cijevi koje se isporučuju u kolotovima dužine do 200 m dužnih nije korisno spajati postupkom grijaće ploče sa gledišta ekonomske strane. Spoj koji je izveden navedenim postupkom vrlo je postojan te ne iziskuje puno pripreme radnje. Najčešća upotreba očituje se u trasama cjevovoda koje svojim dužinama nerijetko prelaze i dužine veće od nekoliko stotina metara do nekoliko kilometara. Postupak grijaće ploče primjenjiv je za vrijeme izgradnje novih sustava zbog svojih ekonomskih prednosti. Predmetni postupak je stariji od elektrofuzijskog postupka zavarivanja.

4. Zaključak

Sustav vodoopskrbne mreže te najčešće i njegovo održavanje iziskuje vremenski brzo djelovanje na terenu uz mogućnost zamjene nesukladnih elemenata istoga s adekvatnim i funkcionalnim elementima.

Upravo zbog utjecaja vremena u vidu utjecaja na obustave prilikom isporuke vodnih usluga, prednosti se daju rastavljivim spojevima tj. konkretno prirubničkim spojevima gdje je ujedno moguće i izvršiti spajanje raznoimenih materijala.

5. Literatura

- [1] Vodovodna tehnika – Katalog proizvoda, Saint Gobain Gussrohr, Prosinac 2003, dopunjeno 2005, http://www.aquapromet.hr/PDFs/Katalog_vodovodne_tehnike.pdf
- [2] Monitoring parametara elektrofuzijskog zavarivanja PE-HD cijevi Prof.dr.sc. Ivan Samardžić, Prof.dr.sc. Pero Raos, Mr.sc. Štefaniya Klarić, Marko Blažević, dipl.ing., URL: <http://www.sfsb.hr>, 07.01.2009. PDF, str. 1 – 7

Učinkovita uporaba energije *Efficient use of energy*

S. Franjić¹

*Autor za korespondenciju. E-mail: sinisa_franjic@net.hr

Sažetak

Učinkovita uporaba energije u proizvodnji, prijenosu i neposrednoj potrošnji temelj je razvojnih smjernica svih sektora energetskega sustava. U sektoru proizvodnje nafte, naftnih derivata i prirodnog plina energetska učinkovitost se očituje u modernizaciji rafinerija i korištenju poboljšanim tehnologijama za iskorištavanje naftnih polja i plinskih nalazišta. U elektroenergetici energetska učinkovitost podrazumijeva primjenu učinkovitijih tehnologija energijskih pretvorbi, kao što su: napredne tehnologije izgaranja ugljena, plinske elektrane visokog stupnja djelovanja i kogeneracija toplinske i električne energije te smanjenje gubitaka u prijenosnoj i distribucijskoj mreži, lokacijski povoljna izgradnja i poticanje distribuirane proizvodnje električne energije. Glede proizvodnje toplinske energije, razvoj centraliziranih toplinskih sustava usmjerava se prema povećanju učinkovitosti pretvorbe energije, primjeni kogeneracijskih jedinica i smanjenju gubitaka distribucije toplinske energije, distribuiranoj proizvodnji energije i uporabi obnovljivih izvora energije.

Ključne riječi: energija, učinkovitost, potrošnja, industrija

Abstract

Efficient use of energy in the generation, transmission and final energy is the basis of development guidelines of all sectors of the energy system. In the sector of oil, petroleum products and natural gas, energy efficiency is reflected in the modernization of refineries and the use of improved technologies for the exploitation of oil fields and gas. In the electric power industry, energy efficiency involves the application of more efficient technologies for energy conversion, such as: advanced technology of coal combustion, gas power plants and high-efficiency cogeneration of heat and power and the reduction of losses in transmission and distribution network, favorable location and building incentives for distributed generation of electricity. Regarding the production of thermal energy, the development of district heating systems is directed towards increasing the efficiency of energy conversion, application of cogeneration units and reduce the loss of heat energy distribution, distributed energy production and use of renewable energy sources.

Keywords: energy, efficiency, energy, industry

1. Uvod

Povećanje energetske učinkovitosti u svim dijelovima energetskega sustava odrednica je i jedan od glavnih ciljeva Strategije energetskega razvitka [1].

Pri tome će se posebna pozornost posvetiti učinkovitoj uporabi energije u sektorima neposredne potrošnje. Mjerama energetske učinkovitosti na strani potrošnje smanjuje se porast potražnje energije, što pak smanjuje potrebu za izgradnjom novih kapaciteta ili uvozom energije i povećava sigurnost opskrbe [2].

Taj cilj će se ostvariti provedbom mjera energetske učinkovitosti u industriji, prometu, kućanstvima i uslugama.

Postizanje ciljeva učinkovite uporabe u segmentu potrošnje energije složenije je nego ostvarivanje ciljeva u segmentu proizvodnje energije. Republika Hrvatska prepoznaje važnost djelovanja poradi ostvarenja postavljenog cilja.

1. Omogućit će se razvoj tržišta energije i tržišno formiranje cijena energije.
2. Dovršit će se zakonodavni i regulatorni okvir za poticanje energetske učinkovitosti.
3. Stvorit će se institucionalni okvir za provedbu, praćenje i ocjenu politike energetske učinkovitosti na nacionalnoj razini.
4. Uspostavit će se jedinstveni sustav prikupljanja, obrade i pohranjivanja podataka za izračun i praćenje pokazatelja energetske učinkovitosti u skladu s metodologijom prihvaćenom u EU.
5. Kontinuirano će se provoditi promotivno-informativne kampanje za opću javnost i pojedine ciljane skupine.
6. Osigurat će se financijska potpora za provedbu mjera energetske učinkovitosti te će se poticati inovativni načini financiranja.

Ovdje valja istaknuti da se električna energija najčešće koristi kao prijelazni proizvod koji nam služi prilikom stvaranja krajnjih dobara (automobili, računala itd.) i izvođenja korisnih usluga (grijanje, rasvjeta, pogon električnih motora itd.). Zbog tih razloga, ljudi su spremni platiti proizvodnju električne energije, tj. stvaraju potražnju za električnom energijom [3]. Kako bi se zadovoljila ta potražnja, potrebno je uložiti znatna financijska sredstva i rad kako bi se ostvarila proizvodnja električne energije. Značajna sredstva potrebno je uložiti u određenu infrastrukturu elektrana. Nadalje, potrebno je izgraditi prijenosnu i distribucijsku mrežu kako bi se električna energija prenosila od mjesta proizvodnje do određenog mjesta gdje bi se ona trošila.

Ovdje posebno treba istaknuti kako moderni stil života podrazumijeva sve veću upotrebu energije u svrhu postizanja sve veće učinkovitosti i komfora pa je upotreba energije svakim danom sve veća [4]. Danas se većina energetskih potreba čovječanstva namiruje upotrebom vrlo štetnih fosilnih goriva, a u budućnosti će se ta goriva morati zamijeniti čistim izvorima energije u obliku obnovljivih izvora energije ili nuklearne energije. U budućnosti će obnovljivi izvori energije postati primarni, a energetske potrebe čovječanstva će postajati sve veće.

2. Energetski ciljevi i aktivnosti u periodu do 2020. godine

Aktivnosti koje će se provoditi u pojedinim sektorima neposredne potrošnje energije detaljno će biti izložene u Programu energetske učinkovitosti. Program će sadržavati stručne podloge na temelju kojih će se donijeti Akcijski planovi energetske učinkovitosti. Usvajanjem ovih dokumenata i u njima zacrtanih ciljeva, Republika Hrvatska će preuzeti

obvezu smanjenja neposredne potrošnje energije mjerama energetske učinkovitosti u skladu s ciljevima definiranim smjernicama i strateškim dokumentima energetske politike Europske unije.

Europska energetska politika jedan je od najvažnijih imperativa međunarodnog projekta danas poznatog kao Europska unija [5]. Europska energetska politika ima za cilj ostvarivanje tri cilja: veća sigurnost opskrbe, osiguranje konkurentnosti europskih gospodarstava i dostupnost energije te promicanje održivosti okoliša i borbe protiv klimatskih promjena. Europska energetska politika je dobro osmišljena jer se njome učinkovito omogućava opskrba energijom, integracija energetske tržišta u Europsku uniju, osiguranje usklađenosti energetske politike s ciljevima održivog razvoja racionalnim korištenjem energije i razvojem obnovljivih izvora te promicanje istraživanja i tehnološkog razvoja u energetici u svim državama članicama. Europska energetska politika obuhvaća korištenje ugljena, nafte, plina, električne energije, novih i obnovljivih izvora energije i nuklearne energije te upravljanje potražnjom za različitim oblicima energije.

2.1. Industrija

Sektor industrije sudjeluje u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije s preko 20 %. Program energetske učinkovitosti obuhvaća mjere energetske učinkovitosti u onim industrijskim postrojenjima koja neće biti uključena u shemu trgovanja emisijama jer se smatra da je obveza kupovanja emisijskih jedinica dovoljan pritisak na STE sektor. Paket mjera energetske učinkovitosti za sektor industrije uključuje uspostavu funkcionalne mreže industrijske energetske učinkovitosti.

Kroz program mreže industrijske energetske učinkovitosti, industrijskim će se tvrtkama pružiti potpora pri provođenju energetske pregleda i uspostavi sustava gospodarenja energijom, provodit će se usporedbena analiza njihovih energijskih pokazatelja s pokazateljima postignutim u drugim tvrtkama iste grane i provodit će se odabrani projekti energetske učinkovitosti. Također će se uspostaviti obrazovni programi i programi uvježbavanja za djelatnike u industriji.

Za energijski intenzivne industrije propisat će se obveza provedbe energetske pregleda dok će se za ostale uspostaviti shema dobrovoljnih energetske pregleda. Kod toga je bitno uspostaviti sustav certificiranja auditora te standardizirati postupke provedbe energetske pregleda i izvješćivanja.

Preispitat će se postojeći sustav poticaja putem zajamčene otkupne cijene za električnu energiju proizvedenu u takvim postrojenjima, posebice za visokoučinsku kogeneraciju, i uspostaviti će se sustav koji će biti tržišno atraktivniji.

2.2. Promet

Sektor prometa sudjeluje u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije s oko 30 %. Najveći udio u potrošnji energije u sektoru ima cestovni promet s gotovo 90 %. Ovakav udio očekuje se i u budućnosti, zbog povećanja broja automobila, povećane prevaljene udaljenosti po automobilu i smanjenog broja putnika po automobilu. Stoga je žarište politike energetske učinkovitosti u sektoru prometa upravo na cestovnom prometu.

Sa stajališta energetske učinkovitosti, sektor prometa je sektor u kojemu će biti najteže postići željene ciljeve. Razlog je tome ovisnost o tekućim gorivima, ali i suvremen način života i globalizacija gospodarstva te svekolika mobilnost. Radi smanjenja potrošnje energije u prometu, Vlada Republike Hrvatske donijet će paket mjera energetske učinkovitosti koji uključuje propisivanje strožih standarda za nova vozila.

Republika Hrvatska će pratiti i usvajati u Europskoj uniji prihvaćene tehničke standarde za vozila te tako osigurati da samo najučinkovitiji proizvodi ulaze na hrvatsko tržište.

Strategija energetske razvoja predviđa i provedbu informacijskih kampanja o energetski učinkovitom ponašanju u prometu. Provedenim kampanjama će se promovirati učinkoviti načini vožnje, ali i alternativni načini prijevoza (gradski promet, bicikli, više ljudi u automobilu i sl.).

Vlada Republike Hrvatske će u suradnji s lokalnom i područnom (regionalnom) samoupravom poboljšati planiranje prometa u gradovima, uključujući izgradnju infrastrukture za alternativne načine prijevoza, poboljšanje infrastrukture javnog prijevoza, uvođenje učinkovitih vozila i alternativnih goriva u javni prijevoz (označavanje vozila), propisivanje obveze energetske pregleda u tvrtkama javnog prijevoza i obveze isplativih mjera energetske učinkovitosti, provedbe usporednih analiza hrvatskih prijevozničkih tvrtki s europskim tvrtkama, uvođenje naknada kod prometnih gužvi u gradovima i dr.

Raznim će se mjerama poticati primjena vozila s emisijama ispod 120 g CO₂/km, električna vozila, hibridna vozila – za pravne i fizičke osobe putem subvencije investicija, ali i osiguravanjem besplatnih parkirnih mjesta, pravom na korištenje žutih traka i sl. Potrebno je uvesti i mjere za destimuliranje prekoračenja propisanih graničnih emisija.

2.3. Kućanstva

Kućanstva su najveći pojedinačni potrošač energije u Hrvatskoj, oko 30 % od ukupne neposredne potrošnje energije, i najveći korisnik električne energije, preko 40 % od ukupne neposredne potrošnje električne energije. Politika energetske učinkovitosti u sektoru kućanstava temeljit će se na povećanju svijesti građana o mogućim uštedama i poticajima kod planiranja i izgradnje stanova te ponašanju u skladu s načelima energetske učinkovitosti. Paket mjera energetske učinkovitosti uključuje usvajanje i primjenu podzakonskih akata koji proizlaze iz Zakona o prostornom uređenju i gradnji. Tim se aktima u potpunosti transponiraju zahtjevi Direktive 2002/91/EZ o energijskim svojstvima zgrada. Time će se postići smanjenje specifične potrošnje energije propisivanjem minimalnih zahtjeva na energetska svojstva zgrada i povećati svijest građana o energetskoj učinkovitosti putem obveznog certificiranja zgrada.

Strategija energetske razvitka predviđa i kontinuirano provođenje informativnih kampanja koje će se usmjeriti na podizanje svijesti građana kroz osnivanje mreže informativnih središta u cijeloj Hrvatskoj. U tim će uredima građani moći dobiti besplatne savjete o mogućnostima za poboljšanje energetske učinkovitosti u vlastitom domu. Strategija još predviđa i označavanje energijskih značajki trošila i usvajanje minimalnih standarda za trošila, individualno mjerenje energije i financijske poticaje fizičkim osobama za provedbu mjera energetske učinkovitosti putem Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost.

2.4. Usluge

Sektor usluga sudjeluje u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije s preko 10 %. Električna energija je dominantan oblik energije korišten u ovom sektoru s preko 60 %, a slijede tekuća goriva i prirodni plin. Uporaba električne energije za toplinske potrebe u priobalju zamjenjivat će se prirodnim plinom, ukapljenim naftnim plinom i obnovljivim izvorima energije, posebice sunčevim toplinskim sustavima. Za korištenje sunčeve energije ističu se turistički objekti budući da im se potrebe za pripremom tople vode tijekom ljeta poklapaju s najvećom insolacijom, ali i najvećim opterećenjem elektroenergetskog sustava zbog istovremene povećane potrebe za hlađenjem prostora.

Energijska intenzivnost, intenzivnost potrošnje električne energije i jedinična potrošnja energije po zaposleniku u sektoru usluga u stalnom su porastu. Taj podatak ukazuje na neučinkovitost korištenja energije u ovom sektoru. Vlada Republike Hrvatske je svjesna činjenice da politiku energetske učinkovitosti treba ponajprije implementirati u javnom sektoru. Aktivnosti će se usmjeriti na one mjere koje imaju niske troškove provedbe kao što su poticanje promjene ponašanja zaposlenika kroz obrazovne i informacijske kampanje.

Paket mjera energetske učinkovitosti za sektor usluga uključit će sljedeće mjere:

- izrada i primjena građevinske regulative;
- redovita provedba inspekcija kotlova i sustava ventilacije u zgradama;
- kontinuirano provođenje informativnih kampanja za podizanje svijesti zaposlenika u javnoj upravi;
- provedba programa »Sustavno gospodarenje energijom (SGE) u gradovima i županijama«;
- provedba nacionalnog programa »Dovesti svoju kuću u red«;
- uvođenje sustavnog gospodarenja energijom u objekte komercijalnih usluga po uzoru na program »SGE u gradovima i županijama«;
- uvođenje »zelene« javne nabave;
- osiguravanje financijskih poticaja za provedbu mjera energetske učinkovitosti putem Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost te primjenom inovativnih načina financiranja poput financiranja od treće strane ili javno-privatnim partnerstvom.

3. Neposredna potrošnja energije

Neposredna potrošnja energije je energija predana krajnjim korisnicima u industriji, prometu i općoj potrošnji. Opća potrošnja obuhvaća kućanstva, usluge, graditeljstvo i poljoprivredu.

Temeljna projekcija neposredne potrošnje energije pretpostavlja rast potrošnje prepušten tržišnim gibanjima i navikama potrošača, bez državnih intervencija, ali uz pretpostavku uobičajene primjene novih, tehnološki naprednijih proizvoda kako se tijekom vremena pojavljuju na tržištu.

Održivi scenarij razvoja neposredne potrošnje energije jest scenarij putem kojega se ispunjavaju ciljevi Strategije i koji je posljedica u Strategiji predloženih mjera energetske politike, primijenjenih kao državna intervencija u odnosu na temeljni scenarij neposredne

potrošnje. Održivi scenarij je, dakle, željena izvedenica temeljne projekcije neposredne potrošnje energije nakon što se primjene sljedeće mjere:

- povećanje energetske učinkovitosti u neposrednoj potrošnji energije;
- povećanje udjela obnovljivih izvora energije i druga poticana promjena strukture u odnosu na temeljnu projekciju korištenih energijskih oblika;
- primjena distribuiranih izvora energije.

Cilj Vlade Republike Hrvatske je povećanje energetske učinkovitosti. Ono će rezultirati smanjenjem neposredne potrošnje energije od 19,77 PJ u 2016. godini i 22,76 PJ u 2020. godini u odnosu na temeljnu projekciju.

Osim mjera energetske učinkovitosti, u održivom scenariju se u obzir uzima i povećana uporaba obnovljivih izvora energije u neposrednoj potrošnji energije kao posljedica mjera Vlade Republike Hrvatske. To se posebice odnosi na poticanje uporabe sunčevih toplinskih sustava za pripremu potrošne tople vode i na poticanje uporabe biomase za grijanje prostora (peleti, briketi i drvena sječka). Sunčevi toplinski sustavi zamjenjivat će u sektoru opće potrošnje električnu energiju, tekuća goriva, prirodni plin i UNP, posebice za pripremu potrošne tople vode. Uporaba peleta i briketa u kućanstvima zamjenjivat će uporabu tekućih goriva za grijanje prostora u kućanstvima i uslugama.

Prirodni plin je tržišno konkurentna zamjena za tekuća goriva, a zamjenu tekućih goriva obnovljivim izvorima energije Vlada Republike Hrvatske će poticati različitim mjerama. Tekuća goriva, posebice ukapljeni naftni plin i nadalje će se koristiti u sektoru kućanstva i usluga. Ukapljeni naftni plin i loživo ulje koristit će se i za pokrivanje vršnih opterećenja u sustavu opskrbe prirodnim plinom potrošača s prekidom isporuke prirodnog plina, uravnotežujući tako neravnomjernosti u sustavu opskrbe prirodnim plinom.

Dodatno, u održivi scenarij je uključeno i povećanje potrošnje biogoriva i drugih obnovljivih izvora energije u prometu u skladu s politikom EU (biometan, električna energija iz obnovljivih izvora energije). U 2020. godini udio obnovljivih izvora energije u prometu će iznositi ciljanih 10% ukupne potrošnje energije.

Zbog povoljnih učinaka na smanjenje emisija u okoliš, Republika Hrvatska će poticati uporabu stlačenog prirodnog plina (SPP) u prometu. Mjesto njegove uporabe jesu kamionski koridori (tzv. plave magistrale) i gradski autobusi, ali i automobilski promet. Primjena SPP-a u prometu otvara mogućnost i primjeni stlačenog biometana što će se posebno poticati, jer se time olakšava ispunjavanje obveze primjene obnovljivih izvora energije u prometu.

U politici poticanja Vlada Republike Hrvatske će brinuti da SPP ne potiskuje uporabu biogoriva, zbog obveza koje je glede uporabe biogoriva i drugih obnovljivih izvora energije Republika Hrvatska kao skora članica EU preuzela.

Distribuirani izvori energije smješteni su pri krajnjim potrošačima pa se bilanciraju u održivom scenariju neposredne potrošnje, dodatno mijenjajući temeljnu projekciju neposredne potrošnje. Zbog povećanja učinkovitosti pretvorbe energije i smanjenja emisija CO₂, Republika Hrvatska će poticati primjenu mikrokogeneracije i male kogeneracije toplinske i električne energije te primjenu dizalica topline.

Kogeneracijske jedinice koriste se za grijanje, hlađenje i proizvodnju električne energije.

One smanjuju potrošnju električne energije u održivom scenariju i povećavaju potrošnju prirodnog plina. Procjenjuje se instaliranje 100 MW mikrokogeneracija i malih kogeneracijskih jedinica do 2020. godine.

Primjenom dizalica topline, zbog povećane učinkovitosti pretvorbe energije, odnosno korištenja obnovljivom, unutarnjom energijom okolišnog zraka, zemlje ili vode, smanjit će se potrošnja energije u održivom scenariju neposredne potrošnje energije. Procjenjuje se da će se primjenom dizalica topline potrošnja prirodnog plina u 2020. godini smanjiti za 130 milijuna m³, potrošnja električne energije povećati za 0,2 TWh i iskorištavati obnovljiva unutarnja energija okolišnog zraka, zemlje ili vode u iznosu od 4,9 PJ.

4. Zaključak

Održivi scenarij razvoja neposredne potrošnje energije jest scenarij putem kojega se ispunjavaju ciljevi Strategije i koji je posljedica u Strategiji predloženih mjera energetske politike, primijenjenih kao državna intervencija u odnosu na temeljni scenarij neposredne potrošnje.

Energetski sustav Republike Hrvatske u potpunosti je uklopljen u energetski sustav Europske unije i energetski sustav jugoistočne Europe. Otvoreni sustav omogućava razvoj tržišta energije i podizanje konkurentnosti, privlačenje domaćih i inozemnih investicija u tržišne energetske djelatnosti, usklađivanje razvoja budućih strateških energetske projekata i gospodarsku suradnju sa susjednim zemljama. Vlada Republike Hrvatske vodit će aktivnu politiku budući da energetika pruža posebne prilike onim dionicima koji jasno definiraju svoju poziciju i interese te ih dosljedno i bez odlaganja provode. Radi povećanja sigurnosti opskrbe i pozitivnih eksternih učinaka investicija u energetiku na gospodarski rast i razvoj, prednost će se davati investicijama u objekte na teritoriju Republike Hrvatske. Učinkovita uporaba energije ima iznimno važnu ulogu u toj politici.

5. Literatura

- [1] Strategija energetskeg razvitka – NN 130/2009.
- [2] Šimundić, Slavko; Franjić, Siniša: "Pravna regulativa u elektrotehnici i računarstvu", Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku – Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Osijek, 2015., str. 91. **(knjiga)**
- [3] Nikolovski, Srete; Fekete, Krešimir; Knežević, Goran; Stanić, Zoran: «Uvod u tržište električne energije», Elektrotehnički fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2010., str. 24. **(knjiga)**
- [4] Franjić, Siniša: "Croatian Strategy of Energy Development, European Union, Climate Change and the Environment Protection", Journal of Energy and Power Sources, Vol. 2, No. 7, July 2015., str. 268. - 273. **(rad u časopisu)**
- [5] Franjić, Siniša: "Legal Regulations of European Energy Policy in Croatia", Applied Engineering Letters, Vol. 1, No 2, 40-45 (2016), pp. 40. – 45. **(rad u časopisu)**

Termodinamička analiza rada ugrađenih plinskih kondenzacijskih kotlova

Thermodynamic analysis of built-in gas condensing boilers operation

M. Živić¹, A. Galović², A. Barac¹, R. Končić¹

¹Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

²Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: mzivic@sfsb.hr

Sažetak

U posljednje vrijeme se u sve više domaćinstava ugrađuju kondenzacijski kotlovi, koji se koriste za potrebe grijanja prostora i za pripremu potrošne tople vode. Korištenje kondenzacijskih kotlova ima svoju energijsku opravdanost jer se njima postiže veća termodinamička učinkovitost u odnosu na tradicionalne kotlove. U nastalim dimnim plinovima dolazi do kondenzacije vodene pare, pri čemu se toplina oslobođena kondenzacijom dodatno koristi za zagrijavanje vode u kotlu. Oslobođanjem topline kondenzacije koristi se ne samo donja, nego dobrim dijelom i gornja ogrjevna vrijednost goriva, što svakako treba imati na umu kad se računa učinkovitost kotla. U mnogim katalogima proizvođača kotlova mogu se naći vrijednosti stupnja djelovanja kotla koje su veće od 100%. Razlog tome je što se stupanj djelovanja kondenzacijskog kotla svodi na donju ogrjevnju vrijednost goriva, a što fizikalno ne stoji, budući da kondenzacijski kotao u sustav unosi veću vrijednost energije od one koja odgovara donjoj ogrjevnoj vrijednosti goriva.

Koliko će vodene pare kondenzirati ovisi o temperaturi na koju se hlade nastali dimni plinovi, odnosno o potrošaču nastale topline. U okviru ovog rada izvršena je termodinamička analiza rada 13 ugrađenih plinskih kondenzacijskih kotlova za koje su dobiveni podatci mjerenja o sastavu dimnih plinova, te o izlaznoj temperaturi dimnih plinova i pretičku zraka potrebnog za izgaranje. Rezultati proračuna su prikazani tablično, a sastoje se od količine kondenzirane vlage, stupnja djelovanja kotla te volumenskih protoka zraka i goriva. Analiza je pokazala u kojim slučajevima se pojavila i u kojem iznosu, a u kojim slučajevima se nije pojavila kondenzacija vodene pare.

Abstract

Recently, more and more households have built-in condensing boilers, which are used for the needs of heating the space and for the supply of hot water. The use of condensing boilers has energy justification because they achieve higher thermal efficiency than

traditional boilers. Condensation of water vapour occurs in the flue gases, whereby the heat released by condensation is further used to heat the water in the boiler. By releasing condensation heat, not only the lower but also the higher heating value of the fuel is used, which should be noticed when calculating the thermal efficiency of the boiler. In many catalogues of boiler manufacturers, the boiler efficiency values can be higher than 100%. The reason for this is that the efficiency of condensing boiler is reduced to the lower heating value of the fuel which is physically unavailable since the condensing boiler enters in the system a higher value of the input energy than the one corresponding to the lower heating value of the fuel.

How much water vapour will condense depends on the temperature at which the flue gases are cooled, i.e. on the consumer of the generated heat. Within this paper, a thermodynamic analysis of the 13 built-in gas condensing boilers was performed, for which the data on the flue gas composition, the exhaust gas temperature and the excess air required for combustion were obtained. The calculation results are presented in tables, and consisting of the amount of condensed water, the thermal efficiency of the boiler and the volume flow rates of the air and fuel. The analysis showed in what cases the vapour condensation did appear and in which amount appeared and in what cases the condensation did not appear.

Ključne riječi: kondenzacijski kotlovi, termodinamička analiza, gas condensing boilers, thermodynamic analysis

1. Uvod

Kotlovi za centralna grijanja i pripremu potrošne tople vode troše znatne količine energije iz primarnih izvora, a produkti izgaranja zagađuju okoliš. Cilj je povećati termodinamičku efikasnost kotla te smanjiti emisije štetnih plinova u okoliš. Kondenzacijska tehnologija bolje koristi toplinsku energiju sadržanu u gorivu. Smisao korištenja kondenzacijskih uređaja je u tome što se dimni plinovi nastali izgaranjem hlade ispod temperature kondenzacije (rosišta) vodene pare u dimnim plinovima, pa se toplina oslobođena kondenzacijom koristi za dodatno zagrijavanje vode. Time se termički stupanj djelovanja kotla povećava i do 10 %; Istraživanja pokazuju da se SO_x i NO_x spojevi te čestice koji su sastavni dijelovi dimnih plinova mogu djelomično ili čak potpuno otopiti u kondenziranoj vodi, pa je zagađenje okoliša značajno manje, [1]. Stoga je upotreba kondenzacijskih kotlova od velikog značaja, zbog uštede energije i zbog zaštite okoliša.

Među primarnim gorivima, prirodni plin je najprihvatljiviji za korištenje u kondenzacijskim uređajima, [2]. Izgaranjem prirodnog plina molni udio vodene pare u dimnim plinovima je oko 20 % što je puno više nego kod ostalih goriva. Veći udio vodene pare u dimnim plinovima znači da se može osloboditi veća toplina kondenzacije i tako snižavanjem temperature dimnih plinova povećati stupanj djelovanja kotla.

Široku upotrebu kondenzacijskih kotlova u sustavima grijanja onemogućuje činjenica da njihova visoka učinkovitosti dolazi do izražaja samo kad se postigne niska temperatura vode u povratnom vodu. Temperatura dimnih plinova mora pasti ispod rosišta kako bi se iskoristila prednost dobivanja visoke učinkovitosti, pa je korištenje topline kondenzacije iz dimnih plinova ovisno o postojanju potrošača topline na niskoj temperaturi.

Istraživanje pokazuje da kada je temperatura u povratnom vodu između 40,8 i 53,3 °C, povećanje termičkog stupnja djelovanja je između 2,12% i 5,76% , [3].

Upotreba kondenzacijskih uređaja, njihove prednosti i nedostaci opisani su u nekoliko objavljenih radova. Centralno postrojenje za zagrijavanje potrošne tople vode naselja od 13 zgrada je praćeno sa svrhom analize toplinskih gubitaka i sezonskih performansi kondenzacijskih kotlova, [4]. Novi kombinirani niskotemperaturni sustav grijanja s nominalnim temperaturama polaza/povrata od 45°C/35 °C opisan je u [5], dok se opis korištenja tehnologije potrebne za iskorištenje velikih količina topline niske temperature raspoložive iz dimnih plinova industrijskih kondenzacijskih kotlova može naći u [6].

Prema europskoj regulativi, obvezna je ugradnja, odnosno zamjena dotrajalih uređaja, kondenzacijskim uređajima. Ta je regulativa prihvaćena i u Republici Hrvatskoj. Naime, sukladno uredbi komisije (EU) br. 813/2013 od 2. kolovoza 2013. o provedbi Direktive 2009/125/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o zahtjevima za ekološki dizajn grijača prostora i kombiniranih grijača, energetska učinkovitost sezonskog grijanja prostora i korisne učinkovitosti grijača ne smiju biti niže od sljedećih vrijednosti: za kotlovske grijače prostora na goriva nazivne toplinske snage ≤ 70 kW i kombinirane grijače na gorivo nazivne toplinske snage ≤ 70 kW, osim kotlova tipa B1 nazivne toplinske snage ≤ 10 kW i kombiniranih kotlova tipa B1 nazivne toplinske snage ≤ 30 kW, sezonska energetska učinkovitost grijanja prostora ne smije biti niža od 86 %. Također, od rujna 2018. nekondenzacijski uređaji moraju dodatno ispunjavati uvjet: NO_x emisije ≤ 56 mg/kWh. Ugradnja kondenzacijskih kotlova u posljednje vrijeme sve je češća.

U okviru ovoga rada daje se termodinamička analiza rada 13 ugrađenih plinskih kondenzacijskih kotlova. Relevantni podatci o sastavu i temperaturi dimnih plinova dobiveni su mjerenjem od strane plinoservisera na području Osječko-baranjske županije. Podatci o molnom i masenom sastavu prirodnog plina kao i o njegovoj ogrjevnoj vrijednosti preuzeti su iz laboratorijskih izvještaja o kvaliteti plina za pojedine specifične točke (Našice) s web stanice Plinacro, d. o. o.

2. Izmjereni podatci

Maseni i molni sastav prirodnog plina dobiveni su kromatografskom analizom i prikazani u tablici 1. Analiza je provedena prema normi HRN EN ISO 6974-5:2014.

Tablica 1. Maseni i molni sastav prirodnog plina, uzorak „Našice“, 10.01.2017, $p=26$ bar; $t=11:40$ h

Sudionik	Maseni sastav, x_i , kg/kg; %	Molni sastav, y_i , mol/mol; %
N ₂	2,89	1,75
CO ₂	0,26	0,10
C ₁	89,16	94,14
C ₂	6,20	3,49
C ₃	1,02	0,39
i – C ₄	0,17	0,05
n – C ₄	0,17	0,05
i – C ₅	0,04	0,01
n – C ₅	0,04	0,01
C ₆₊	0,05	0,01

Tablica 2 prikazuje ostale izmjerene vrijednosti prirodnog plina, prema HRN EN ISO 6976:2008

Tablica 2. Ostale izmjerene vrijednosti prirodnog plina uzorka „Našice“

	Referentni uvjeti	
	(15/15 °C)	(25/0 °C)
Gornja ogrjevna vrijednost, MJ/m ³	38,42	40,51
Donja ogrjevna vrijednost, MJ/m ³	34,64	36,55
Wobbeov broj, MJ/m ³	50,19	52,91
Gustoća, kg/m ³	0,7180	0,7577
Relativna gustoća (zrak =1)	0,5859	0,5861
Molarna masa, kg/kmol	16,940	
Plinska konstanta, J/(kg·K)	490,81	

Na području Osječko baranjske županije, u Našicama i okolici, prilikom servisiranja kondenzacijskih plinskih kotlova, izvršeno je mjerenje sastava dimnih plinova analizatorom dimnih plinova MRU Delta 65. Izmjerene vrijednosti 13 ispitivanih kotlovskih jedinica sistematiziranih po datumima ispitivanja prikazuje tablica 3.

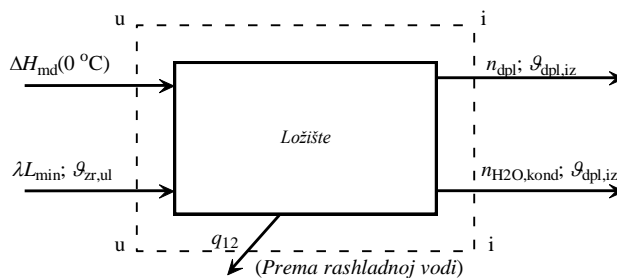
Tablica 3. Izmjerene ulazne temperature zraka, izlazne temperature dimnih plinova i pretičak zraka

Kotao	Datum ispitivanja	Nazivni toplinski učin kotla	$\vartheta_{zr,ul}$ °C	$\vartheta_{dpl,iz}$, °C	Pretičak zraka, λ
1.	29. 11. 2016.	25 kW	14,7	69,3	1,33
2.	05. 12. 2016	30 kW	23,0	71,0	1,34
3.	14. 12. 2016.	24 kW	16,4	82,2	1,32
4.	04. 01. 2017.	35 kW	17,9	35,1	1,35
5.	04. 01. 2017.	25 kW	18,4	50,6	1,35
6.	11. 01. 2017.	24 kW	19,3	64,4	1,36
7.	16. 01. 2017.	30 kW	16,3	40,6	1,34
8.	17. 01. 2017.	30 kW	14,6	60,4	1,34
9.	19. 01. 2017.	30 kW	11,3	50,0	1,35
10.	27. 01. 2017.	20 kW	16,0	23,5	1,33
11.	30. 01. 2017.	24 kW	16,8	54,4	1,34
12.	07. 02. 2017.	24 kW	21,8	61,7	1,34
13.	07. 02. 2017.	30 kW	22,7	35,1	1,46

Kao što se vidi iz tablice 3, radi se o različitim vrijednostima izlaznih temperatura dimnih plinova ($\vartheta_{dpl,iz}$), a što ukazuje na činjenicu da će se u radu kotla kod nekih pojaviti, dok kod nekih se neće pojaviti kondenzacija vodene pare iz dimnih plinova. Pri tome se uzima da je tlak dimnih plinova na izlazu iz kotla jednak atmosferskom tlaku.

3. Razrada matematičkog modela

Slika 1 predstavlja shematski prikaz kotla, iz kojeg se, primjenom I. stavka termodinamike i primjenom zakona održanja mase za otvoreni stacionarni sustav, dobivaju relevantne jednadžbe za provođenje termodinamičke analize rada naznačenih plinskih kotlova.



Slika 1. Energijaska i masena bilanca kondenzacijskog kotla

Gornja "termodinamička" shema ložišta svedena je jedinični količinski protok goriva, pa shodno gornjoj shemi može se za promatrani kontrolni volumen napisati prvi zakon termodinamike u sljedećem obliku

$$\begin{aligned}
 q_{12} = & \Delta H_{md}(0\text{ }^{\circ}\text{C}) + n_{\text{H}_2\text{O,kond}} r_{\text{H}_2\text{O}}(0\text{ }^{\circ}\text{C}) \\
 & - \vartheta_{dpl,iz} (n_{\text{CO}_2} [C_{mp,\text{CO}_2}]_0^{\vartheta_{dpl,iz}} + n_{\text{O}_2} [C_{mp,\text{O}_2}]_0^{\vartheta_{dpl,iz}} + n_{\text{N}_2} [C_{mp,\text{N}_2}]_0^{\vartheta_{dpl,iz}} + n_{\text{H}_2\text{O,nek}} [C_{mp,\text{H}_2\text{O}}]_0^{\vartheta_{dpl,iz}} + \\
 & + n_{\text{H}_2\text{O,kond}} C_{mw}) \quad (1)
 \end{aligned}$$

Jednadžba (1) je napisana za općeniti slučaj, koji podrazumijeva kondenzaciju vodene pare iz dimnih plinova na površinama izmjenjivača topline dimni plinovi- voda. Do kondenzacije je došlo, ako je temperatura zasićenja vodene pare veća od temperature dimnih plinova na izlazu iz kotla, odnosno ako je tlak zasićenja vodene pare za izlaznu temperaturu dimnih plinova manji od parcijalnog tlaka vodene pare u dimnim plinovima. Parcijalni tlak vodene pare u dimnim plinovima računa se prema jednadžbi

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = y_{\text{H}_2\text{O}} p = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{dpl}}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{N}_2} + n_{\text{CO}_2} + n_{\text{O}_2}} p \quad (2)$$

dok je tlak zasićenja vodene pare u zavisnosti od apsolutne (termodinamičke) temperature, a time i izlazne temperature dimnih plinova određen, prema [7], sljedećom jednadžbom

$$\ln \frac{p_s(T_{\text{dpl,iz}})}{p_{\text{tr,H}_2\text{O}}} = 25,08 - \frac{6850,98}{T_{\text{dpl,iz}}} - 5,265 \ln \frac{T_{\text{dpl,iz}}}{T_{\text{tr,H}_2\text{O}}} \quad (3)$$

U gornjoj jednadžbi je $T_{\text{tr}} = 273,16$ K, temperatura u trojnoj točki vode, a vrijednost tlaka zasićenja se dobiva u barima.

Pri tlaku $p_s(T_{\text{dpl,iz}})$ ostaje nekondenzirana količina vodene pare koja se dobiva iz jednadžbe

$$n_{\text{H}_2\text{O,nek}} = (n_{\text{CO}_2} + n_{\text{N}_2} + n_{\text{O}_2}) \frac{p_s(T_{\text{dpl,iz}})}{1 - p_s(T_{\text{dpl,iz}})} \quad (4)$$

pa količina kondenzirane vodene pare iznosi

$$n_{\text{H}_2\text{O,kond}} = n_{\text{H}_2\text{O}} - n_{\text{H}_2\text{O,nek}} \quad (5)$$

Ukupna količinu vodene pare računa se, koristeći podatke o molnim udjelima plinova u gorivu, iz tablice 1, prema sljedećoj jednadžbi

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 2y_{\text{C}_1} + 3y_{\text{C}_2} + 4y_{\text{C}_3} = 2y_{\text{CH}_4} + 3y_{\text{C}_2\text{H}_6} + 4y_{\text{C}_3\text{H}_8} \quad (6)$$

Količina ugljičnog dioksida određuje se, također, iz sastava goriva

$$n_{\text{CO}_2} = \text{CO}_2 + y_{\text{C}_1} + 2y_{\text{C}_2} + 3y_{\text{C}_3} = \text{CO}_2 + y_{\text{CH}_4} + 2y_{\text{C}_2\text{H}_6} + 3y_{\text{C}_3\text{H}_8} \quad (7)$$

Količine kisika i dušika u dimnim plinovima se određuju prema sljedećim jednadžbama

$$n_{\text{O}_2} = (\lambda - 1) \text{O}_{\text{min}} = (\lambda - 1)(2y_{\text{C}_1} + 3,5y_{\text{C}_2} + 5y_{\text{C}_3}) = (\lambda - 1)(2y_{\text{CH}_4} + 3,5y_{\text{C}_2\text{H}_6} + 5y_{\text{C}_3\text{H}_8}) \quad (8)$$

$$n_{\text{N}_2} = \text{N}_2 + 0,79\lambda \frac{\text{O}_{\text{min}}}{0,21} \quad (9)$$

Srednji molarni toplinski kapaciteti sudionika u dimnim plinovima u zavisnosti o izlaznoj temperaturi dimnih plinova $\vartheta = \vartheta_{\text{dpl,iz}}$ računaju se prema sljedećim jednadžbama

$$C_{mp,CO_2} = -0,000003g^2 + 0,0139g + 37,35 \quad (10)$$

$$C_{mp,H_2O} = -0,0000004g^2 + 0,0064g + 32,835 \quad (11)$$

$$C_{mp,O_2} = -0,000006g^2 + 0,0043g + 29,302 \quad (12)$$

$$C_{mp,N_2} = -0,0000003g^2 + 0,003g + 28,668 \quad (13)$$

U gornje jednadžbe temperatura se uvrštava u °C, pa se dobivaju vrijednosti molarnih toplinskih kapaciteta u kJ/(kmol·K)

Osjetna entalpija ulaznog zraka uzeta je na način da je atmosferski zrak usvojen kao smjesa u molnim udjelima 79 % N₂ i 21% O₂, te su za ulaznu temperaturu zraka pripadajući molarni toplinski kapaciteti određeni korištenjem jednadžbi (12) i (13).

Molarna ogrjevna vrijednost prirodnog plina određena je korištenjem sljedeće jednadžbe

$$\Delta H_{md}(0^\circ C) = y_{CH_4} \Delta H_{md,CH_4}(0^\circ C) + y_{C_2H_6} \Delta H_{md,C_2H_6}(0^\circ C) + y_{C_3H_8} \Delta H_{md,C_3H_8}(0^\circ C) \quad (14)$$

pri čemu su za pripadajuće molarne ogrjevnosti uzete sljedeće vrijednosti:

$$\Delta H_{md,CH_4}(0^\circ C) = 800709 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_{md,C_2H_6}(0^\circ C) = 1425724 \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H_{md,C_3H_8}(0^\circ C) = 2041327 \text{ kJ/kmol}$$

te za molarnu vrijednost topline kondenzacije vode, i molarnu vrijednost toplinskog kapaciteta kapljevine vode sljedeće vrijednosti:

$$r_{m,H_2O} = 45000 \text{ kJ/kmol}$$

$$C_{m,w} = 75,37 \text{ kJ/(kmol·K)}$$

Prikazanim jednadžbama (2) – (14) zajedno se navedenim ostalim numeričkim podacima moguće je za svaki ispitivani slučaj odrediti odvedeni specifični toplinski tok (q_{12}) od strane dimnih plinova, a koji je predan rashladnoj vodi za potrebe grijanja prostora. Iz tih svih podataka određuje se stupanj djelovanja kotla, prema jednadžbi:

$$\eta = \frac{q_{12}}{\Delta H_{md}(0^\circ C) + n_{H_2O,kond} r_{m,H_2O}} \quad (15)$$

Prema gornjoj definiciji, stupanj djelovanja kotla ne može biti veći od 100 %, što je i logično, budući da se toplina predana dimnim plinovima u ložištu dijeli ne samo s donjom molarnom ogrijevnom vrijednošću goriva, kako se to često prikazuje u katalogima



proizvođača, već se ta toplina dijeli sa sumom koja se sastoji od donje ogrjevne vrijednosti goriva i topline koja je oslobođena kondenzacijom vodene pare.

Kako je za svaki kotao poznat i njegov nazivni toplinski učin Φ_{kotao} , moguće je izračunati i količinski protok prirodnog plina koji izgara

$$q_{nG} = \frac{\Phi_{\text{kotao}}}{q_{12}} \quad (16)$$

odnosno, uz pretpostavku da je tlak prirodnog plina 1 bar i temperatura 15 °C, lako se dolazi do satnog volumenskog protoka prirodnog plina, (potrošnje), izraženog u m³/h

$$q_{V,G} = 3600 q_{nG} \frac{R_m T}{p} = 3600 \cdot \frac{8314 \cdot 288,15}{1 \cdot 10^5} q_{nG} = 23,97 q_{nG} \quad (17)$$

Volumenski protok kondenzirane vode, $q_{V,k}$ u l/h, dobiva se prema jednadžbi

$$q_{V,k} = q_{nG} n_{\text{H}_2\text{O},\text{kond}} \cdot 18 \cdot 3600 \cdot v_{\text{H}_2\text{O}}(g_{\text{dpl},\text{iz}}) = 64800 \cdot q_{nG} n_{\text{H}_2\text{O},\text{kond}} v_{\text{H}_2\text{O}}(g_{\text{dpl},\text{iz}}) \quad (18)$$

gdje $v_{\text{H}_2\text{O}}(g_{\text{dpl},\text{iz}})$ predstavlja specifični volumen u m³/kg kondenzirane vode pri tlaku 1 bar i temperaturi $g_{\text{dpl},\text{iz}}$.

4. Rezultati proračuna

Prema prikazanom matematičkom modelu, napravljen je algoritam i proveden proračun za ispitivane kotlove. Rezultate analize prikazuje tablica 4.

Tablica 4. Rezultati termodinamičke analize

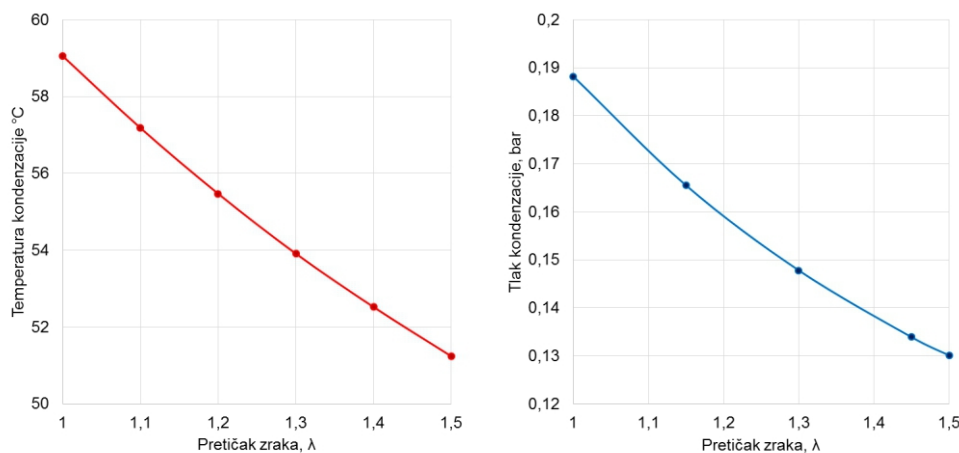
	$y_{\text{O}_2}; \%$	$y_{\text{CO}_2}; \%$	$\eta, \%$	$q_{V,g}, \text{m}^3/\text{h}$	$q_{V,k}, \text{l/h}$	$Y, \%$
1.	5,643	8,649	97,38	2,457	nema kondenzacije	
2.	5,767	8,579	97,63	2,941	nema kondenzacije	
3.	5,517	8,72	96,87	3,371	nema kondenzacije	
4.	5,889	8,51	99,11	3,176	3,089	6,427
5.	5,889	8,51	97,74	2,415	0,4972	1,36
6.	6,009	8,443	97,76	2,35	nema kondenzacije	
7.	5,767	8,579	98,67	2,768	2,15	5,13
8.	5,767	8,579	97,78	2,936	nema kondenzacije	
9.	5,889	8,51	97,52	2,896	0,7218	1,646
10.	5,643	8,649	99,67	1,774	2,215	8,248
11.	5,767	8,579	98,16	2,34	nema kondenzacije	
12.	5,767	8,579	98,02	2,343	nema kondenzacije	
13.	7,113	7,821	99,24	2,725	2,522	6,111

Y predstavlja odnos (u postocima) topline oslobođene kondenzacijom vodene pare i donje ogrjevne vrijednosti goriva,

$$Y = n_{\text{H}_2\text{O,kond}} \cdot 45000 / \Delta H_{\text{md}}(0^\circ\text{C}) \cdot 100\% \quad (19)$$

Iz tablice 4 je vidljivo da od 13 ispitivanih kotlova samo njih 6 su pod danim uvjetima radila u kondenzacijskom režimu, dok ostalih 7 nisu postigli uvjete kondenzacije. Iako se radilo o zimskim uvjetima, pri niskim vanjskim temperaturama, (većina je ispitana u siječnju 2017)., deklarirani kondenzacijski kotlovi nisu u radu oslobodili toplinu kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova. Stupanj djelovanja kotla u kojima nije došlo do kondenzacije vodene pare nije prelazio 98 %, dok je kod kondenzacijskih kotla, ovisno o postotku kondenzacije, stupanj djelovanja dostigao 99,67 %. Radi se o stupnju djelovanja definiranom jednadžbom (15) u kojoj se toplina predana dimnim plinovima dijeli s molarnom donjom ogrjevnom vrijednošću goriva kojoj je pridodana toplina oslobođena kondenzacijom.

Iz tablice 3 je vidljivo da svi kotlovi, prema izmjerenim podacima, rade s relativno velikim pretičkom zraka, (većim od 1,3), čime je i temperatura kondenzacije vodene pare relativno niska. Korištenjem jednadžbi (2) i (3) prikazat će se kvantitativno utjecaj pretička zraka na temperaturu kondenzacije vodene pare, dijagram na slici 2.



Slika 2. Utjecaj pretička zraka na temperaturu (lijevo) i tlak (desno) kondenzacije vodene pare

Iz gornjeg dijagrama se vidi da temperatura kondenzacije vodene pare pada s povećanjem pretička zraka λ , a što je i fizikalno opravdano, budući da s povećanjem λ raste količina dimnih plinova, uz nepromijenjenu količinu vodene pare. Tako, na primjer, pri vrijednosti pretička zraka $\lambda = 1,0$, temperatura kondenzacije vodene pare u dimnim plinovima iznosi 59 °C, dok za vrijednosti $\lambda = 1,32 - 1,35$, koje su izmjerene i navedene u tablici 3, vrijednosti temperature kondenzacije vodene pare se nalaze između 53 i 54 °C.

5. Zaključak

Plinski kotlovi, u kojima tijekom ispitivanja nije nastupila kondenzacija, radili su u sustavu grijanja u kojem potrošač nije mogao koristiti toplinu na dovoljno niskoj temperaturi, što znači da je temperatura vode u povratnom vodu bila relativno visoka, iznad 55 °C, tako da do kondenzacije vodene pare u dimnim plinovima nije došlo. To može značiti da na radijatorskoj strani nije bila ugrađena dovoljno velika izmjenjivačka površina, preko koje bi se voda ohladila ispod temperature rosišta vodene pare u dimnim plinovima, odnosno da je za držanje odgovarajuće temperature zraka u prostoriji bilo potrebno podesiti režim grijanja na temperature iznad 80/60 °C. Za detaljniju analizu rada ispitivanih kondenzacijskih kotlova bilo bi potrebno imati i podatke o temperaturama vode u radijatorskom sustavu. Prema katalogima proizvođača kondenzacijskih plinskih kotlova, u režimu rada grijanja 80/60 °C pojavit će se kondenzacija. No, za temperaturu vode u povratnom vodu od 60 °C, dimni plinovi moraju imati izlaznu temperaturu barem 70 °C, te uz faktore pretička zraka iz tablice 3, može se zaključiti da do kondenzacije neće doći. Važno je naglasiti da se s povećanjem pretička zraka smanjuje temperatura kondenzacije vodene pare, pa bi se izgaranjem s vrijednostima pretička zraka do 1,1 postigla temperatura kondenzacije veća od 56 °C te, uz postojanje potrošača topline na niskoj temperaturi, dobio stupanj djelovanja kondenzacijskog kotla blizu 100 %.

6. Literatura

- [1] Che, Defu; Liu, Yanhua; Gao, Chunyang. Evaluation of retrofitting a conventional natural gas fired boiler into a condensing boiler // *Energy Conversion and Management*, 45(2004), 20, 3251–3266. DOI:10.1016/j.enconman.2004.01.004
- [2] Kuck J. Efficiency of vapour-pump-equipped condensing boilers // *Applied Thermal Engineering*, 16(1996), 3, 233-244. DOI: 10.1016/1359-4311(95)00067-4
- [3] Zhao, Xiling; Fu, Lin; Yuan, Weixing; Li, Feng; Li, Qingsheng. The Potential and Approach of Flue Gas Waste Heat Utilization of Natural Gas for Space Heating // *Procedia Engineering*, 146(2016), 494 – 503. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.06.380
Cirillo E, Lazzarin R, Piccininni F, Caliaro R. Energy analysis of a central domestic hot water heating system equipped with condensing boilers // *International journal of energy research*, 14(1990), 1; 73–81; DOI: 10.1002/er.4440140109
- [4] Hasan A, Kurnitski J, Jokiranta K. A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating // *Energy Build*, 41(2009), 470–479. DOI:10.1016/j.enbuild.2008.11.016.
- [5] Chen, Qun; Finney, Karen; Li, Hanning; Zhang, Xiaohui; Zhou, Jue; Sharifi, Vida; Swithenbank Jim. Condensing boiler applications in the process industry // *Applied Energy*, 89(2012), 1, January, 30–36, DOI:10.1016/j.apenergy.2010.11.
- [6] Stephan K., Mayinger, F. *Thermodynamik, Band 1: Einstoffsysteme*, 15. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1998. ISBN 978-3-642-30098-1.

Energetska obnova obiteljskih kuća na području Osječko-baranjske županije

Energy reconstruction family houses in Osijek-Baranya county

D. Hećimović^{1,*}, D. Vidaković², K. Pavelić²

¹Bonzo d.o.o., Osijek, Hrvatska

²Građevinski fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dhecimovic@inet.hr

Sažetak

Članak naglašava problematiku i mogućnosti unaprijeđenja energetske učinkovitosti obiteljskih kuća na području Osječko-baranjske županije. Navedena je sva bitna zakonska regulativa koja propisuje energetske certifikacije zgrada i sufinanciranje mjera energetske obnove obiteljskih kuća na području Republike Hrvatske. U članku su prikazani i statistički obrađeni podaci za stotinu energetskih pregleda obiteljskih kuća na kojima su primjenjene mjere poboljšanja energetske učinkovitosti u okviru Programa energetske obnove obiteljskih kuća za razdoblje od 2014. do 2020. godine. Također su prikazani i podaci o mjerama koje su stvarno poduzete za unaprijeđenje energetske učinkovitosti i rezultati koji su se tim mjerama postigli. Promatra se odnos godine izgradnje obiteljskih kuća, postojećih i obnovljenih energetske svojstava (razreda) kao i primjenjene mjere za njihovo povećanje, te isplativost njihovog poduzimanja na području Osječko-baranjske županije.

Abstract

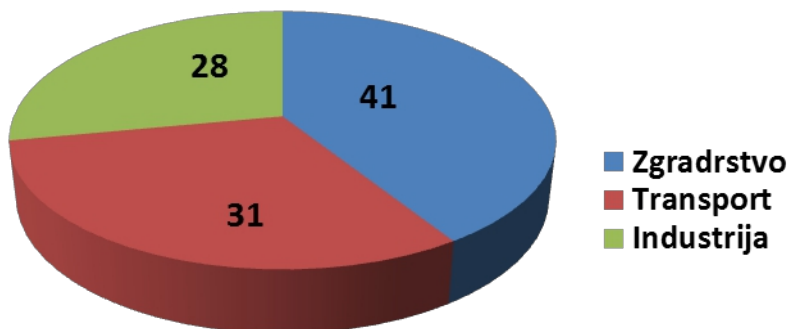
The article points out problems and possibility advancement energy efficiency family houses in Osijek-Baranja county. Mentioned most important law regulation which regulate energy certification of buildings and subsidize measures of energy reconstruction family houses in Republic of Croatia. In article is present and statistical treat for hundred energy audit family houses which on use measures for improvement energy efficiency as part of Program energy reconstruction family houses for time period 2014. – 2020. year. In article is present also test ratings about measures which in fact use for advance energy efficiency and results which is achievement that measures. From introduced we might observe relationship between year of construction family house, existing and renew energy performance (class) as well as use measures for increase energy performance and cost effectiveness use measures for improvement energy efficiency in Osijek-Baranja county.

Ključne riječi: law regulation, energy performance, energy certification of buildings, family houses, measures for improvement energy efficiency, energy savings



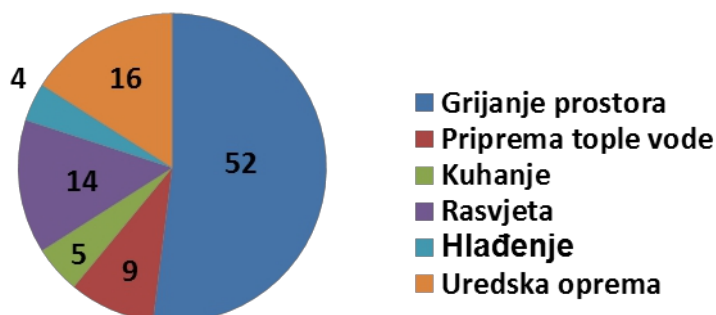
1. Uvod

Kako se velik broj ljudskih aktivnosti odvija u građevinama ili pomoću građevina, ne treba se čuditi činjenici da se u njima troši značajna količina energije. Stoga je pitanje uštede energije u građevinama, a posebice zgradama, jedna od značajnijih tema i izazova građevinarstva. To područje je uređeno legislativom na razini Europske unije, te je zato usklađivanje s tim obveza Republike Hrvatske. Potrošnja energije po pojedinim sektorima prikazana je na slici 1.

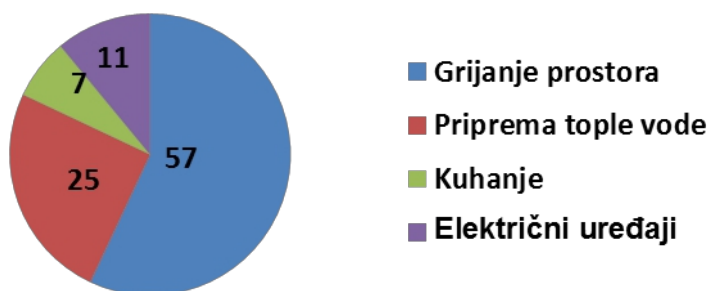


Slika 1. Udjeli (%) u potrošnji energije u EU (prema [1])

Potrošnja energije u zgradama po pojedinim sektorima (javnom i stambenom) i prema namjeni prikazana je na slikama 2a i 2b.



Slika 2a. Udjeli (%) energetske potrošnje u zgradama javnog sektora (prema [1])



Slika 2b. Udjeli (%) energetske potrošnje u zgradama stambene namjene (prema [1])

U zgradama se troši oko 40% od ukupne potrošnje energije i stoga je izuzetno važna njihova energetska učinkovitost, tj. osiguravanje minimalne potrošnje energije da bi se postigla optimalna ugodnost boravka i korištenja zgrada. Potrošnja energije u zgradi ovisi o karakteristikama zgrade (obliku i konstrukcijskim materijalima), energetskim sustavima u njoj (sustav grijanja, hlađenja, prozračivanja, električnih uređaja i rasvjete koji se u njoj koriste), njenoj orijentaciji, ali i o klimatskim uvjetima podneblja u kojem se nalazi.

Zgrade u Hrvatskoj većinom su građene prije 1987. godine te kao takve nemaju odgovarajuću toplinsku zaštitu. Čak oko 83% zgrada ne zadovoljava ni tehničke propise iz 1987. (ondašnji JUS je propisivao 10 - 12 cm toplinske izolacije) i imaju velike gubitke topline, uz prosječnu potrošnju energije za grijanje od 150 do 200 kWh/m², što ih svrstava u energetski razred E. Povećana potrošnja energije podrazumijeva i veće emisije CO₂ u atmosferu te je nužno poduzeti potrebne mjere kako bi se smanjila njihova potrebna potrošnja i racionaliziralo korištenje dostupnih energenata.

Kako većina obiteljskih kuća u Republici Hrvatskoj nema odgovarajuću toplinsku zaštitu ovojnice i vanjsku stolariju, a niti energetski učinkovit sustav grijanja, dolazi do rasipanja energije, odnosno velikih gubitaka energije kroz zidove, krov, stropove ili pod te vanjsku stolariju, pa imaju visoke troškove za potrošenu energiju. Cjelovitom energetskom obnovom obiteljske kuće, primjenom više mjera kako bi se osigurao njihov sinergijski učinak, potrošnju energije može se smanjiti za 30 do 60% od ukupne energije [2] i [3]. Korištenjem obnovljivih izvora energije, uštede na troškovima za energiju mogu biti još i veće (ne gledajući početne troškove ugradnje).

Osnovne mjere energetske učinkovitosti koje se poduzimaju kod zgrada su [4]:

- Energetski pregled zgrade i energetski certifikat koji pokazuje energetsko stanje pojedine zgrade ili njenog dijela;
- Povećanje toplinske zaštite zgrade (postavljanje toplinske izolacije te energetski učinkovite stolarije);
- Povećanje učinkovitosti sustava grijanja, hlađenja i ventilacije;
- Povećanje učinkovitosti sustava rasvjete i električnih uređaja;
- Korištenje obnovljivih izvora energije.

2. Zakonska regulativa

Usklađivanje Hrvatske s pravnim stečevinama Europske unije kroz Strateške dokumente i projekte prikazano je u tablici 1. Prema Strategiji energetskog razvoja Hrvatske i aktualnim 3. Nacionalnim akcijskim planom za energetsku učinkovitost doneseni su Programi obnove zgrada različitih namjena (do 2020. godine) koji su isto navedeni u tablici 1.

Tablica 1. Dokumenti s kojima se Hrvatska usklađuje s EU na području energetske učinkovitosti

Strategije	Planovi	Programi
Dugoročna strategija za poticanje ulaganja u obnovu nacionalnog fonda zgrada Republike Hrvatske	Prvi Nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti RH za razdoblje od 2008. do 2010. godine	Program energetske obnove obiteljskih kuća za razdoblje od 2014. do 2020. s detaljnim planom za razdoblje od 2014. do 2016. godine
	Drugi Nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti RH za razdoblje do kraja 2013. godine	Program energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje od 2014. do 2020. s detaljnim planom za razdoblje od 2014. do 2020. godine
	Treći nacionalni akcijski plan energetske učinkovitosti RH za razdoblje od 2014. do 2016. godine	Program energetske obnove zgrada javnog sektora za razdoblje od 2016. do 2020. godine
	Nacionalni plan povćanja broja zgrada gotovo nulte potrošnje energije	Program energetske obnove zgrada komercijalnih nestambenih zgrada za razdoblje od 2014. do 2020. godine

Propisi iz područja energetske učinkovitosti prikazani su u tablici 2. a zakonske obaveze koji proizlaze iz tih propisa u tablici 3.

Tablica 2. Hrvatski propisi iz područja energetske učinkovitosti

Zakoni	Pravilnici	Uredbe
Zakon o energetskej učinkovitosti (NN127/14)	Pravilnik o energetskej pregledu zgrada i energetskej certificiranju (NN 49/16, 17/17)	Uredba o ugovaranju i provedbi energetske usluge u javnom sektoru (NN 11/15)
Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17)	Pravilnik o sustavnom gospodarenju energijom u javnom sektoru (NN 18/15, 06/16)	Tehnički propisi
	Pravilnik o kontroli energetskej certifikata zgrade i izvješća o redovitom pregledu sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi (NN73/15)	
	Pravilnik o osobama ovlaštenim za energetskej certificiranje, energetskej pregled zgrade i redoviti pregled sustava grijanja i sustava hlađenja ili klimatizacije u zgradi (NN 73/15, 133/15)	

Zakonske obveze o energetske certifikatima koje proizlaze iz propisa navedenih u tablici 2. prema kronološkom redosljedu su:

- Energetski certifikat i javno izložen za zgrade >1000m² (od 31.12.2012.),
- Energetski certifikat zgrade ili samostalne cjeline koji se prodaju (od 01.07.2013.),
- Energetski certifikat i javno izložen za zgrade >500m² (od 31.12.2013.),
- Energetski certifikat za stanove <50m² (od 01.01.2014.),
- Energetski certifikat i javno izložen za zgrade >250m² (od 09.07.2015.),
- Energetski certifikat za zgrade ili samostalne cjeline koje se iznajmljuju (od 01.01.2016.).

Prema Zakonu o izmjenama i dopunama zakona o gradnji 2017. godine više ne treba energetski certifikat za stambene zgrade koje se koriste manje od 4 mjeseca godišnje [5].

3. Mjere za povećanje energetske učinkovitosti

Obiteljske kuće čine oko 65% stambenog fonda u Hrvatskoj i najviše ih je izgrađeno prije 1987. godine te imaju nikakvu ili samo minimalnu toplinsku izolaciju [2] (obično je prema JUS-u iz 1970. godine ugrađivana toplinska izolacija 2 - 4 cm). Cilj energetske obnove obiteljskih kuća je povećanje energetske učinkovitosti kućanstava, smanjenje mjesečnih troškova za energiju i vodu za 30% do 60% te sa svim tim ukupno poboljšanje kvalitete života. Provedba programa doprinosi čistijem okolišu i ublažavanju klimatskih promjena te donosi direktnu i mjerljivu korist građanima, gospodarstvu i društvu u cjelini.

Mjere energetske učinkovitosti koje se poduzimaju u Programu energetske obnove obiteljskih kuća obuhvaćaju [3]:

- zamjena vanjske stolarije (koeficijent prolaska topline <1,4 za komplet);
- povećanje toplinske zaštite vanjske ovojnice na koeficijent prolaska topline U (W/m²K) <0,20 za kontinentalnu Hrvatsku za krov, strop i pod grijanog prostora prema negrijanom prostoru, <0,25 za kontinentalnu Hrvatsku za vanjski zid grijanog prostora, <0,25 za kontinentalnu Hrvatsku za pod prema tlu i ukopane dijelove grijanog prostora;
- ugradnja novog sustava s plinskim kondenzacijskim kotlom za povećanje energetske učinkovitosti sustava grijanja;
- ugradnja sustava sa sunčanim toplinskim pretvaračima (kolektorima) za grijanje potrošne vode ili potrošne vode i prostora;
- ugradnja sustava s kotlom na drvenu sječku/pelete ili sustava s pirolitičkim kotlom;
- ugradnja sustava s dizalicom topline za grijanje potrošne vode ili prostora;
- ugradnja sustava s fotonaponskim pretvaračima za proizvodnju električne energije.

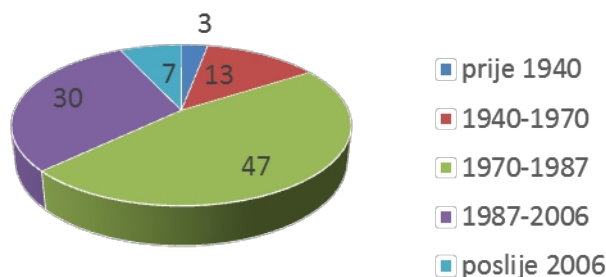
Prema Javnom pozivu objavljenom na web stranicama Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, a po pozivu građana (vlasnika kuća) odabrani certifikator izrađuje inicijalni pregled prilikom kojeg će procijeniti prihvatljivosti kuće za sufinanciranje te utvrditi zadovoljava li podnositelj zahtjeva propisane uvjete. Ako kuća zadovoljava uvjete, certifikator izrađuje prvi energetski pregled. Prvim energetskim pregledom utvrđuje se energetsko svojstvo postojeće zgrade Q_{H,nd,ref} (kWh/m²), specifična godišnja potrošnja energenata (kWh) i specifična godišnja emisija CO₂ (tCO₂) na osnovu postojećih podataka

o obiteljskoj kući i izvedenom stanju. Nakon poduzetih mjera energetske učinkovitosti vrši se izračun novog stanja energetske svojstva, specifične godišnje potrošnje energenata i specifične godišnje emisije CO₂ te se utvrđuje ušteda energije u odnosu na postojeće stanje.

Danas su na tržištu dostupni ili postoje različiti računalni programi za izračun potreban kod certificiranja zgrada, a kod kuća analiziranih u ovom članku korišten je Program za izračun toplinske energije u zgradama *KI Expert 2013*.

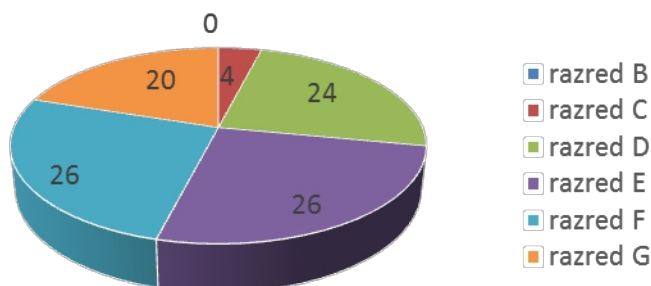
4. Provođenje mjera za povećanje energetske učinkovitosti obiteljskih kuća

U ovom članku obrađeni su podaci za 100 obiteljskih kuća u Osječko-baranjskoj županiji na kojima je izvršen inicijalni pregled te izrađen prvi energetski pregled. Nakon poduzetih mjera energetske učinkovitosti izrađen je i završni energetski pregled koji iskazuje učinkovitost i opravdanost za poduzimanje istih. Na osnovu javnog natječaja iz 2015. godine navedeni pregledi i radovi obnove su izvršeni u periodu 2015. – 2016. godine. Razdoblje izgradnje obnavljanih 100 obiteljskih kuća prikazano je na slici 3.



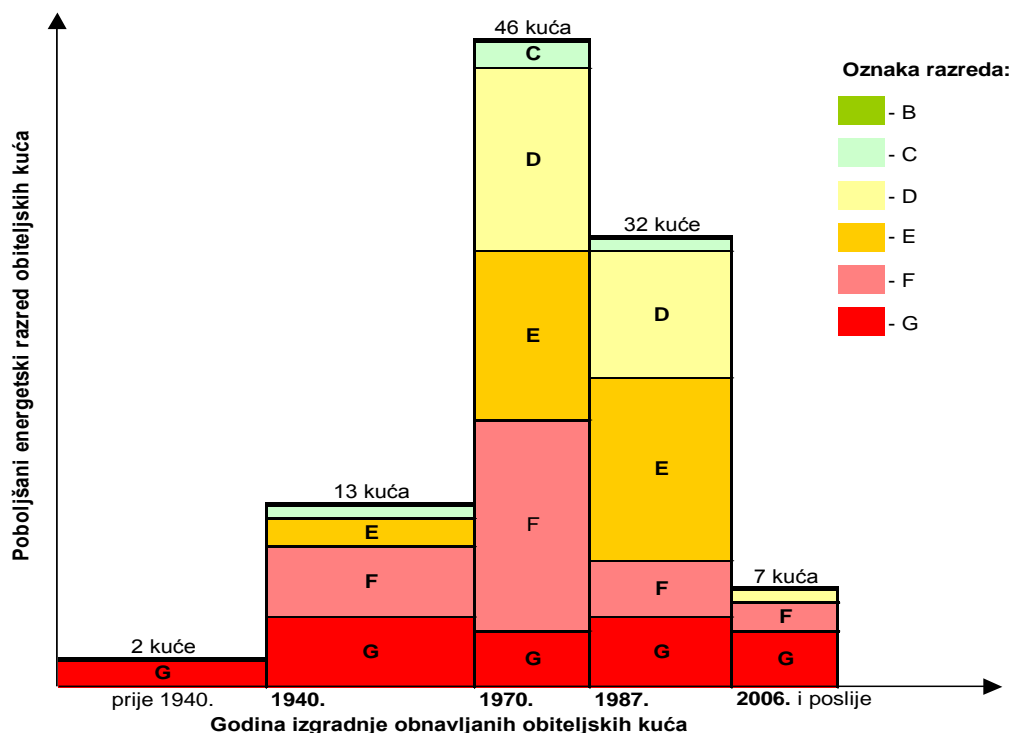
Slika 3. Razdoblje izgradnje obnavljanih obiteljskih kuća

Prije poduzetih mjera energetske obnove promatranih 100 obiteljskih kuća izvršen je prvi energetski pregled da bi se odredili energetski razredi koji su prikazani na slici 4.



Slika 4. Energetski razredi prije energetske obnove

Na slici 5 pokazan je odnos energetskih razreda prije obnove u odnosu na godine izgradnje kuća.



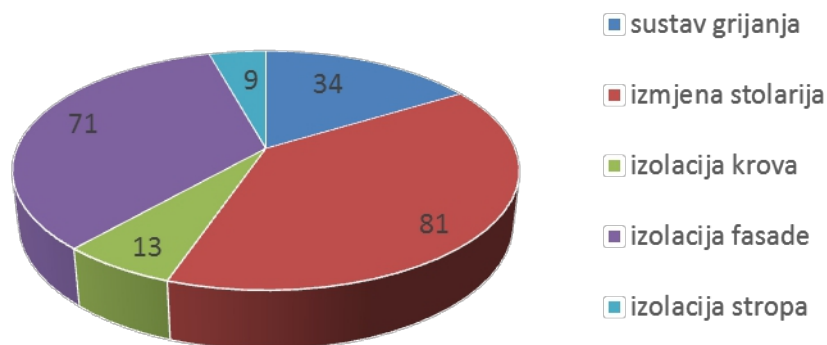
Slika 5. Energetski razredi po godinama izgradnje kuća prije obnove

Da bi se postiglo povećanje energetskih razreda na kućama su provedene od jedne do četiri mjere za poboljšanje energetske učinkovitosti (u prosjeku 2,08 mjera po kući). Najčešće poduzeta mjera je bila izmjena stolarije. Procjenjuje se da se ugradbom današnjih standardnih prozora (s $U_w = 1,36 \text{ W/m}^2\text{K}$) uštedi nešto više od polovice energije za grijanje (7.000 litara loživog ulja na 25 m^2 površine prozora, kroz 25 godina) u odnosu na kuće s drvenim prozorima iz 1980-tih godina (14.500 l loživog ulja na 25 m^2 površine prozora, kroz 25 godina), koji su kod nas još uvijek vrlo česti. Ugradbom prozora s iznimnim svojstvima toplinske izolacije (npr. Synego s $U_w=0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$) potrošnja energije za grijanje je manja od 30% u odnosu na kuće s drvenim prozorima iz 1980-tih godina [6]. Vlasnici su, prema prijedlogu mjera iz javnog poziva, odabirali ono što mogu financirati prema vlastitim mogućnostima (uz sufinanciranje Fonda za zaštitu okoliša). Minimalno ulaganje (zajedno sa sufinanciranjem Fonda) po kući je bilo 11.600 kn (samo zamjena vanjske stolarije), a najveće je bilo 168.000 kn (zamjena vanjske stolarije, izrada novog, toplinski učinkovitog pročelja i promjena sustava grijanja). Prema natječaju iz 2015. godine nije bila propisana minimalna ušteda koja se treba postići kroz sufinancirane mjere, a za sljedeći natječaj (za 2017. godinu) najavljuje se da će biti zahtjevana minimalna ušteda u energiji od 50%.

Kako pokazuje slika 6. poduzete mjere za povećanje energetske učinkovitosti na razmatranih 100 obiteljskih kuća obuhvaćaju:

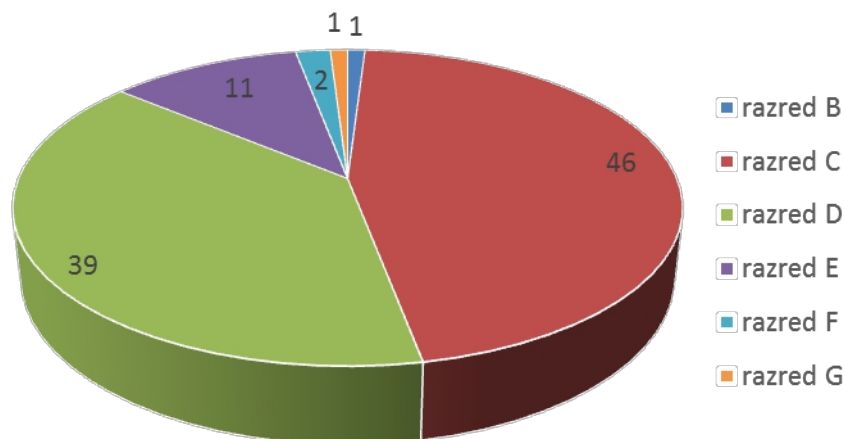
- izmjena vanjske stolarija (na 81 kući),
- povećanje toplinske zaštite vanjske ovojnice - vanjskog zida (na 71 kući), krova (na 13

kuća) i stropa prema negrijanom prostoru (na 9 kuća),
- novi sustav grijanja (na 34 kuće).



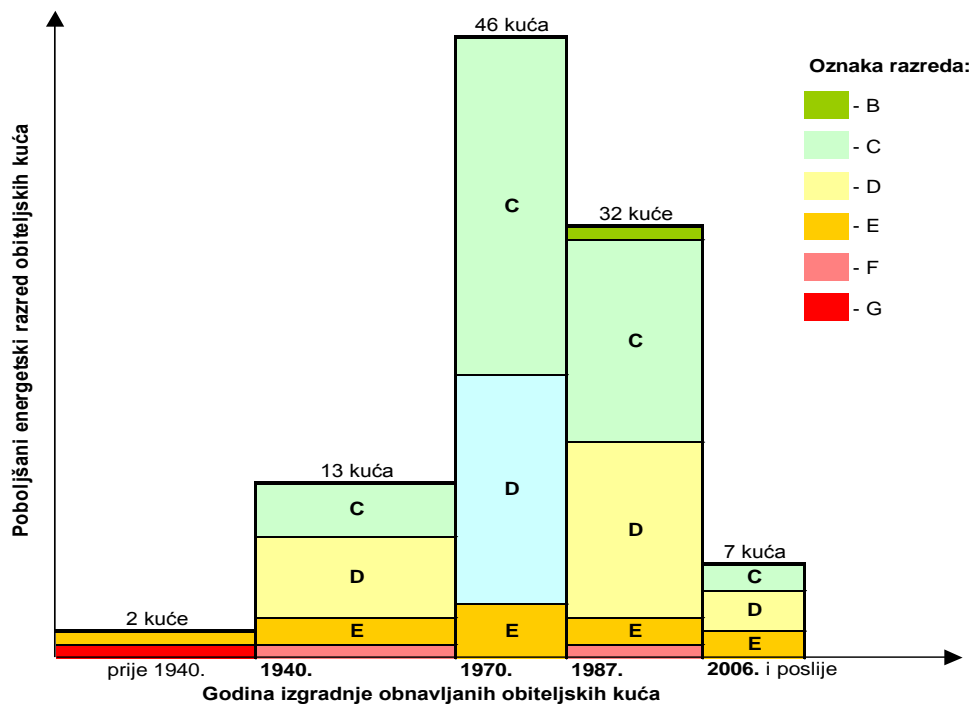
Slika 6. Udio primijenjenih mjera poboljšanja energetske učinkovitosti

Nakon energetske obnove obiteljskih kuća izvršen je drugi i završni energetski pregled kojim se određuje novi energetski razred. Rezultati za analiziranih 100 obiteljskih kuća su prikazani na slici 7.



Slika 7. Energetski razredi poslije energetske obnove

Udio razreda po godinama izgradnje kuća nakon poduzetih mjera energetske obnove pokazan je dijagramom na slici 8.



Slika 8. Poboljšani energetske razredi po godinama izgradnje kuća

5. Zaključak

U promatranom skupu certificiranih i obnovljenih obiteljskih kuća poduzetim mjerama energetske učinkovitosti poboljšani je energetske razred kod 85% obiteljskih kuća tako da su ostvarile razred B (samo jedna), C i D (prije obnove 72% kuća bilo je G, E i F razred), a ostale su zadržale postojeći razred (svega 11% obiteljskih kuća je zadržalo E razred, a 4% je F i G). To upućuje na ispravnost najavljenih mjera propisivanja minimalne uštede kod sufinanciranja mjera energetske učinkovitosti od strane nadležnog Fonda.

Prosječna ušteda u energiji za grijanje za svih 100 obiteljskih kuća iznosi 39% (izračunato računalnim programom). Minimalna ušteda kod kuća iz promatranog skupa bila je 5% (samo izmjena vanjske stolarije), a najveća ostvarena ušteda u energiji za grijanje je 63% i to je postignuto sinergijom mjera izmjene vanjske stolarije, povećanja toplinske zaštite vanjske ovojnice (vanjski zid) te promjenom sustava grijanja.

Iz analize odnosa godina izgradnje kuća i energetske razreda prije i poslije mjera obnove može se zaključiti da se unaprjeđenja mogu postići kod kuća svih razdoblja izgradnje te da povećanje razreda kod kuća na ovom području nije uvjetovano godinom izgradnje, nego ovisi o broju poduzetih mjera i kvaliteti ugrađenih materijala (prozora, toplinske izolacije i dr.).

Ukupna vrijednost radova provedenih mjera na ovih 100 obiteljskih kuća iznosi 7.340.000 kuna (s PDV-a). Od vrijednosti izvedenih radova vlasnici su investirali od 20 do 60%, a preostali dio financirao je Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, ovisno o području na kome se obiteljska kuća nalazi. Obzirom na navedenu veličinu ostvarene

uštede u potrošnji energije može se pretpostaviti da će se uložena financijska sredstva isplatiti za cca 5 do 20 godina (gledano kao jednostavni period povrata koji ne uzima u obzir promjenu vrijednosti uloženog novca s vremenom).

6. Literatura

- [1] Veršić, Zoran. Energetska učinkovitost u zgradarstvu, Stručno usavršavanje ovlaštenih arhitekata i ovlaštenih inženjera, Tehničko Veleučilište u Zagrebu, 2011, <http://seminar.tvz.hr/materijali/materijali11/11A03.pdf> (datum preuzimanja 10.05.2017.)
- [2] Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitosti. Energetska učinkovitost u zgradarstvu - Energetska obnova obiteljskih kuća, www.fzoeu.hr/hr (datum preuzimanja 05.05.2017.)
- [3] Andrassy, Mladen; Balen, Igor; Boras, Ivanka; Dović, Damir; Borković-Hrs, Željka; Lenić, Kristian; Lončar, Dražen; Pavković, Branimir; Soldo, Vladimir; Sučić, Boris; Švaić, Srećko. Priručnik za energetske certificiranje zgrada. UNDP, Zagreb, 2010.
- [4] Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja. Energetska obnova zgrada, www.mgipu.hr/default (datum preuzimanja 05.05.2017.)
- [5] Zakon o izmjenama i dopunama zakona o gradnji // *Narodne novine*, 20(2017)
- [6] Mein zuhause - Synego fenster. Brošura. REHAU Unlimited Polymer Solutions, <https://www.rehau.com/download/1589282/synego-broschuere.pdf> (datum preuzimanja 25.06.2017.)

Indikatori kvara u distributivnoj mreži *Fault indicators in the distribution network*

M. Nađ¹, S. Kaluđer^{2*}, K. Fekete³

¹ HEP-ODS, Elektra Vinkovci, Hrvatska

² HEP-ODS, Elektroslovanija Osijek, Hrvatska

³ Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: slaven.kaluder@hep.hr

Sažetak

U ovom radu je obrađena problematika indikacije kvara na distributivnim mrežama. Prikazan je način rada, odabira indikatora i metoda indikacije. Dalje su opisani načini prorade indikatora za nadzemnu mrežu i način prorade za podzemnu mrežu. Nakon toga je objašnjeno četiri glavna i jedan dopunski kriterij za lokaciju budućih indikatora u distributivnim mrežama te su ucrtane buduće lokacije indikatora kvara s obzirom na stručne kriterije.

Abstract

This work describes problem of fault indication in distribution networks. Paper describes functioning of fault indicators, selection of indicators and method for indicating faults. Further more it describes methods for tripping indicator for overhead network and methods for underground network. After that is explained the four main and one additional criterion for the location of future indicators in distribution networks. Considering the explained criterion the future fault indicators are shown.

Ključne riječi: fault indicators, location of fault indicators, distribution network

1. Uvod

Brzi rast elektroenergetskog sustava je tijekom nekoliko desetljeća rezultirao velikim brojem prijenosnih i distribucijskih vodova u svijetu. Distribucijske mreže su projektirane, izgrađene i puštene u pogon te opskrbljuju potrošače električnom energijom. Svaki sustav je podložan kvarovima što dovodi do zastoja u isporuci energije. Kvarovi mogu biti uzrokovani munjama, vjetrom, ledom, snijegom, pticama, proboj izolacije, kratki spojevi, habanjem opreme, pregrijavanjem ili nekim drugim čimbenikom. U većini slučajeva kvarovi se manifestiraju u obliku mehaničke štete te oni moraju biti uklonjeni. Električni kvarovi mogu biti prolazni i trajni. Kvar se mora u što kraćem vremenskom periodu locirati te utvrditi tip kvara koji je prouzročio zastoj u isporuci energije. Kupci zahtijevaju kontinuiranu i stabilnu opskrbu električnom energijom. Pri pojavi kvara u elektroenergetskom sustavu monter moraju po nalogu dispečerskog centra u što kraćem vremenu locirati kvar na terenu. Da bi se što brže i točnije pronašao kvar na sustavu ugrađuju se indikatori kvara. Indikatori kvara mogu biti namijenjeni za nadzemne i podzemne mreže. Nadzemni indikatori se mogu postaviti izravno na vodiče mreže, na stupove uz određenu udaljenost od vodiča te podzemno na kabelaške završetke u trafostanicama. Kada nastupi kvar u

mreži prije prorade zaštite proraditi će indikatori kvara. Indikator konstantno mjeri struju i reagira na promjenu magnetskog polja koje je posljedica povećanja vrijednosti struje kvara, indikator signalizira kvar ovisno o konstrukciji i karakteristikama. Ovisno o vrsti indikatora mogu signalizirati dozemni spoj, kratki spoj ili mogućnost signalizacije oba kvara. Monteri po obilasku mreže uz određenu svjetlosnu ili daljinsku signalizaciju brže i točnije pronalaze mjesto kvara. Prateći svjetlosni signal na indikatorima koje je struja kvara aktivirala, monter dolazi do dionice voda koji je u kvaru te pristupaju procesu otklanjanja kvara. Uz daljinsku dojavu na SCADA sustav ili GSM/GPRS dojavu u centar za vođenje sustavom stiže točna lokacija dijela mreže kroz koji je prošao kvar te aktivirao indikatore. Uz točnu lokaciju kvara ili dio mreže koji je u kvaru, ovisno o konfiguraciji mreže može se ponovno uspostaviti napajanje. Razvoj elektroenergetskog sustava i tržišta električnom energijom zahtjeva što kraće zastoje u isporuci električne energije, a to povećava važnost brzog lociranja i otklanjanja kvarova. Proces indikacije kvara u automatizaciji opreme sve više nalazi svoje mjesto te se indikatori kvara sve više koriste u elektroenergetskim sustavima [2]. Prve indikatore kvara je izradila tvrtka Horstmann GmbH u Njemačkoj 1946. godine. Kompanija Schweitzer počinje proizvoditi indikatore kvara 1948. godine u Sjedinjenim Američkim Državama gdje kreće njihova široka primjena [14]. Prvi indikatori kvara su imali ručni reset nakon kvara. S razvojem tehnologije su na tržište došli indikatori s automatskim resetom.

2. Načini djelovanja indikatora kvara

Indikatori kvara upotrebljavaju se za lociranje kratkih spojeva i zemljospojeva. U svom normalnom radu konstantno mjere struju (ili napon po potrebi) na vodu ili kabelu. Indikator kvara reagira na promjene magnetskog polja koje je uzrokovano promjenom struje koja teče kroz vod. U slučaju naglog povećanja struje uzrokovanog kvarom indikator proradi te ovisno o konstrukciji rezultira signalizacijom koja može biti lokalna (LED dioda) ili daljinska (korištenjem odgovarajućeg sistema za daljinski prijenos signala). Indikatori imaju ugrađenu zaštitu od krivog signaliziranja koje može nastati naglim povećanjem opterećenja ili uključivanjem voda pod punim teretom nakon dužeg prekida ili nakon djelovanja odgovarajuće zaštitne naprave. Indikatori za primjenu u SCADA sustavu i oni opremljeni sa LED diodama imaju odgovarajuće napajanje preko baterije ili lokalne sekundarne mreže.

Neki indikatori imaju automatsko vraćanje signalizacije u normalni položaj nakon povratka "normalne" struje opterećenja koja se može unaprijed definirati. Dobro isplanirani sustav za lokaciju kvara pomoću indikatora kvara može pomoći u brzom otkrivanju mjesta kvara. Odabir optimalnog rješenja zahtijeva dobro poznavanje mreže kako bi se odabrala najbolja mjesta za postavljanje indikatora. Sve važnije dijelove mreže je potrebno pokriti indikatorima koji se postavljaju duž zračnih vodova kako bi se mogla odrediti sekcija u kojoj je došlo do kvara [1]. Ne postoji niti jedna univerzalna metoda identifikacije kvara koja se može primijeniti za sve tipove uzemljenja i za identifikaciju svih tipova kvarova na srednjenaponskoj mreži. Indikatori kvara mogu biti za nadzemnu mrežu i za kabelsku podzemnu mrežu.

3. Metode indikacije kvarova

Mjerne metode se zasnivaju na skeniranju električnog i magnetskog polja na definiranoj i sigurnosnoj udaljenosti od faznih vodiča. Procesor indikatora na temelju amplitude, faznih odnosa i valnih oblika dobivenih signala određuje o kojoj se vrsti kratkog spoja ili dozemnog kvara radi [4]. Postoji više metoda za indikaciju kvara na SN mreži. Ovisno o vrsti i tipu indikatora razlikujemo one koji koriste jednu metodu za indikaciju ili one koji

kombiniraju više metoda za detekciju kvara. Najčešće korištene metode su: promjena amplitude petog harmonika, metoda prve poluperiode, metoda nulte komponente struje ($I_0 \square I_{0min}$), detekcija preko struje, detekcija kratkog spoja, detekcija neuspješnog preklapanja, promjena vodljivosti tijekom spoja otpora, promjena faktora snage tijekom spoja otpora i promjena aktivne snage tijekom spoja otpora [15].

Najčešće korištene metode su promjena amplitude petog harmonika i metoda prve poluperiode. U posebne metode se ubraja uklapanje otpornika kojim se povećava nulta struja u sekundarni krug prigušnice. Valni oblici i efektivne vrijednosti faznih struja se preko GPRS komunikacije u binarnom obliku prenose u centralni sustav. Parametriranje, provjera funkcionalnosti i očitavanje podataka može se provesti sa mjesta instalacije ili daljinski.

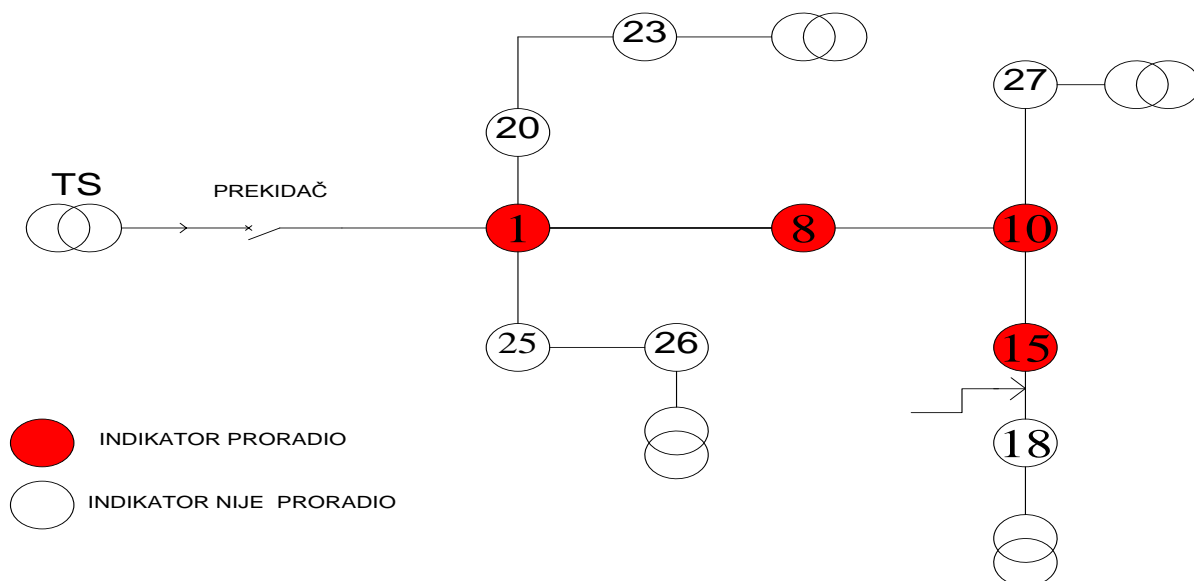
3.1 Odabir indikatora kvara

Uz pretpostavku da indikator mora imati pomoćne izlazne kontakte za spajanje sa daljinskom prijenosnom jedinicom, odabir indikatora ovisi isključivo o 4 glavna pitanja [2]:

Je li distribucijski radijalni sustav otvorene ili zatvorene petlje? Koja je vrsta uzemljenja sustava? Jesu li indikatori kvara za podzemne sustave ili nadzemne sustave? Koji tip indikatora kvara je potreban – samo za dozemne kvarove, za kratke spojeve ili za oboje? Široki izbor indikatora kvara dostupnih za primjenu na otvorenim uzemljenim petljama, koji pružaju indicaciju dozemnog kvara ili indicaciju kratkog spoja među fazama. Neki su pogodni za nadzemne sustave dok su drugi pogodni za podzemne sustave indikacije. Prema indikaciji kvara pojedini prepoznaju kvar preko strujnih transformatora, jedan dio se postavlja izravno na vodiče a pojedini se nalaze par metara ispod vodiča i oslanjanju se na promjenu elektromagnetskog polja. Razlikujemo indikatore kvara sa jednim senzorom te indikatore kvara sa 3 senzora posebno za svaku fazu gdje nam je potrebna velika točnost. Pokazatelj indikacije kvara može biti u obliku treptanja xenon cijevi li LED signalizacija dok drugi imaju digitalne ulaze za spajanje prijenosnog digitalnog terminala preko kojeg se očitava povijest kvarova. Ovisno o učestalosti kvarova i zahtjevima za kontinuiranu isporuku električnom energijom izabiru se indikatori koji imaju mogućnost povezivanja sa SCADA sustavom ili dojava kvara preko GSM/GPRS opreme. Prije postavljanja se vrši proračun struja kratkog i dozemnog spoja radi odabira odgovarajućih indikatora.

4. Indikatori kvara u distributivnim mrežama

4.1 Indikatori kvara na nadzemnim mrežama

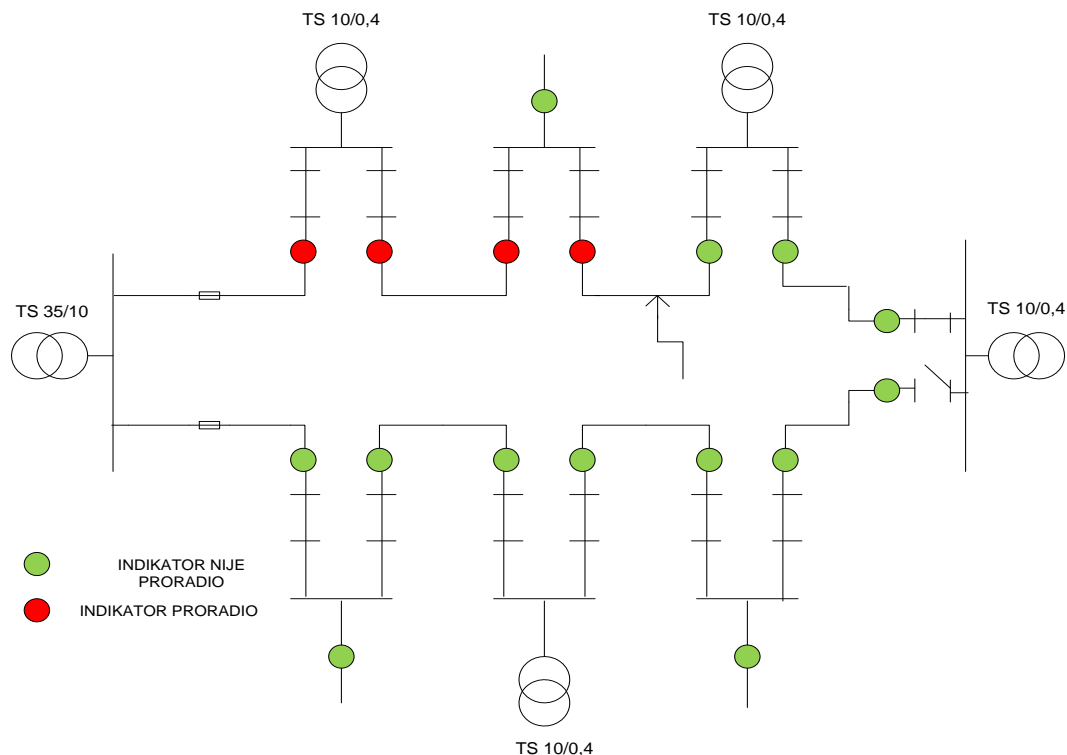


Slika 1. Princip djelovanja indikatora za nadzemnu mrežu

Indikatori kvara su postavljeni na strateške stupove uzduž dalekovoda (kao što su točke iza grananja voda i prekidača). Indikatori služe kao pomoć pri podijeli voda u sekcije te izdvajanju dionice voda koja je u kvaru. Kada nastupi kvar prije prorade zaštite indikatori registriraju kvar, dispečerska služba šalje ekipu da locira kvar te po mogućnosti otkloni kvar. Sa slike 1. se vidi da u slučaju kvara na nadzemnoj mreži između stupova 15 i 18 redom su proradili svi indikatori kroz koje je prošla struja kvara koja je prešla neku podešenu graničnu vrijednost za proradu indikatora. Prorada indikatora rezultira određenim svjetlosnim ili elektroničkim signalom. Aktivirali su se redom indikatori od napojne trafostanice do mjesta kvara na stupovima 1, 8, 10, 15. Ekipa koja traži kvar dolazi do stupova na kojima su indikatori te redom gledaju koji su indikatori proradili, između zadnjeg indikatora koji je proradio i sljedećeg koji nije se nalazi kvar kao sa slike 1. U slučaju da je kvar nastupio u jednom od odcjepa koji se nalaze na osnovnom vodu, indikatori bi proradili u tom odcjepu te bi ekipa ručno ili dispečer automatski isključili samo taj odcjep, a ostalim potrošačima na osnovnom vodu i ostalim odcjepima bi se uspostavila opskrba električnom energijom. Indikatorom se omogućuje brza lokaciju kvara te skraćuje vrijeme prekida napajanja ta mogućnost unapređuje uslugu kupcima električne energije i poboljšava općenitu sliku o isporučitelju energije dok značajno smanjuje troškove vezane za kvarove i zastoje u opskrbi.

4.2 Indikatori kvara u podzemnim kabelskim mrežama

U podzemnim mrežama indikatori su ugrađuju na kabelskim izlazima odnosno ulazima. Ugrađuju se na mjestima pogodnim za sekcioniranje mreže prilikom pronalazjenja kvara. Koriste se za otkrivanje kvara kratkog spoja i zemljospoja i mogu se montirati na više tipova kabelskih završetaka [7]. Ima više vrsta detektora neki će dati odvojene signale za kratki i zemljospoj lokalno uz pomoć bljeskanja diode ili daljinski pomoću komunikacijskog modula. Ovi indikatori osiguravaju brzu lokaciju kvara te omogućuju smanjenje vremena ispada. Uz pomoć ovih indikatora dosta se izbjegava nepotrebna uporaba prekidača i linijskih rastavljača radi lociranja kvara. Razlikujemo kabelske indikatore koji se koriste kod uzemljenih mreža i kod neuzemljenih mreža sa ili bez daljinskog vođenja.



Slika 2. Djelovanje indikatora kvara u kabelskoj jednostrano napajanoj podzemnoj mreži

Prema slici 2 vidimo da su proradila četiri indikatora kroz koje je prošla struja kvara. Nije potrebno isključiti cijelo vodno polje nego samo određene trafostanice koje su ispred kvara. Mreža je prstenasta pri čemu vodovi predstavljaju rezervu jedan drugom. U normalnom pogonu, rasklopno mjesto je otvoreno, tako da mreža u stvari predstavlja zrakastu mrežu. Ako dođe do kvara na nekoj dionici jednog od izvoda, ta dionica se isklapa s obje strane, a rasklopno mjesto se zatvara, tako da se dio potrošača s jednog voda (oni iza mjesta kvara) napaja preko drugog voda. Normalni pogon sa zatvorenim rasklopnim mjestom (dvostrano napajanje), iako je tehnički moguć i predstavlja sigurniji način napajanja rijetko se izvodi, jer iziskuje veća ulaganja u opremu (prekidače, zaštitu) i održavanje, što čini ovu izvedbu skupom. Primjenjuje se izuzetno za napajanje potrošača koji su posebno osjetljivi na prekide napajanja [6].

5. Kriteriji za lokaciju indikatora kvara u distributivnim mrežama

Za pravilnu lokaciju indikatora kvara u obzir se uzimaju četiri osnovna kriterija i jedan dodatni da bi indikator ispunio svoju ekonomsku isplativost i tehničku funkciju, a to su :

5.1 Broj trafostanica na odcjepu ili osnovnom vodu ($m \geq 3$ kom)

Na odcjepima koji imaju više od 3 trafostanice i veću instaliranu snagu potrebno je postaviti indikator kvara jer imamo puno potrošača. Zbog toga mora biti što brža uspostava isporuke električne energije.

5.2 Duljina dalekovoda ($l > 5$ km)

S obzirom na duljinu dalekovoda i na broj stupova moramo vodno polje podijeliti u sekcije koje ćemo pokriti indikatorima kvara. Duljina osnovnog voda i broj odcjepa na vodu nam

određuju broj indikatora koje je potrebno ugraditi da bi indikacija bila efikasna i isplativa. Iz tablice 4.1. vidimo duljine osnovne trase i odvojaka na vodnom polju ZIB.

5.3 Konfiguracija terena, pristupačnost stupovima

Stupovi na koje se montiraju indikatori kvara moraju biti pristupačni monterima u svako doba dana ili noći. U pravilu se indikatori uvijek montiraju na stupove uz prometnice gdje će monterima biti najlakše uočiti svjetlosnu signalizaciju s indikatora. Konfiguracija terena određuje lokaciju indikatora jer neke dionice voda prolaze preko velikih slivnih kanala uz rijeke, prolaze kroz privatne ograđene šumarke i oranice. Takve dionice se moraju pokriti indikatorima jer je njihov obilazak u trenutku kvara postale veliki problem.

5.4 Duljina odcjeka ($l > 1,5$ km)

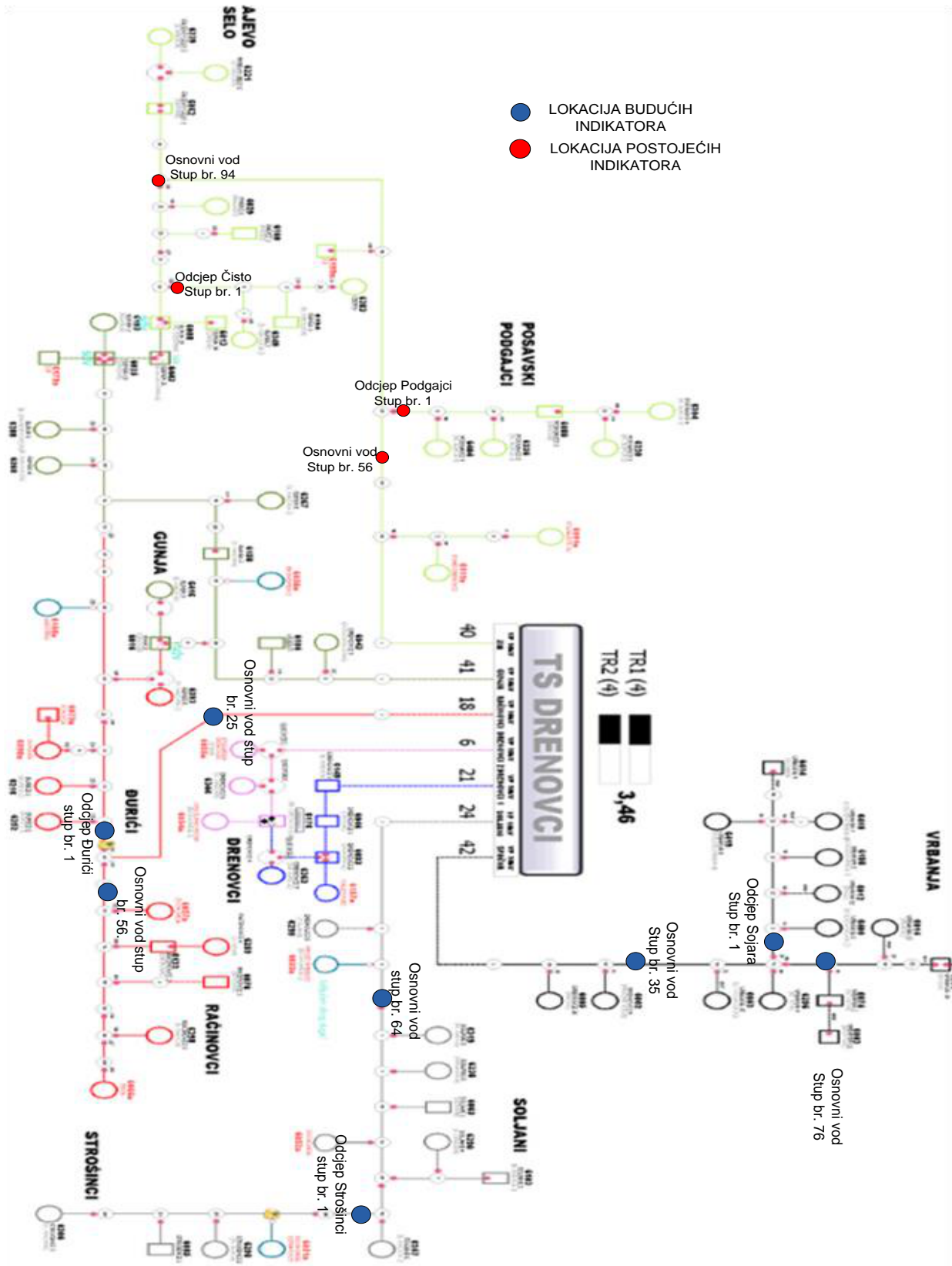
Ako je duljina odcjeka veća od 1,5 km na taj odcjep se mora postaviti indikator kvara jer je dovoljno dugačak da stvori probleme monterima pri pronalasku kvara tokom zastoja u isporuci energije.

5.5 Konstantna isporuka električne energije potrošačima

Pojedina gospodarstva ili elektrane koje koriste infrastrukturu od distributera električne energije imaju ugovore s distributerom o neprekidnoj isporuci energije. U slučaju kvarova na dalekovodima distributer po ugovoru plaća penale takvim gospodarstvima po satu zastoja u isporuci energije. Stoga je bitno da se na dijelove mreže na kojima su takva gospodarstva postave indikatori kvara zbog što brže uspostave isporuke električne energije u cilju smanjenja troškova skupih penala zbog zastoja.

6. Rezultati

U ovom poglavlju prikazani su postojeći indikatori kvara na 10 kV vodnom polju ZIB te lokaciju budući indikatora koji se trebaju ugraditi na osnovu opisanih kriterija. Lokacija postojećih indikatora kvara na vodnom polju ZIB zadovoljava kriterije. Osnovni vod je duži od 5 km, indikatori su ugrađeni na stupove koji su pristupačni te se mogu uočiti s velike udaljenosti. Odcijepi na kojima se nalaze indikatori su veći od 1,5 km te ima više od 3 TS 10/0,4 kV. Lokacija budućih indikatora kvara je prikazana na slici 3. te su predviđeni indikatori postavljeni prema kriterijima za lokaciju opisanih u 5. poglavlju ovog rada. Postavljeni su indikatori na vodna polja Račinovci, Spačva i Soljani. Na VP 10 kV Račinovci ukupne duljine 20,217 km s 12 TS 10/0,4 kV predviđena su 3 indikatora kvara, dva indikatora su predviđena na osnovnom vodu prema Račinovcima na stupovima 25 i 56. Posljednji indikator se predviđa na 1. sup odcjeka za Đuriće ukupne duljine 8,453 km sa 6 TS 10/0,4. Na VP 10 kV Soljani ukupne duljine 20,23 km s 13 TS 10/0,4 kV predviđa se 2 indikatora kvara. Prvi indikator se predviđa za osnovni vod na 64. stupu. Drugi indikator se predviđa na stupu br. 95 koji je pristupačan za obilazak te se nalazi iza rastavne sklopke za Strošince. Iza indikatora za Strošince se nalazi 4 TS 10/0,4 kV. Na VP 10 kV Spačva ukupne duljine 18,09 km sa 17 TS 10/0,4 kV predviđa se 3 indikatora kvara. Prvi indikator se predviđa na stupu br. 35 na ulazu u selo Vrbanja iza dvije TS 10/0,4 kV koje se nalaze u Drenovcima. Drugi indikator se predviđa na stupu br. 76 na osnovnom vodu. Sa dva indikatora podijeljen je osnovni vod u 3 sekcije. Treći indikator se predviđa na stupu br. 1 odcjeka za TS 10/0,4 kV Vrbanja 9 ukupne duljine 2,55 km sa 6 TS 10/0,4 kV.



Slika 3. Lokacija budućih indikatora kvara uz postojeće na vodnom polju ZIB [11]

7. Zaključak

U cilju smanjenja vremena zastoja u isporuci električne energije i lakšem pronalasku dijela mreže koji je u kvaru u ovom radu je objašnjena indikacija kvara u distributivnim mrežama. S obzirom na razgranatost mreže, duljine vodova i teren na kojem se nalaze vodovi indikatori kvara su našli bitnu primjenu u distributivnim mrežama. Razvoj elektroenergetskog sustava i razvoj tržišta električne energije kvarove svrstava u tehničke probleme koji bi se trebali što lakše otklanjati. Indikatori kvara su izuzetno korisni pri lociranju užeg područja kvara. Automatizacijom distributivne mreže HEP ODS-a na području Pogona Županje ugrađeni su indikatori kvara koji služe za indikaciju dozemnog i kratkog spoja. S obzirom na stručne kriterije za lokaciju indikatora kvara na shemi 10 kV vodnih polja TS Drenovci su ucrtane predložene lokacije budućih indikatora kvara koji bi svojim djelovanjem pomogli monterima pri pronalasku kvarova. U odnosu na postojeće indikatore na samo jednom 10 kV vodnom polju s budućim indikatorima bi se bitno smanjio potreban broj montera za pronalazak kvara. Smanjilo bi se vrijeme za pronalazak i otklanjanje kvara, a s tim bi se poboljšala kvaliteta isporučene električne energije. Na kraju se zaključuje da instaliranje indikatora kvara u distributivne mreže predstavlja jedan od bitnih komponenata u automatizaciji mreža. Ugradnjom indikatora kvara Hrvatskoj elektroprivredi bi se dugoročno smanjili troškovi održavanja i gubitaka radi zastoja u isporuci električne energije.

8. Literatura

- [1] Marko Samardžić, "Indikacija kvarova u distribucijskim mrežama uzemljenim preko rezonantne prigušnice" CIREĐ, Trogir/Seget Donji, 11. - 14. svibnja 2014.
- [2] James Northcote-Green, Robert Wilson, "Control and automation of electrical power distribution system" Taylor & Francis Group, Raleigh, North Carolina, 2007.
- [3] Line Troll 3500 "Intelligent directional fault-current indicator for 6-132 kV overhead lines" katalog proizvoda, NorTroll, Deltatronic Technology Sales, Austria, 2001.
- [4] Line Troll "Indikatori kvara za pronalaženje kratkih spojeva i zemljospojeva" katalog proizvoda, NorTroll, Deltatronic Technology Sales, Austria, 2001.
- [5] "FI series, Fault indicator" Creative Distribution Automation C.O. LTD. Beijing, P. R. China
- [6] Mihovil Ivas, "Lociranje kvara u razdjelnim mrežama" magistarski rad, Zagreb 2007.
- [7] IEL: Tehnička dokumentacija "Daljinsko vođenje trafostanica (raskolopišta) 10(20)/0,4 kV, rastavnih naprava, nadzemnih i kabelskih SN mreža (Napredne distribucijske mreže – Smart Grids)" Razvoj, proizvodnja, inženjering industrijske elektronike Zagreb
- [8] Cable Troll "Indikatori kvara na kabelima" Katalog proizvoda, NorTroll, Deltatronic Technology Sales, Austria, 2001.
- [9] Krunoslav Slivarić, Alen Varzić, Marko Šporec, "Tehničko rješenje primjene GPRS komunikacije za prihvatanje informacija u sustavu daljinskog vođenja (SDV)" CIREĐ, Sveti Martin na Muri 13.-16. svibnja 2012.
- [10] MEg61.4 "Indikator kvara na SN zračnim vodovima" Katalog proizvoda, Tectra, Zagreb 2013
- [11] HEP ODS DP Vinkovci: Tehnička dokumentacija, Odjel za održavanje, rujan 2016.
- [12] Alen Katić, "Stalnost isporuke kao mjerilo kvalitete opskrbe električnom energijom u srednjenaponskoj mreži DP Elektra Karlovac" CIGRE Cavtat 06.-10. studenog 2005.
- [13] HEP ODS DP Vinkovci: DUC Vinkovci, rujan 2016.
- [14] https://en.wikipedia.org/wiki/Fault_indicator
- [15] M. M. Saha, J. Izykowski, E. Rosolowski, "Fault location on power networks", Springer, London, 2010.

Primjena računalnog programa Thorium A+ za izračun uštede zamjene standardnog kotla s kondenzacijskim i ugradnjom termoregulacijskih ventila na ogrjevna tijela ***Use of Thorium A+ computer program for calculation of energy savings in case of replacing standard natural gas boiler with more efficient condensing boiler and installation of thermoregulation valves***

M. Rašić^{1,*}, D. I. Rendulić¹, H. Glavaš², D. Vidaković³

¹Thorium Software d.o.o., Hrvatska

²Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Hrvatska

³Građevinski fakultet Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: rasic.marko@gmail.com

Sažetak

Svaka energetska obnova zgrade iziskuje provedbu energetskog pregleda i prijedlog troškovno optimalnih mjera energetske učinkovitosti. Učinkovita vanjska ovojnica za posljedicu povlači rekonstrukciju sustava grijanja. Cilj rada je iskazati uštede prilikom zamjene standardnog kotla s kondenzacijskim s ugradnjom termoregulacijskih ventila na ogrjevna tijela unutar tipskog objekta u kontinentalnom djelu zemlje. Izračun je proveden uvažavajući norme te koristeći računalni program za energetske certificiranje i fiziku zgrada Thorium A+.

Abstract

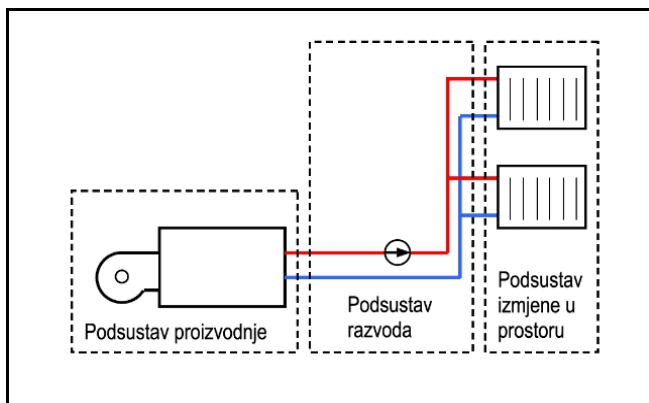
Reconstruction of buildings on energy efficiency standards requires energy audit in order to propose cost-optimal energy efficiency measures. Making more effective external envelope of building consequently draws the reconstruction of the heating system. Paper analyses energy savings in case of replacing standard boiler with condensing one, and mounting of thermoregulation valves on heating units, inside of typical object in continental area. The calculation was carried out in accordance with the standards and using Thorium A+ computer program for energy performance certification and building physics.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, termo-tehnički sustav, kotlovi, kondenzacijska tehnika, Thorium A+

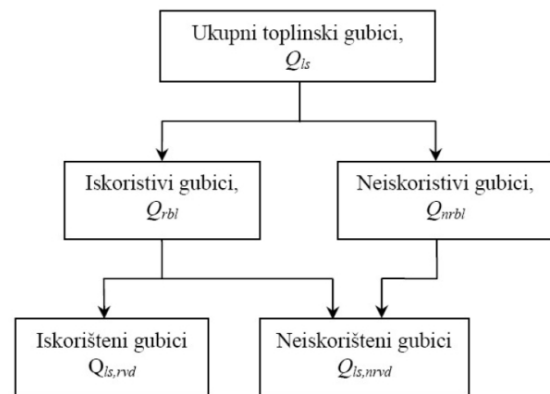
1. Uvod

Energetskoj obnovi obavezno prethodi proces energetskog pregleda i određivanja energetskog razreda (od A+ za one s najboljim energetskim svojstvima do G za najslabije,

tj. energetske najnepovoljniji razred [3]). Prilikom analize energetske svojstava zgrade bitno je predložiti troškovno optimalne mjere energetske obnove koje je moguće provesti na zgradi i preporuku korištenja zgrade ukoliko se mjere ne mogu iskazati ili se mjere ne mogu realizirati. Također prilikom rekonstrukcije dijelova objekta ili sustava koji predstavljaju sastavni dio građevine potrebno je u glavnim projektima iskazati uštedu u energiji i razinu investicije. Cilj rada je analizirati mjeru modernizacije termo-tehničkog sustava objekta na razini stana u višestambenoj zgradi. Većina stambenog fonda koristi standardne plinske kotlove za grijanje i pripremu tople vode (PTV-a) u kombinaciji s ogrjevnim tijelima bez termoregulacijskih ventila. U radu provodimo analizu zamjene postojećeg kotla kondenzacijskim i zamjenu postojećih ventila na ogrjevnim tijelima termoregulacijskim. Elementi termotehničkog sustava dijele se u tri podsustava: proizvodnja, razvod i predaja. Za svaki podsustav računa se individualni stupanj učinkovitosti. Slika 1. prikazuje osnovnu shemu sustava grijanja prostora.



Slika 1. Osnovna shema sustava grijanja [1]



Slika 2. Podjela toplinskih gubitaka [1]

Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama temelji se na normama na koje upućuje Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada (NN 48/14). Algoritam započinje s izračunom toplinske energije na izlazu iz sustava predaje toplinske energije u prostor i završava izračunom toplinske energije na ulazu u sustav proizvodnje toplinske energije, [1]. Na slici 2 prikazana je podjela toplinskih gubitaka prema HRN EN 15316-1 i HRN EN 15306.

Ukupni toplinski gubici (indeks *Is* - eng. loss) dijele se na (slika 2):

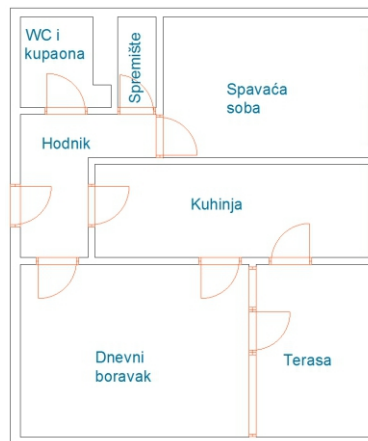
- iskoristive gubitke (indeks *rbl* - eng. recoverable) – to su oni toplinski gubici dijelova sustava (kotlova, spremnika, cjevovoda, regulacije i dr.) koji se mogu vratiti u grijani prostor tijekom sezone grijanja i smanjiti toplinsku energiju $Q_{em,out}$ koju je ogrjevnim tijelima potrebno predati u grijani prostor
- neiskoristive gubitke (indeks *nrbl* – engl non-recoverable) – to su oni toplinski gubici koji se ne mogu iskoristiti za grijanje prostora, a predstavljaju razliku ukupnih i iskoristivih toplinskih gubitaka



- c) iskorištene gubitke (index $I_{s,rvd}$ - engl. losses, recovered) - predstavljaju stvarno iskorišteni dio iskoristivih gubitaka za smanjenje $Q_{em,out}$
- d) neiskorištene gubitke (index $I_{s,nrvd}$ - engl. losses, non-recovered) - predstavljaju u konačnici neiskorišteni dio ukupnih gubitaka koji se nije iskoristio za smanjenje $Q_{em,out}$, i računaju se kao razlika ukupnih i iskorištenih gubitaka (prema (2) iz HRN EN15306) [1]

2. Osnovne informacije o stanu u kojem se nalazi termotehnički sustav

Objekt na kojem provodi analiza zamjene plinskog kotla je stan u više stambenoj zgradi izgrađenoj 80-tih godina na lokaciji Zagreb Maksimir. Vanjski zidovi su armirano betonski (koef. prolaska topline $U=3,2$ W/K), a stolarija drvena IZO ($U=2,9$ W/K). Stan je okružen grijanim prostorima sa svih strana osim vanjskog zida i otvora prema istoku te zida prema negrijanom stubištu. Tlocrt stana vidljiv je na slici 3.



Slika 3. Tlocrt stana

Zgrade iz perioda od 1970. do 1987. god. karakterizira gradnja prema prvim propisima u SFRJ o toplinskoj zaštiti zgrada, samo s vrlo slabom toplinskom izolacijom (2 - 4 cm heraklita, drvolita, okipora ili sl.) i sa zidovima koji su armiranobetonski (debljine 16 - 18 cm) ili od opeke ili opekarskih blokova (19 cm) [4]. U tablici 1.1. prikazani su osnovni parametri zgrade.

Tablica 1. Osnovni podaci analiziranog objekta

Oplošje grijanog dijela zgrade A [m ²]	29,29
Oplošje vanjske ovojnice bez otvora [m ²]	2,49
Oplošje podova [m ²]	0,00
Oplošje zidova prema negrijanim prostorijama [m ²]	3,50
Oplošje otvora [m ²]	26,80
Obujam grijanog dijela zgrade V_e [m ³]	181,30
Faktor oblika zgrade f_o [m ⁻¹]	0,16
Ploština korisne površine zgrade A_k [m ²]	58,30



Sukladno energetske svojstvima za referentnu klimatsku postaju stan je svrstan u energetske razred C ($Q'_{Hnd} > 50 < 100$ kWh) s vrijednošću $Q'_{Hnd} = 57,70$ kWh/m². Uštedu se računaju uvažavajući stvarne klimatskih uvjeta tj. klimatske postaje Zagreb Maksimir. Q'_{Hnd} za stvarne podatke iznosi 4.362,65 kWh, a Q'_{Hnd} 74,83 kWh/m². U tablic 2 vidljivi su rezultati referentnog stanja za izračun isporučene E_{del} i primarne energije E_{prim} .

Tablica 2. Rezultati proračuna prema podacima stvarne klimatske postaje

Oplošje grijanog dijela zgrade A (m ²)	29,29
Obujam grijanog dijela zgrade V _e (m ³)	181,30
Faktor oblika zgrade f ₀ (m ⁻¹)	0,16
Ploština korisne površine A _k (m ²)	58,30
Godišnja potrebna toplina za grijanje Q _{H,nd} (kWh/a)	4362,65
Godišnja potrebna toplina za grijanje po jedinici ploštine korisne površine (za stambene zgrade) Q _{H,nd} (kWh/m ² a)	74,83 (max=51,31)
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka po jedinici oplošja grijanog dijela zgrade H' _{tr,adj} (W/m ² K)	2,96 (max=1,05)
Koeficijent transmisijskog toplinskog gubitka H _{tr,adj} (W/K)	86,72
Ukupni godišnji gubici topline Q _i (MJ)	39847,45
Godišnji iskoristivi unutarnji dobici topline Q _i (MJ)	9192,74
Godišnji iskoristivi solarni dobici topline Q _s (MJ)	33907,36
Ukupni godišnji iskoristivi dobici topline Q _g (MJ)	43100,11

3. Postojeći sustav grijanja

Sustav grijanja sastoji se od kombi-bojlera (kotla) proizvođača Vaillant, nazivne snage 18 kW, koji podmiruje potrebe za grijanje i pripremu PTV-a. U stanu se nalaze četiri ogrjevna tijela ukupne nazivne snage 7,78 kW, bez ugrađenih termoregulacijskih ventila. Prijedlog mjere energetske učinkovitosti (EnU) sastoji se od zamjene postojećeg kotla s nisko temperaturnim kombiniranim kondenzacijskim kotlom istog proizvođača i iste nazivne snage. Proračun postojećeg sustava grijanja provodi se sukladno HRN EN 15316-2-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama - Metoda proračuna energijskih zahtjeva i učinkovitosti sustava – Dio 2-1: Sustavi za grijanje prostora zračenjem topline. Proračun se vrši za sezonu grijanja. Toplinska energija koju je potrebno dovesti podsustavu predaje toplinske energije u grijani prostor definirana je izrazom (1).

$$Q_{em,in} = Q_{em,out} - Q_{em,aux,rud} + Q_{em,ls} \quad (1)$$

gdje su:

- $Q_{em,out}$ – toplinska energija na izlazu iz podsustava predaje (kWh)
- $Q_{em,aux,rud}$ – vraćena pomoćna energija (kWh)
- $Q_{em,ls}$ – toplinski gubici podsustava predaje (kWh).

Instalirana snaga ogrjevnih tijela iznosi 7,78 kW, ogrjevna tijela nemaju ugrađene termoregulacijske ventile. Potreba za energijom $Q_{em,in}$ iznosi 4814.94 kWh, a učinkovitost

sustava je $\eta = 0,81$. Rezultati proračuna podsustava predaje vidljivi su u tablici 3. Nakon ugradnje termoregulacijskih ventila i zamjene kotla za sustav predaje potrebna je energija $Q_{em,in} = 4587,30$ kWh, a učinkovitost sustava poprima iznos $\eta = 0,92$. Rezultati proračuna prikazani su tablicom 4.

Tablica 3. Izračun toplinske energije na izlazu iz sustava predaje – postojeće stanje

$Q_{em, out}$ (kWh)	3886,51
$Q_{em, aux, rbl}$ (kWh)	0,34
$Q_{em, aux, rvd}$ (kWh)	0,00
$W_{em, aux}$ (kWh)	0,34
$Q_{em, ls}$ (kWh)	928,43
$Q_{em, in}$ (kWh)	4814,94
η [-]	0,81

Tablica 4. Izračun toplinske energije na izlazu iz sustava predaje – novo stanje

$Q_{em, out}$ (kWh)	4231,74
$Q_{em, aux, rbl}$ (kWh)	0,34
$Q_{em, aux, rvd}$ (kWh)	0,00
$W_{em, aux}$ (kWh)	0,34
$Q_{em, ls}$ (kWh)	355,57
$Q_{em, in}$ (kWh)	4587,30
η [-]	0,92

Iz tablice 3 i 4 možemo uočiti da je potreba za toplinskom energijom koju je potrebno dovesti podsustavu predaje smanjena za 227,64 kWh. Prilikom izračuna gubitaka u podsustavu razvoda korištena je metoda aproksimacije duljine cjevovoda prema HRN EN 15316-2-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama dio 2-3: Razvodi sustava grijanja prostora. Sustav razvoda je dvocijevni i sve dionice cjevovoda prolaze kroz grijani prostor. Temperatura ogrjevnog medija je 70/45 °C, a regulacija temperature vrši se pomoću termostata smještenog u referentnu prostoriju. Novo stanje ima pretpostavljenu temperaturu ogrjevnog medija 40/30 °C, ugrađene termoregulacijske ventile, a regulacija se vrši prema vanjskoj temperaturi.

Toplinska energija koju je potrebno isporučiti razvodu grijanja definirana je izrazom (2):

$$Q_{H,dis,in} = Q_{H,gen,out} = Q_{H,dis,out} - Q_{H,dis,aux,rvd} + Q_{H,dis,ls} \quad (2)$$

gdje su:

- $Q_{H,dis,in}$ - toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda,
- $Q_{H,gen,out}$ - toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu razvoda,
- $Q_{H,dis,out}$ - toplinska energija na izlazu iz podsustava razvoda,
- $Q_{H,dis,aux,rvd}$ - iskoristivi toplinski gubici pomoćnih uređaja podsustava razvoda
- $Q_{H,dis,ls}$ - toplinski gubici svih dionica cjevovoda u promatranom periodu

Rezultati izračuna toplinske energije koju je potrebno isporučiti razvodu grijanja prikazani su tablicama 5 i 6.

Tablica 5 Izračun toplinske energije na izlazu iz sustava predaje - postojeće stanje

$Q_{dis, out} = Q_{em, in}$ (kWh)	4814,94
$Q_{dis, ls}$ (kWh)	488,57
$Q_{dis, aux, rvd}$ (kWh)	136,91
$Q_{dis, in}$ (kWh)	5166,60
η [-]	0,93

Tablica 6 Izračun toplinske energije na izlazu iz sustava predaje - novo stanje

$Q_{dis, out} = Q_{em, in}$ (kWh)	4587,30
$Q_{dis, ls}$ (kWh)	227,13
$Q_{dis, aux, rvd}$ (kWh)	7,97
$Q_{dis, in}$ (kWh)	4806,46
η [-]	0,95

Implementacijom navedenih mjere energija koju je potrebno dovesti podsustavu razvoda smanjena je za 360,14 kWh, a učinkovitost samog podsustava η porasla je sa

$Q_{H,dis,in}$

0,93 na 0,95. Izračuni sustava proizvodnje računati su prema HRN EN 15316-4-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama dio 4-1: Sustavi za proizvodnju topline izgaranjem (kotlovi). Proračunava se ukupna vraćena i iskoristiva toplinska energija. kroz -sljedeće proračune:

- Proračun ukupne vraćene pomoćne energije radnom mediju u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,aux,rvd} = \sum Q_{gnr,aux,rvd} \quad (\text{kWh}),$$

- Proračun ukupne iskoristive pomoćne energije koja se vraća u prostor u promatranom periodu za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,aux,rbl} = \sum Q_{gnr,aux,rbl} \quad (\text{kWh}),$$

- Proračun ukupnih iskoristivih toplinskih gubitaka kroz ovojnice kotlova (u kotlovnici) koji se vraćaju u prostor u promatranom period za podsustav proizvodnje:

$$Q_{H,gen,ls,env,rbl} = \sum Q_{gnr,ls,env,rbl} \quad (\text{kWh}),$$

- Toplinska energija koju je potrebno gorivom isporučiti podsustavu proizvodnje

$$Q_{H,gen,in} = Q_{H,gen,out} - Q_{H,gen,aux,rvd} + Q_{H,gen,ls} \quad (\text{kWh}).$$

Rezultati proračuna prikazani su tablicama 7 i 8. U trećem reda treba uzeti u obzir da se: $Q_{HW, gen, out} = Q_{H, gen, out} + Q_{W, gen, out}$, a Q_W i Q_{HW} odnose se na sezonu grijanja.

Tablica 7. Izračun ukupne vraćene i iskoristive toplinske energije - postojeće stanje

$Q_{H, gen, out}$ (kWh)	5166,60
$Q_{W, gen, out}$ (kWh)	383,04
$Q_{HW, gen, out}$ (kWh)	5549,64
$Q_{gen, aux, rvd}$ (kWh)	40,12
$Q_{gen, aux, rbl}$ (kWh)	13,37
$Q_{gen, ls}$ (kWh)	1741,98
$Q_{gen, ls, env, rbl}$ (kWh)	476,87
$W_{gen, aux}$ (kWh)	53,50
$Q_{gen, in}$ (kWh)	7251,50
η [-]	0,77

Tablica 8 Izračun ukupne vraćene i iskoristive toplinske energije - postojeće stanje

$Q_{H, gen, out}$ (kWh)	4806,46
$Q_{W, gen, out}$ (kWh)	383,04
$Q_{HW, gen, out}$ (kWh)	5189,50
$Q_{gen, aux, rvd}$ (kWh)	37,60
$Q_{gen, aux, rbl}$ (kWh)	12,53
$Q_{gen, ls}$ (kWh)	-190,57
$Q_{gen, ls, env, rbl}$ (kWh)	45,30
$W_{gen, aux}$ (kWh)	50,13
$Q_{gen, in}$ (kWh)	4961,33
η [-]	1,05



Iz rezultata proračuna vidljiva je znatna razlika u učinkovitosti η samog kotla. Učinkovitost starog kotla iznosi 0,77, a novi kondenzacijski uređaj ima učinkovitost 1,05, svedeno da donju ogrjevnu moć. Sukladno tome potrebno je 360,14 kWh manje predati podsustavu razvoda, a razlika u potrebnoj toplinskoj energiji koju je potrebno isporučiti kotlu izgaranjem goriva manja je 2290,17 kWh. Razlika u smanjenju $Q_{H, gen, out}$ ostvarena je uslijed boljeg sustava regulacije temperature, a razlika u potrebnoj toplinskoj energiji iz goriva proizlazi iz značajnog poboljšanja učinkovitosti kotla.

4. Sustav pripreme potrošne tople vode

Proračun potrebne toplinske energije za pripremu potrošne tople vode (PTV) Q_w provodi se sukladno HRN EN 15316-3-1:2008 Sustavi grijanja u zgradama dio 3-1: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, pokazatelji potreba prema izljevnom mjestu. Period proračuna je za sezonu i izvan sezone grijanja. Potrebna toplinska energija Q_w definirana je izrazom [1]:

$$Q_w = \frac{Q_{W,A,G}}{365} \cdot A_k \cdot d \quad (\text{kWh}) \quad (3)$$

gdje su:

- A_k – korisna površina zgrade (m^2),
- d – broj dana u promatranom periodu (dan),
- Q_w – toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a u promatranom periodu (kWh)
- $Q_{W,A,G}$ – specifična toplinska energija potrebna za pripremu PTV-a ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$), $Q_{W,A,G} = 12,5$ kWh/ m^2a za zgrade s 3 stambene jedinice $Q_{W,A,G} = 16$ kWh/ m^2 a za zgrade s više od 3 stambene jedinice.

Q_w iznosi 932,80 kWh i predstavlja količinu toplinske energije koju podsustav razvoda mora isporučiti izljevnim mjestima.

Proračun se vrši sukladno HRN EN 15316-3-2:2008 Sustavi grijanja u zgradama dio 3-2: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, razvod. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti sustavu razvoda potrošne tople vode definirana je izrazom (4). Rezultati izračuna potrebne energije za podsustav razvoda PTV-a prikazani su tablicom 9, a podaci su isti za postojeći i novi kotao. Proračun je obavljen prema izrazu:

$$Q_{W,dis,in} = Q_w - Q_{W,dis,aux,rvd} + Q_{W,dis,ls} \quad (4)$$

- gdje su: $Q_{W,dis,aux,rvd}$ - vraćena pomoćna energija radnom mediju (kWh),
- $Q_{W,dis,ls}$ - ukupni toplinski gubici u podsustavu razvoda (kWh)



Tablica 9. Izračun potrebne energije koju je potrebno isporučiti podsustavu razvoda PTV-a za postojeće i novo stanje

$Q_{dis, out} = Q_{em, in}$ (kWh)	932,80
$Q_{dis, ls}$ (kWh)	50,74
$Q_{dis, aux, rvd}$ (kWh)	0,00
$Q_{dis, in}$ (kWh)	983,54
η [-]	0,95

Proračun podsustava proizvodnje vrši se prema HRN EN 15316-3-3:2008 Sustavi grijanja u zgradama dio 3-3: Sustavi za pripremu potrošne tople vode, zagrijavanje, a rezultati proračuna prikazani su u tablici 10 i 11. Toplinska energija koju je potrebno isporučiti podsustavu proizvodnje PTV-a definirana je izrazom:

$$Q_{W, gen, in} = Q_{W, gen, out} - Q_{W, gen, aux, rvd} + Q_{W, gen, ls} \quad (5)$$

gdje su:

$Q_{W, gen, out}$

- godišnja potrebna topl. energija podsustava razvoda PTV-a (kWh),

$Q_{W, gen, aux, rvd}$

- vraćena pomoćna energija radnom mediju (kWh),

$Q_{W, gen, ls}$

- ukupni toplinski gubici podsustava proizvodnje (kWh).

Tablica 10. Izračun energije koju je potrebno isporučiti podsustavu razvoda PTV-a - postojeće stanje

$Q_{gen, out} = Q_{dis, in}$ (kWh)	983,54
$Q_{gen, ls}$ (kWh)	2266,99
$Q_{st, ls}$ (kWh)	0,00
$Q_{p, ls}$ (kWh)	0,00
$W_{p, aux}$ (kWh)	0,00
$Q_{gen, aux, rvd}$ (kWh)	60,20
$Q_{gen, aux, rbl}$ (kWh)	20,07
$Q_{gen, ls, env, rbl}$ (kWh)	1071,14
$W_{gen, aux}$ (kWh)	80,27
$Q_{gen, in}$ (kWh)	3190,33
η [-]	0,31

Tablica 11. Izračun energije koju je potrebno isporučiti podsustavu razvoda PTV-a - novo stanje

$Q_{gen, out} = Q_{dis, in}$ (kWh)	983,54
$Q_{gen, ls}$ (kWh)	1706,06
$Q_{st, ls}$ (kWh)	0,00
$Q_{p, ls}$ (kWh)	0,00
$W_{p, aux}$ (kWh)	0,00
$Q_{gen, aux, rvd}$ (kWh)	60,15
$Q_{gen, aux, rbl}$ (kWh)	20,05
$Q_{gen, ls, env, rbl}$ (kWh)	874,06
$W_{gen, aux}$ (kWh)	80,20
$Q_{gen, in}$ (kWh)	2629,45
η [-]	0,37

Učinkovitost standardnog kotla u sustavu proizvodnje PTV-a iznosi 0,31 dok kod kondenzacijskog iznosi 0,37. Učinkovitost kotla u sustavu proizvodnje toplinske energije za PTV je niska zbog gubitaka kotla u stanju pripravnosti. Učinkovitost kotla bi bila veća kada bi sustav imao akumulacijski spremnik za PTV. Razlika nakon provedbe mjere

$Q_{W, gen, in}$

iznosi 560,88 kWh.



5. Proračun isporučene i primarne energije sustava

Za provedbu izračuna isporučene (E_{del}) i primarne energije (E_{prim}) sustav je podjeljen na tri osnovna dijela - predaju, razvod i proizvodnju. Rezultati proračuna prikazani su tablicom 12, pri čemu učinkovitosti pojedinih dijelova sustava iznosi:

- proizvodnja $\eta = 0,77$
- razvod $\eta = 0,93$
- predaja $\eta = 0,81$

Tablica 12. Isporučena i primarna energija sa standardnim kotlom

Ime sustava	Standardni kotao
E_{del} (kWh)	10758,49
$E_{del/m2}$ (kWh/m ²)	184,54
E_{del} dozvoljeno (kWh/m ²)	120,00
E_{prim} (kWh)	11686,50
$E_{prim/m2}$ (kWh/m ²)	200,45
E_{prim} dozvoljeno (kWh/m ²)	180,00

Implementacija mjere EnU zamjene kotla procijenjena je kao investicija od 10.000,00 kn. Nakon provedene mjere proračun isporučene i primarne energije vidljiv je u tablici 13., a učinkovitost pojedinih dijelova sustava iznosi:

- proizvodnja $\eta = 1,05$
- razvod $\eta = 0,95$
- predaja $\eta = 0,92$

Tablica 13. E_{del} i E_{prim} s kondenzacijskim kotlom i termoregulacijskim ventilima

Ime sustava	Kondenzacijski kotao
E_{del} (kWh)	7732,08
$E_{del/m2}$ (kWh/m ²)	132,63
E_{del} dozvoljeno (kWh/m ²)	120,00
E_{prim} (kWh)	8424,66
$E_{prim/m2}$ (kWh/m ²)	144,51
E_{prim} dozvoljeno (kWh/m ²)	180,00

Tablica 14 daje pregled rezultata provedbe mjere EnU. Može se zaključiti da nakon provedbe mjere proračunata ušteda za stvarne klimatske podatke i režim korištenja iznosi 28,13 % za isporučenu energiju i 27,91 % za primarnu energiju.

Tablica 14. E_{del} i E_{prim} prije i nakon obnove

	Q_{hnd} (kWh)	E_{del} (kWh)	E_{prim} (kWh)
Staro stanje	4362,65	10758,49	11686,50
Novo stanje	4362,65	7732,08	8424,66
Razlika (kWh)	0,00	3026,41	3261,84
Razlika (%)	0,00	28,13	27,91

Procijenjena investicija od 10000,00 kn u poboljšanje termo-tehničkog sustava rezultira godišnjom uštedom od 978,47 kn i jednostavnim povratnim periodom od 10 godina. Sukladno smjernicama HRN EN 15459:2008 [5] mjera je ekonomski opravdana. Detalji rezultata mjera kao pokazatelji energetske učinkovitosti prikazani su tablicom 15.

Tablica 15. Rezultati mjera zamjene postojećeg kotla s energetski učinkovitijim

Investicija (kn)	10000,00
Procijenjena ušteda (kn/god)	978,47
Procijenjena ušteda (kWh/god)	3026,41
JPP (god.)	10,22
Smanjenje emisija CO ₂ (tona/god)	0,67
Pokazatelj (kn/tCO ₂ god.)	14970,06
Pokazatelj (kn/kWh god.)	3,30

6. Zaključak

Proračun programom Thorium A+ pokazuje da je provedbom mjere modernizacije termo-tehničkog sustava na primjeru stana u višestambenoj zgradi u Zagrebu ostvarena ušteda od 28 % u isporučenoj energiji, što rezultira smanjenjem troška 978,47 kn/god. Jednostavni povratni period investicije je 10 godina. Kada bi se u izračunu perioda povrata investicije uzelo u obzir promjenu vrijednosti financijskih sredstava kroz to vrijeme (prema predviđenoj kamatnoj stopi) period bi bio duži, ali u slučaju kada bi zamjena kotla bila subvencionirana period povrata bi bio znatno niži. Iz rezultata proračuna možemo zaključiti da je provedba ove mjere svakako opravdana.

7. Literatura

- [1] Dović, Damir; Horvat, Ivan; Rodić, Alan; Soldo, Vladimir; Švaić, Srećko. Algoritam za određivanje energijskih zahtjeva i učinkovitosti termotehničkih sustava u zgradama – Sustavi grijanja prostora i pripreme potrošne tople vode, Sveučilište u zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
- [2] HRN EN 15316:2008. - Sustavi grijanja u zgradama
- [3] Pravilnik o energetske pregledu zgrade i certificiranju zgrada, Narodne novine, 48(2014)
- [4] Vidaković, Držislav; Jurić, Aleksandar; Glavaš, Hrvoje. Energetska efikasnost fasada *Proceedings of technical and scientific conference with international participation SFERA 2015 Design and technologies of architectural openings* / Stanković, Milenko; Mernić, Naida; Novaković, Nevena; Mišić, Martina (ur.). Mostar : Marketinška i izdavačka agencija Sfera u Mostaru i Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet Univerziteta u Banja Luci, 12. - 13.11.2015. s. 105-110.
- [5] HRN EN 15459:2008 Energetske značajke zgrade - Postupak ekonomske ocjene energijskih sustava u zgradama

Simulacija utjecaja zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponske elektrane ***Simulation of the shading effect on electricity generation of photovoltaic power plant***

I. Radmanović, G. Knežević*, D. Topić, K. Fekete

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

*Autor za korespondenciju. E-mail: goran.knezevic@ferit.hr

Sažetak

Prema trenutnim tržišnim istraživanjima, instalirana snaga fotonaponskih (FN) elektrana u svijetu na kraju 2015. godine iznosila je 235 GW. Predviđanja tržišta su da će se instalirana snaga FN elektrana udvostručiti do kraja 2018. godine. Instalirana snaga FN elektrana u EU na kraju 2015. iznosila je 95,4 GW čime se može proizvesti godišnje 100 TWh električne energije što čini skoro 4% ukupne potražnje električne energije u EU. Zasjenjenje ima ogroman utjecaj na proizvodnju električne energije iz FN modula. Ako mali dio fotonaponskog modula bude pod utjecajem zasjenjenja, dolazi do velikog smanjenja korisnosti cijelog FN modula. Razlog tome je što se FN modul sastoji od serijski spojenih FN ćelija. Kada se izlazna snaga pojedine ćelije značajno smanji, izlazna snaga cijelog sustava spojenog u seriju svodi se na razinu struje koja prolazi kroz ćeliju na kojoj se apsorbira najmanje svjetlosti. U ovome radu prikazan je utjecaj zasjenjenja na proizvodnju električne energije promatrane FN elektrane. Uz to, prikazana je uloge premosne diode u slučaju zasjenjenja dijela FN modula. Uz pomoć programskog paketa PV*SOL, simulirana su četiri scenarija. U prvom scenariju simulirana je FN elektrana bez utjecaja zasjenjenja, u drugom scenariju objekt zasjenjenja predstavljao je dimnjak. U trećem scenariju predmet zasjenjenja predstavljalo je drvo s krošnjom te u četvrtom scenariju objekt koji je zasjenjivao FN elektranu bila je zgrada. Za svaki scenarij prikazana je godišnja bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije promatranog sustava na mjesečnoj razini. Analizirani su godišnji gubici električne energije zbog zasjenjenja.

Ključne riječi: fotonaponski modul, zasjenjenje modula, gubici električne energije zbog zasjenjenja

Abstract

According to current market research, the installed power of photovoltaic (PV) power plants in the world at the end of 2015 was 235 GW. According to current market forecast, installed power of the FN power plant will be doubled by the end of 2018. The installed

power of the PV power plant in the EU at the end of 2015 was 95.4 GW, so it could produce 100 TWh of electricity per year, making almost 4% of the total electricity demand in the EU. Shading has a huge impact on the production of electricity from the PV module. If a small part of the PV module is under the influence of shading, there is a large reduction in the efficiency of the entire PV module. The reason is that the PV module consists of serial-connected PV cells. When the output power of a particular cell is significantly reduced, the output power of the whole serial-connected system is reduced to the current passing through the cell at which the least light is absorbed. This paper presents the impact of shading on the electricity production of the observed PV power plant. Additionally, the role of the bypass diode is shown for a partial shading of the PV module. In PV*SOL program package, four cases of shading are simulated. In the first case, the power plant was simulated without the effect of shading, in the second case the shading object was a chimney. In the third case the shading was represented by a tree with a crown and in the fourth case the shading object was a building placed in front of PV power plant. For each case, the annual balance of electricity production and consumption of the observed system is presented on a monthly basis. Annual electricity losses due to shading were analyzed.

Key words: photovoltaic module, module shading, power losses due to shading

1. Uvod

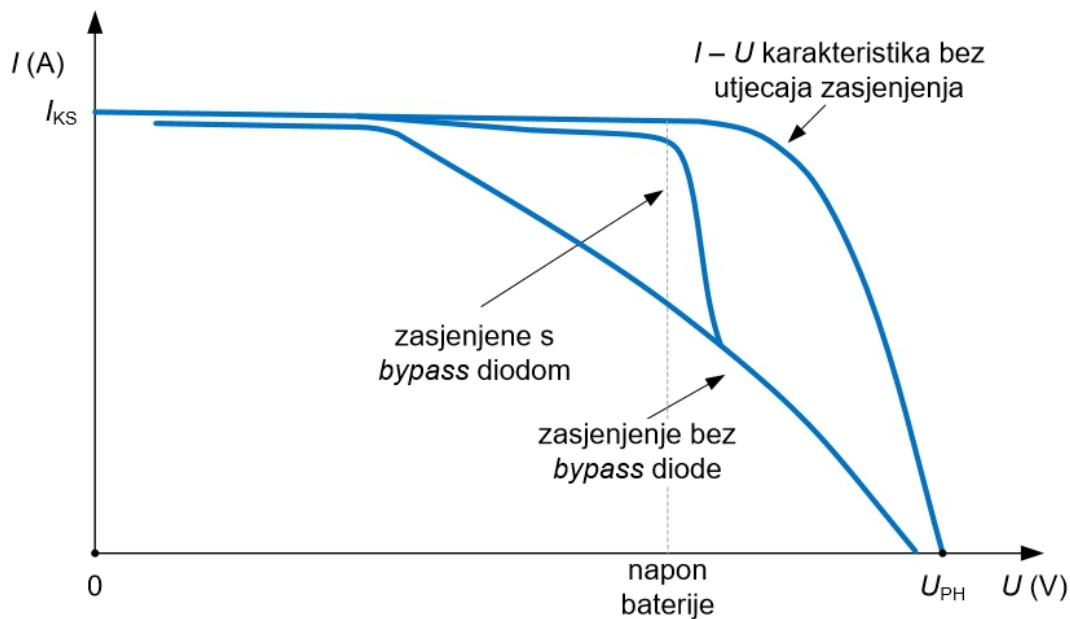
U 2015. godini ulaganja u svijetu u obnovljive izvore energije dosegla su rekordnu visinu. Ulaganja u projekte obnovljivih izvora energije, bez velikih hidroelektrana, dosegla su 260 milijardi eura, što je više za 5% nego u 2014. godini. Prema trenutnim tržišnim predviđanjima, instalirana snaga fotonaponskih (FN) elektrana, krajem 2015. godine iznosila je 235 GW. Predviđanja tržišta ukazuju da će se instalirana snaga FN elektrana udvostručiti do kraja 2018. godine. Instalirana snaga FN elektrana u EU na kraju 2015. iznosila je 95,4 GW čime se može proizvesti godišnje 100 TWh električne energije što čini skoro 4% ukupne potražnje električne energije u EU [1]. Instalirana snaga FN elektrana povlaštenih proizvođača u RH u mjesecu travnju 2017 iznosila je 51 449 kW [2].

Kako bi FN elektrana bila što isplativija, od velike je važnosti položaj instalacije elektrane kako bi se iskoristilo što više sunčeve energije. Fotonaponski sustavi najčešće se postavljaju na južnu stranu krova građevine. Prilikom postavljanja fotonaponskog sustava vrlo je važno izbjeći utjecaj zasjenjenja. U ovome radu prikazan je učinak parcijalnog zasjenjenja modula fotonaponske elektrane na očekivanu proizvodnju električne energije. Nadalje, uz pomoć programskog paketa PV*SOL, simulirana su četiri scenarija parcijalnog zasjenjenja te su analizirani godišnji gubici električne energije zbog zasjenjenja.

2. Učinak zasjenjenja

Zasjenjenje može imati ogroman utjecaj na korisnost fotonaponskih modula. Fotonaponski modul sastoji od serijski spojenih fotonaponskih ćelija. U slučaju kada se izlazna snaga pojedine ćelije značajno smanji, izlazna snaga cijelog sustava spojenog u seriju svodi se

na razinu struje koja prolazi kroz ćeliju na kojoj se apsorbira najmanje svjetlosti. Utjecaj zasjenjenja može se djelomično ublažiti dodavanjem premosne diode. Proizvođači dodaju jednu premosnu (engl. *bypass*) diodu po modulu da bi zaštitili FN niz ili dodaju nekoliko dioda unutar jednog modula, po jednu za svaku grupu od nekoliko ćelija [3]. Na slici 1. može se vidjeti utjecaj premosne diode na I-U karakteristiku FN modula.



Slika 1. Utjecaj premosne diode na I-U karakteristiku FN modula [3]

Uz premosnu diodu, može se koristiti i blokirajuća dioda – u slučaju kada je niz modula spojen paralelno. Uloga blokirajuće diode je da sprječava povratnu struju (struja mraka) kroz module koji ne funkcioniraju ispravno [3].

3. Simulacija utjecaja zasjenjenja na proizvodnju električne energije iz fotonaponske elektrane

3.1. Opis promatranog sustava

Osnovni podaci FN modula korištenog u promatranom FN elektrani prikazani su u tablici 1.

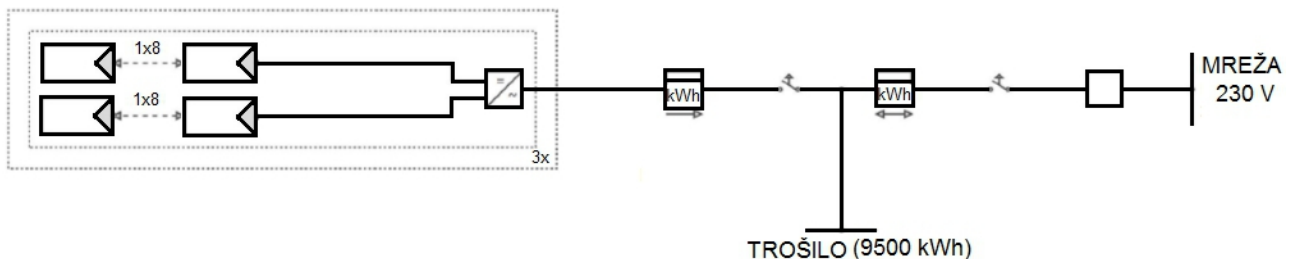
Tablica 1. Prikaz podataka korištenog FN modula

Električni podaci		Mehanički podaci	
Nazivna snaga	200 W	Širina	990 mm
Tip ćelije	Si monokristalni	Visina	1640 mm
Broj ćelija	60	Dubina	30 mm
Broj bypass dioda	3		
Struja KS-a	7,98A		

U tablici 2 prikazani su podaci promatranog sustava koji se sastoji od FN elektrane postavljene na krov objekta te vlastite potrošnje samog objekta. U objektu su pretpostavljena dva obiteljska stana s ukupnom godišnjom potrošnjom od 9500 kWh. Sustav je spojen na mrežu. Shematski prikaz sustava prikazan je na slici 2. Simulacija je provedena za period od jedne godine.

Tablica 2. Prikaz podataka korištenog FN modula

Klimatsko područje	Slavonski Brod
Položaj fotonaponskih modula	Južna krovna zona
Broj, vrsta modula	48 * monokristalnih modula, 200W
Nagib	44°
Orijentacija	Jug 180°
Ukupna potrošnja	9500 kWh



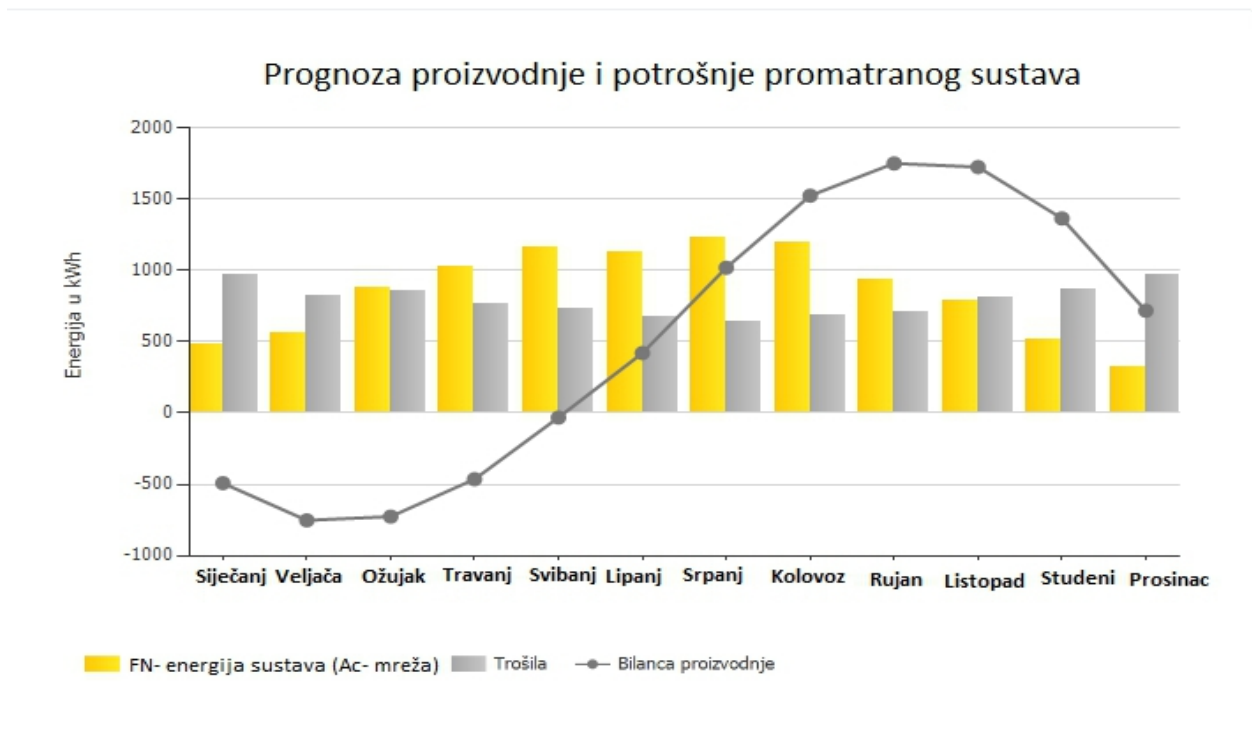
Slika 2. Shematski prikaz instalirane solarne elektrane

3.2. Rezultati simulacije za slučaj bez zasjenjenja

U prvom slučaju simulirana je elektrana kada nema utjecaja parcijalnog zasjenjenja. Rezultati su prikazani u tablici 3. Na slici 3 prikazana je prognoza proizvodnje i potrošnje promatranog sustava po mjesecima te bilanca proizvodnje za promatrani sustav.

Tablica 3. Rezultati simulacije bez zasjenjenja FN elektrane

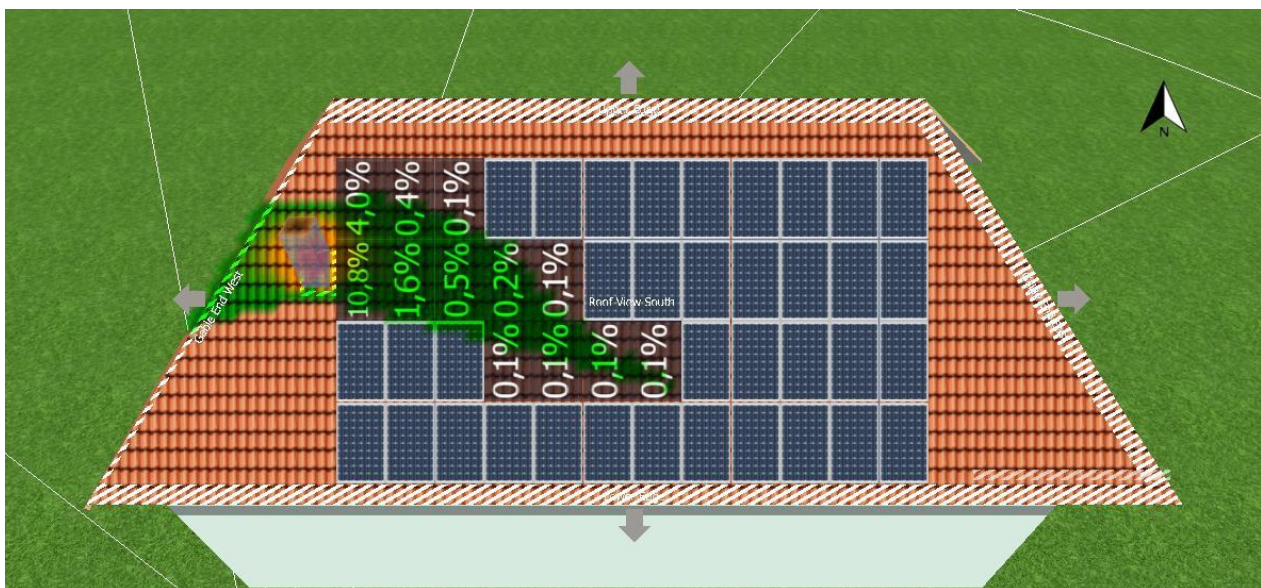
Ukupno proizvedena el. energija FN elektrane	10 242 kWh
Ukupna potrošnja sustava	9 500 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz FN sustava	3 291 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz mreže	6 209 kWh
Isporučena energija u mrežu	6 951 kWh
Ukupna bilanca sustava na kraju godine	742 kWh
Godišnji gubici zbog zasjenjenja	0



Slika 3. Proizvodnja i potrošnja promatranog sustava prikazana po mjesecima

3.3. Rezultati simulacije za slučaj zasjenjenja dimnjakom

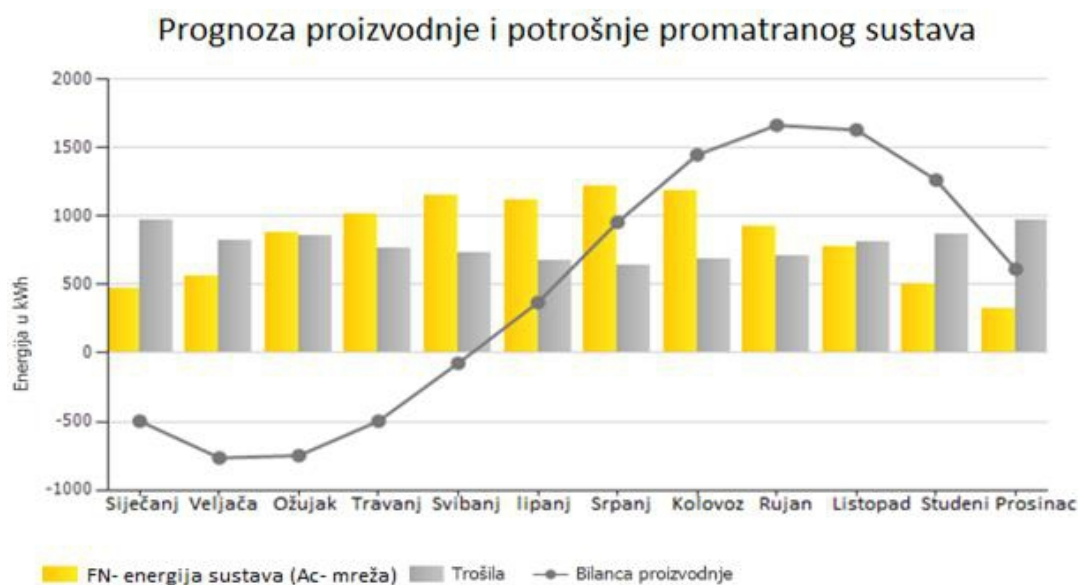
Na slici 4 prikazan je utjecaj zasjenjenja dimnjaka na fotonaponski sustav izražen u postotcima (%). Za razliku od prvog slučaja gdje nije bilo utjecaja zasjenjenja, u drugom slučaju vidi se kako dimnjak visine 1 m zasjenjuje fotonaponske module. Rezultati simulacije prikazani su u tablici 4 i slici 5.



Slika 4. Prikaz utjecaja zasjenjenja dimnjaka na fotonaponske module izražen u postotcima (%)

Tablica 4. Rezultati simulacije za slučaj zasjenjenja dimnjakom

Ukupno proizvedena el. energija FN elektrane	10 138 kWh
Ukupna potrošnja sustava	9 500 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz FN sustava	3 284 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz mreže	6 216 kWh
Isporučena energija u mrežu	6 854 kWh
Ukupna bilanca sustava na kraju godine	638 kWh
Godišnji gubici proizvodnje FN elektrane zbog zasjenjenja (u odnosu na osnovni slučaj)	1,025 %



Slika 5. Proizvodnja i potrošnja promatranog sustava prikazana po mjesecima za slučaj zasjenjenja dimnjakom

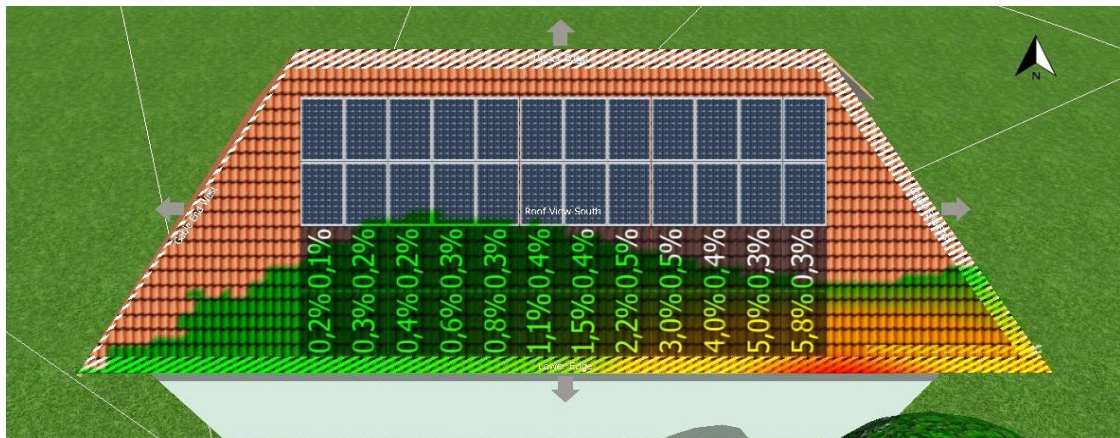
3.4. Rezultati simulacije za slučaj zasjenjenja krošnjom stabla

Simuliran je rad sustava kada su fotonaponski paneli pod utjecajem zasjenjenja stabla. Položaj stabla s krošnjom prikazan je na slici 6.



Slika 6. Vizualni prikaz položaja stabla s krošnjom u odnosu na objekt

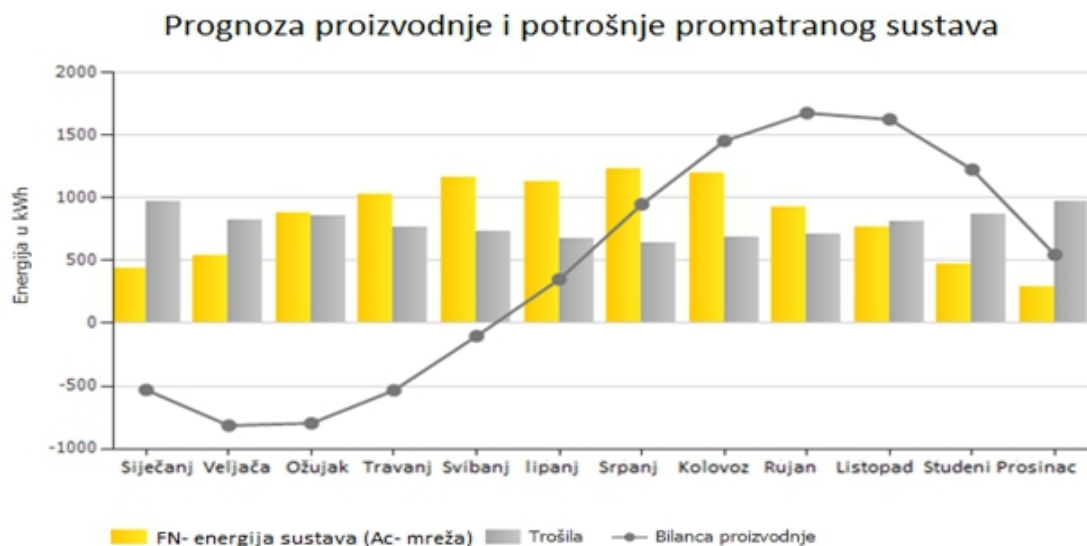
Na slici 7 prikazan je utjecaj zasjenjenja krošnjom stabla na fotonaponski sustav izražen u postotcima (%). Rezultati simulacije prikazani su u tablici 5 i slici 8.



Slika 7. Prikaz utjecaja zasjenjenja krošnjom stabla na fotonaponske module izražen u postotcima (%)

Tablica 5. Rezultati simulacije za slučaj zasjenjenja krošnjom stabla

Ukupno proizvedena el. energija FN elektrane	10 071 kWh
Ukupna potrošnja sustava	9 500 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz FN sustava	3 273 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz mreže	6 227 kWh
Isporučena energija u mrežu	6 798 kWh
Ukupna bilanca sustava na kraju godine	571 kWh
Godišnji gubici proizvodnje FN elektrane zbog zasjenjenja (u odnosu na osnovni slučaj)	1,67 %

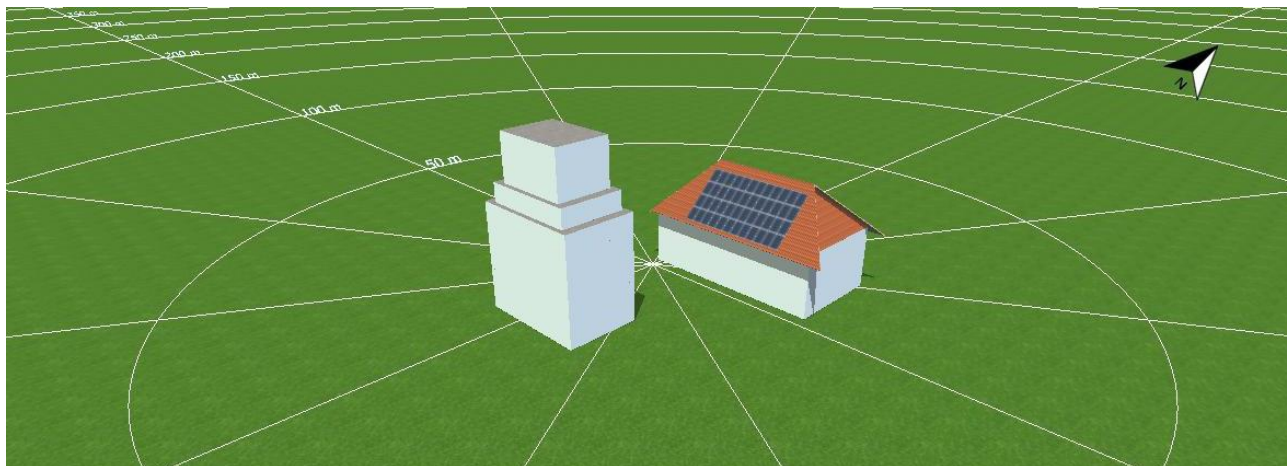


Slika 8. Proizvodnja i potrošnja promatranog sustava prikazana po mjesecima za slučaj zasjenjenja krošnjom stabla

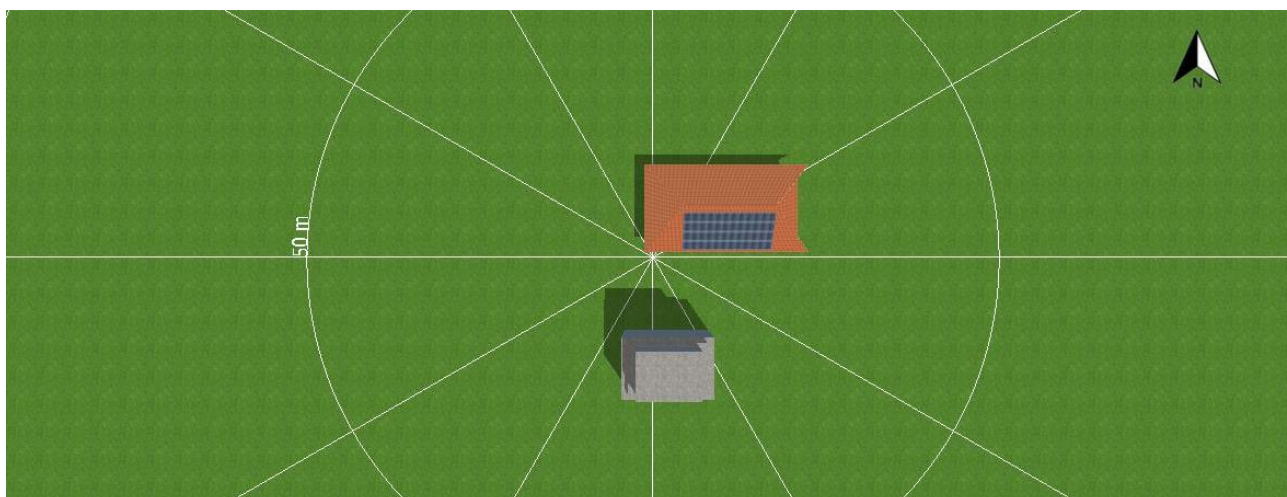


3.5. Rezultati simulacije za slučaj zasjenjenja susjednim objektom

Za slučaj zasjenjenja susjednim objektom modelirana je zgrada čiji se položaj u odnosu na promatrani sustav može vidjeti na slikama 9 i 10.

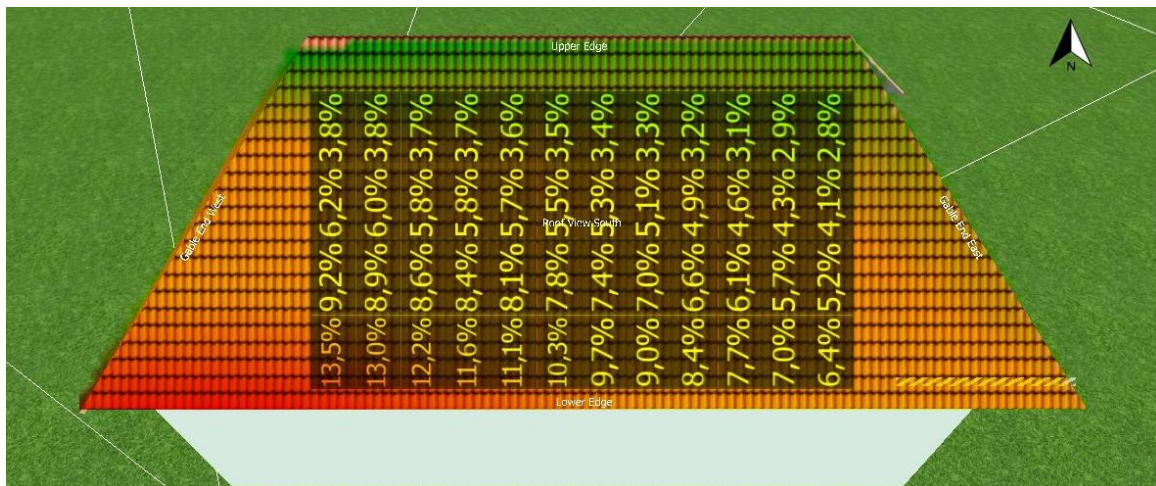


Slika 9. Vizualni prikaz položaja zgrade u odnosu na objekt s instaliranom FN elektranom



Slika 10. Vizualni prikaz položaja zgrade u odnosu na objekt s instaliranom FN elektranom (tlocrt)

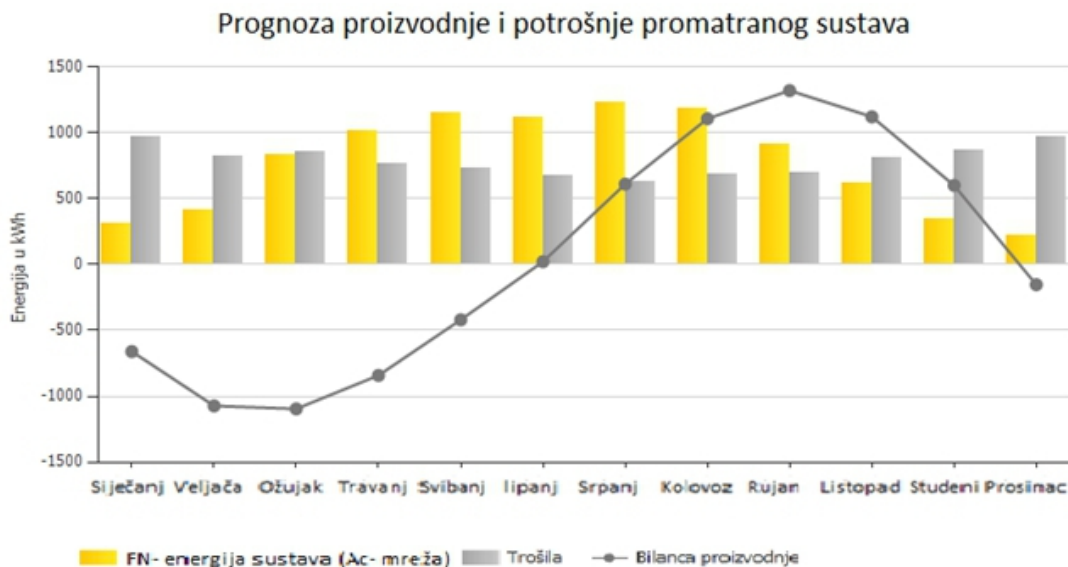
Na slici 11 prikazan je utjecaj zasjenjenja zgrade na fotonaponski sustav izražen u postotcima (%). Rezultati simulacije prikazani su u tablici 6. U odnosu na prethodne slučajeve, ovdje dolazi do značajnog zasjenjenja te umanjena očekivane proizvodnje FN sustava. Na slici 12 prikazana je prognoza mjesečne proizvodnje i potrošnje promatranog sustava te bilanca proizvodnje slučaj zasjenjenja susjednim objektom.



Slika 11. Prikaz utjecaja zasjenjenja susjednim objektom na fotonaponske panele izražen u postocima (%)

Tablica 6. Rezultati simulacije za slučaj zasjenjenja susjednom zgradom

Ukupno proizvedena el. energija FN elektrane	9 371 kWh
Ukupna potrošnja sustava	9 500 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz FN sustava	3 185 kWh
Vlastita potrošnja namirena iz mreže	6 315 kWh
Isporučena energija u mrežu	6.186 kWh
Ukupna bilanca sustava na kraju godine	-129 kWh
Godišnji gubici proizvodnje FN elektrane zbog zasjenjenja (u odnosu na osnovni slučaj)	8.5 %



Slika 12. Proizvodnja i potrošnja promatranog sustava prikazana po mjesecima za slučaj zasjenjenja susjednim objektom

Tablica 7. Sumarni rezultati simulacija

	Scenariji simulacije			
	Bez zasjenjenja	Zasjenjenje dimnjakom	Zasjenjenje krošnjom stabla	Zasjenjenje susjednim objektom
Ukupna bilanca sustava na kraju godine	742 kWh	638 kWh	571 kWh	-129 kWh
Godišnji gubici proizvodnje FN elektrane zbog zasjenjenja (u odnosu na osnovni slučaj)	0	1,025 %	1,67 %	8.5 %

4. Zaključak

Zasjenjenje fotonaponskog modula ima veliki utjecaj na proizvodnju električne energije FN elektrane. Utjecaj zasjenjenja može se djelomično ublažiti dodavanjem premosne diode. U ovome radu dana je analiza utjecaja zasjenjenja promatrane FN elektrane za slučajeve zasjenjenja dimnjakom, krošnjom stabla i susjednim objektom. U slučaju zasjenjenja dimnjakom koji se nalazi zapadno od FN sustava, do zasjenjenja dolazi tek kada se sunce nalazi na zapadu, godišnje se proizvede 104 MWh manje u odnosu na osnovni slučaj bez zasjenjenja. U slučaju zasjenjenja krošnjom stabla utjecaj zasjenjenja je veći u odnosu na zasjenjenje dimnjakom budući da je stablo smješteno na istočnoj strani, ispred FN sustava. Najveći utjecaj uočljiv je u slučaju zasjenjenja sa susjednim objektom. Iako je zgrada smještena na zapadnoj strani ispred objekta, zbog njene visine dolazi do značajnog zasjenjenja FN sustava u poslijepodnevnim satima što rezultira s 871 MWh manje proizvedene električne energije godišnje u odnosu na slučaj bez zasjenjenja.

5. Literatura

- [1] Jäger-Waldau, Arnulf. PV Status Report 2016. JCR, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. (ISBN 978-92-79-63054-5)
- [2] Službena stranica Hrvatskog operatora tržišta električne energije, HROTE, dostupno na: www.hrote.hr (pristupljeno 8.6.2017.)
- [3] Šljivac, Damir; Topić, Danijel. Materijali s predavanja FN sustavi. Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2017.
- [4] Radmanović, Ivan. Simulacija utjecaja zasjenjenja na proizvodnju električne energije fotonaponske elektrane. Diplomski rad, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Osijek, 2017.
- [5] Topić, Danijel; Knežević, Goran; Fekete, Krešimir. The mathematical model for finding an optimal PV system configuration for the given installation area providing a maximal lifetime profit // *Solar Energy*, 144(2017); 750-757 (ISSN ISSN: 0038-092X)

Heating Performances Analysis a GHP Working With Different Hydrocarbons and Heat Transfer in a Borehole Heat Exchanger

R. Bedoić^{1*}, V. Filipan¹

¹Faculty of Chemical Engineering and Technology, Savska cesta 16, Zagreb, Croatia

E-mail: rbedoić@fkit.hr

Abstract

The aim of the scope is to study the possibility of application the thermodynamic database, REFPROP, to a real thermodynamic process. The heating process is investigated in the GHP, including heat transfer in the borehole heat exchanger. Thermodynamic process is shown in the respective comparative thermodynamic diagrams in order to clearly present the different properties of refrigerants and their impact on the energy characteristics of the heat pump. It is investigated how the changes of condensing temperature, at constant evaporating temperature, influence the energy performances such as: cooling capacity, compressor power, heating capacity, discharge compression temperature and coefficient of performance. Also, the energy characteristics of a heat pump using different refrigerants for the same heating capacity and the same temperature regime are analysed. Refrigerants that have been analysed are hydrocarbons: ethane (R170), propane (R290), isobutane (R600a) and n-butane (R600). Furthermore, the mixtures with different composition of the given hydrocarbons are also studied for application in the GHP. The heat transfer in the BHE is studied considering limitations of a soil as a heat source in the GHP.

Keywords: heat pump, borehole heat exchanger, REFPROP data base, hydrocarbons, mixtures, energy performances

1. Introduction

The use of HFCs as an alternative refrigerants to CFCs in the last time has come under critics [1] due to their bad impact on the environment. In the future, most of HCFs have to be replaced by some other types of refrigerants. Hydrocarbons and their mixtures have already been used as an alternative refrigerants to HCFs in the HVAC systems. Influence of the zeotropic and azeotropic mixtures composed from different HCFs on the energy performances of a geothermal soil-to-water heat pump (GHP) is examined in a previous paper [2]. There is presented how the changes in condensing temperature, at constant evaporating temperature, influence the energy performances such as: specific cooling capacity, specific heating capacity, work input and the coefficient of performance (COP). First analysis in this paper includes use of hydrocarbons and their mixtures as refrigerants

in the GHP in the heating mode. Comparison of hydrocarbons to natural and synthetic refrigerants in the heat pump systems and refrigeration systems is examined in [3]. It is shown that some pure hydrocarbons have identical, or even better properties compared to some synthetic refrigerants. Also, in [4] it has been studied how changes in condensing temperature influence on the cooling capacity and the COP values in the cooling mode, and the influence of evaporating temperature on the heating capacity and the COP values in the heating mode. Mixtures of hydrocarbons behave as zeotropic mixture and their characteristics is glide of temperature during liquid-vapour phase change. The paper [5] studies the impact of composition of mixture propane-isobutane and rotation speed (number of cycles per unit time) on the pressure drop, temperature glide and energy performances of the heat pump. The use of soil as a heat source for a GHP that works in both heating and cooling mode is presented in [6]. There are given experimental data for measured temperatures through the depth of the BHE, before and after a certain time of GHP operation. The influence of pressure on the temperature glide of zeotropic and azeotropic mixtures is shown in [7] where the results are obtained by using a thermodynamic database for real fluids REFPROP Version 8.0. For the analysis in this paper the same thermodynamic database REFPROP but a newer Version 9.0 is used. The second analysis here continues to the analysis that has been done in previous study [2]. Upgrade to that analysis is in the investigation of the impact of change in refrigerant evaporating temperature on the cooling capacity of the GHP and the time of operation.

2. Analysis

2.1. The comparison of analysed refrigerants

Pure refrigerants used in the analysis are the following hydrocarbons: ethane (R170), propane (R290), isobutane (R600a) and butane (R600). The maximum condensing temperature is limited by the critical temperature of the refrigerant. Ethane has low critical temperature, $T_{cr}=305.32\text{K}$ (32.17°C) and therefore it is not studied as pure refrigerant for the application in the GHP. There is studied how an addition of hydrocarbon of higher molar mass to ethane influence the energy characteristics of the process. Composition of the mixtures and molar masses are shown in Table 1.

Table 1. The chemical composition and molar masses of the analyzed hydrocarbon mixtures

Analyzed refrigerants (mixtures)	composition in mass %				M [kg kmol ⁻¹]
	R170	R290	R600a	R600	
R170(50%)+R290(50%)	50	50	/	/	35.756
R170(50%)+R600a(50%)	50	/	50	/	36.634
R170(50%)+R600(50%)	50	/	/	50	36.634
R170(25%)+R290(25%)+ R600a(25%)+R600(25%)	25	25	25	25	44.275

2.2. Real thermodynamic process in the GHP

Thermodynamic process in the GHP with application of R600 and R170(50%)+R600(50%) mixture is displayed in the T,h diagrams in Figures 1. and 2. The results are given for the following values: $\vartheta_{1''} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\vartheta_{3'} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, superheating of saturated vapour in evaporator is $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, subcooling of hot liquid in condenser is $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and isentropic efficiency of compressor is set to 55%.

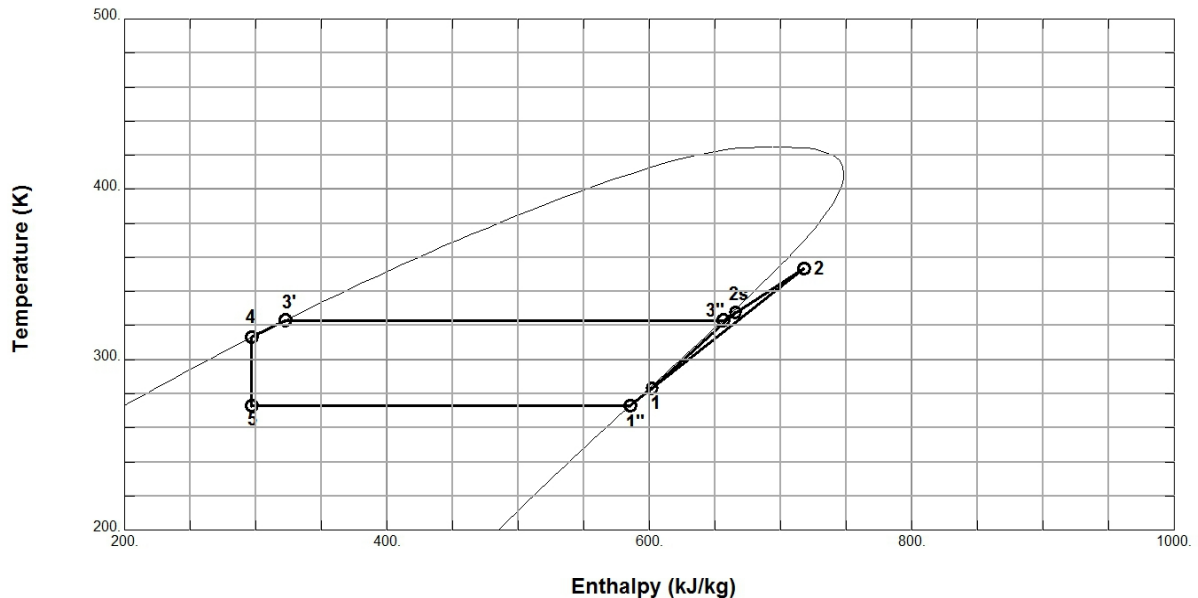


Figure 1. T,h diagram of the analysed thermodynamic process with R600

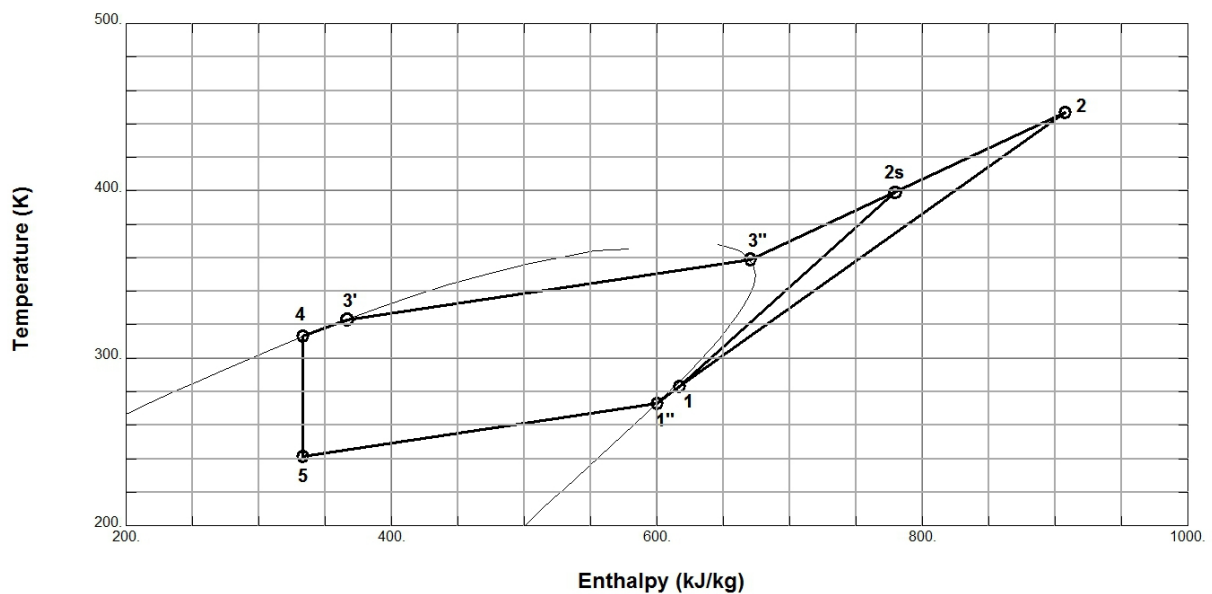


Figure 2. T,h diagram of the analysed thermodynamic process with R170(50%)+R600(50%) mixture



Comparison of a real process in the GHP displayed in the Figures 1. and 2. shows following:

- process with R170(50%)+R600(50%) mixture is derived in a wider range (both temperature and enthalpy) in comparison to pure butane
- temperature glide is significant (ca. 36°C in a condenser and 31°C in evaporator)

In order to investigate the behaviour of refrigerants at different temperature, the evaporating temperature/dew point ($\vartheta_{1'}$) is held constant (0 °C), and the condensing temperature/bubble point (ϑ_3) is changed from 40 °C to 60 °C. All results are given for the superheating of saturated vapour in evaporator for 10 °C, and for liquid subcooling in condenser for 10 °C. Isentropic efficiency of compressor is set on 55%. Volume of compressor cylinder is set to 1 dm³. For all analysed temperature regimes, the heating capacity is set to $\dot{Q}_c = 30.00$ kW.

Table 2. shows the specific volume of the pure refrigerants at the entrance to compressor.

Table 2. The specific volume of the pure refrigerant at the entrance to compressor

Refrigerant	R290	R600a	R600
v_1 [m ³ /kg]	0.0729	0.1706	0.2588

From Table 2. it is shown that specific volume of the pure refrigerant at the entrance to compressor increases with the molar mass of the hydrocarbon. Table 3. shows the impact of condensing temperature on the specific cooling and specific heating capacity, compressor work, the COP values, mass flow rate and number of cycles per unit time, cooling capacity, compressor power and discharge compression temperature of the analysed pure refrigerants.

Table 3. Impact of condensing temperature change on energy performances for pure refrigerants R290, R600a and R600

R290										
ϑ_3 [°C]	q_e [kJ/kg]	q_c [kJ/kg]	w [kJ/kg]	COP	\dot{m} [kg/s]	\dot{n} [min ⁻¹]	\dot{Q}_e [kW]	P [kW]	$\vartheta_{3'}$ [°C]	ϑ_2 [°C]
40	306.88	414.14	107.26	3.86	0.072	315	22.23	7.77	40	76.25
45	292.94	410.49	117.55	3.49	0.073	318	21.41	8.59	45	83.02
50	278.72	406.22	127.5	3.19	0.074	321	20.58	9.42	50	89.61
55	264.20	401.32	137.12	2.93	0.075	325	19.75	10.25	55	96.02
60	249.35	395.77	146.42	2.70	0.076	330	18.90	11.10	60	102.28
R600a										
ϑ_3 [°C]	q_e [kJ/kg]	q_c [kJ/kg]	w [kJ/kg]	COP	\dot{m} [kg/s]	\dot{n} [min ⁻¹]	\dot{Q}_e [kW]	P [kW]	$\vartheta_{3'}$ [°C]	ϑ_2 [°C]
40	296.47	389.35	92.88	4.19	0.077	788	22.84	7.16	40	67.14
45	284.05	386.30	102.25	3.78	0.078	794	22.06	7.94	45	73.00
50	271.44	382.76	111.32	3.44	0.078	802	21.28	8.72	50	78.67
55	258.66	378.7	120.04	3.15	0.079	810	20.49	9.51	55	84.17
60	245.69	374.14	128.45	2.91	0.080	820	19.70	10.30	60	89.51

R600										
ϑ_3 [°C]	q_e [kJ/kg]	q_c [kJ/kg]	w [kJ/kg]	COP	\dot{m} [kg/s]	\dot{n} [min ⁻¹]	\dot{Q}_e [kW]	P [kW]	$\vartheta_{3''}$ [°C]	ϑ_2 [°C]
40	327.70	427.39	99.69	4.29	0.070	1087	23.00	7.00	40	69.32
45	315.25	425.26	110.01	3.87	0.071	1093	22.24	7.76	45	75.43
50	302.65	422.65	120.00	3.52	0.071	1100	21.48	8.52	50	81.33
55	289.88	419.54	129.66	3.24	0.072	1108	20.73	9.27	55	87.05
60	276.96	415.93	138.97	2.99	0.072	1117	19.98	10.02	60	92.59

It can be seen from Table 3. that with increase of condensing temperature both specific cooling and specific heating capacity decrease while the compressor input work increases. N-butane shows the greatest COP values (between 2.99 and 4.29) while propane the least, but not significantly lower (between 2.70 and 3.86). The mass flow rate, as well as the number of cycles per unit time slightly increases with condensing temperature. Also, n-butane shows the greatest number of cycle per unit time (about 1100 min⁻¹, that is more than 3x higher than for propane) what is a result of a high specific volume shown in Table 2. Discharge compression temperatures are shown to have the biggest value for propane (between 76°C and 102 °C) in the analysed temperature regimes. Table 4. shows the specific volume of the mixture refrigerants at the entrance to compressor.

Table 4. The specific volume of the mixture refrigerants at the entrance to compressor.

Refrigerant	R170(50%)+ R290(50%)	R170(50%)+ R600a(50%)	R170(50%)+ R600(50%)	R170(25%)+R290(25%)+ R600a(25%)+R600(25%)
v_1 [m ³ /kg]	0.0431	0.0899	0.1317	0.0845

From Table 4. it can be seen that the specific volume at the entrance to compressor increases with addition of hydrocarbon with higher molar mass to ethane. Mixture with equal mass fraction of all four components shows specific volume close to specific volume of mixture R170(50%)+R600a(50%). Table 5. shows the impact of condensing temperature on the specific cooling and specific heating capacity, compressor work, the COP values, mass flow rate and number of cycles per time, cooling capacity, compressor power, temperature of dew point and discharge compression temperature of the analysed refrigerant mixtures.

Table 5. Impact of condensing temperature change on energy performances for refrigerants composed of R170, R290, R600a and R600

R170(50%)+R290(50%)										
ϑ_3 [°C]	q_e [kJ/kg]	q_c [kJ/kg]	w [kJ/kg]	COP	\dot{m} [kg/s]	\dot{n} [min ⁻¹]	\dot{Q}_e [kW]	P [kW]	$\vartheta_{3''}$ [°C]	ϑ_2 [°C]
40	277.74	438.48	160.74	2.73	0.068	176.	19.00	11.00	50.56	106.77
45	260.97	431.66	170.69	2.53	0.069	178	18.14	11.86	54.48	113.25
50	243.61	423.90	180.29	2.35	0.071	182	17.24	12.76	58.21	119.53
55	225.59	415.04	189.45	2.19	0.072	185	16.31	13.69	61.63	125.54
60	206.70	404.63	197.93	2.04	0.074	190	15.33	14.67	64.44	131.12

R170(50%)+R600a(50%)										
ϑ_3 [°C]	q_e [kJ/kg]	q_c [kJ/kg]	w [kJ/kg]	COP	\dot{m} [kg/s]	\dot{n} [min ⁻¹]	\dot{Q}_e [kW]	P [kW]	$\vartheta_{3''}$ [°C]	ϑ_2 [°C]
40	291.11	520.68	229.57	2.27	0.058	313	16.77	13.23	70.59	143.05
45	275.85	514.60	238.75	2.16	0.058	316	16.08	13.92	73.76	148.40
50	260.20	507.75	247.55	2.05	0.059	321	15.37	14.63	76.73	153.54
55	244.12	500.08	255.96	1.95	0.060	326	14.64	15.36	79.45	158.48
60	227.56	491.50	263.94	1.86	0.061	331	13.89	16.11	81.86	163.19
R170(50%)+R600(50%)										
ϑ_3 [°C]	q_e [kJ/kg]	q_c [kJ/kg]	w [kJ/kg]	COP	\dot{m} [kg/s]	\dot{n} [min ⁻¹]	\dot{Q}_e [kW]	P [kW]	$\vartheta_{3''}$ [°C]	ϑ_2 [°C]
40	310.26	588.98	278.72	2.11	0.051	403	15.80	14.20	80.01	164.67
45	295.21	583.56	288.35	2.02	0.051	407	15.18	14.82	83.04	169.90
50	279.83	577.43	297.60	1.94	0.052	411	14.54	15.46	85.88	174.94
55	264.10	570.55	306.45	1.86	0.053	416	13.89	16.11	88.49	179.78
60	247.97	562.87	314.90	1.79	0.053	422	13.22	16.78	90.84	184.42
R170(25%)+R290(25%)+R600a(25%)+R600(25%)										
ϑ_3 [°C]	q_e [kJ/kg]	q_c [kJ/kg]	w [kJ/kg]	COP	\dot{m} [kg/s]	\dot{n} [min ⁻¹]	\dot{Q}_e [kW]	P [kW]	$\vartheta_{3''}$ [°C]	ϑ_2 [°C]
40	297.57	488.53	190.96	2.56	0.061	310	18.27	11.73	64.16	123.78
45	282.79	482.97	200.18	2.41	0.062	314	17.57	12.43	67.97	129.40
50	267.68	476.73	209.05	2.28	0.063	318	16.84	13.16	71.67	134.85
55	252.19	469.79	217.60	2.16	0.064	322	16.10	13.90	75.23	140.13
60	236.29	462.10	225.81	2.05	0.065	328	15.34	14.66	78.66	145.24

Comparison of data from Tables 3. and 5. shows that in general, addition of ethane to hydrocarbons with higher molar mass increases both specific cooling and heating capacity in comparison to pure hydrocarbons. It results in lower values of COP for the same temperature regimes. Also, the mixtures show lower mass flow rate as well as number of cycles per unit time compared to pure hydrocarbons. Mixtures are shown to have very high discharge compression temperatures what is a result of significant temperature glide ($\vartheta_{3''} - \vartheta_3$). For the bubble point of 60°C, temperature glide is cca. 5°C for R170(50%)+R290(50%), almost 22°C for R170(50%)+R600a(50%) and cca. 32°C for R170(50%)+R600(50%). Furthermore, the discharge compression temperature increases as the hydrocarbon with higher molar mass is added to ethane (ϑ_2 for mixture R170(50%)+R290(50%) is between cca. 107°C and 131°C, ϑ_2 for mixture R170(50%)+R600(50%) is between cca. 165°C and 184°C). Mixture with equal mass fractions of hydrocarbons is shown to have values of all energy performances between mixture R170(50%)+R290(50%) and R170(50%)+R600a(50%) for the same temperature regimes.

2.3. Heat transfer in the GHP

Analytical approach of 1D heat transfer model is applied in [2] for study of impact of the BHE time of operation to the temperature of ground for different heat flow rates and position. Also, that study included impact of the time of BHE operation to cooling capacity with constant evaporating temperature. In this study, it is examined how the change in evaporating temperature of refrigerant influence the cooling capacity. The cooling capacity is calculated from (1)

$$\dot{Q}_e = \frac{L \cdot \Delta T_{LM}}{R_{BHE}}. \quad (1)$$

As the soil cools down during heat transfer the driving force to heat transfer decreases. When the temperature of soil and evaporating temperature of the refrigerant equalize, BHE can not be longer used and thermal recovery of soil should be applied. Temperature distribution of the soil in time and position is described with (2)

$$T(r,t) = T_o + \frac{\dot{q}}{4\lambda\pi} \left[\ln \left(\frac{4at}{R^2 r_o^2} \right) - \gamma \right]. \quad (2)$$

To describe impact of the time of GHP operation to the heat transfer the following values are used:

$$\lambda = 2.2 \text{ W K}^{-1}\text{m}^{-1}; \quad \rho = 1050 \text{ kg m}^{-3}; \quad c_p = 650 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1};$$

$$L = 100 \text{ m}; \quad r_o = 0.030 \text{ m}; \quad R = 1; \quad \gamma = 0.5772;$$

$$T_o = 288 \text{ K (15 } ^\circ\text{C)}; \quad R_{BHE} = 0.08 \text{ Km W}^{-1}.$$

Figure 3. shows the impact of BHE time of operation on the cooling capacity for different heat flow rates. Figure 4. shows impact of the change in refrigerant evaporating temperature on the cooling capacity for different time of operation of BHE.

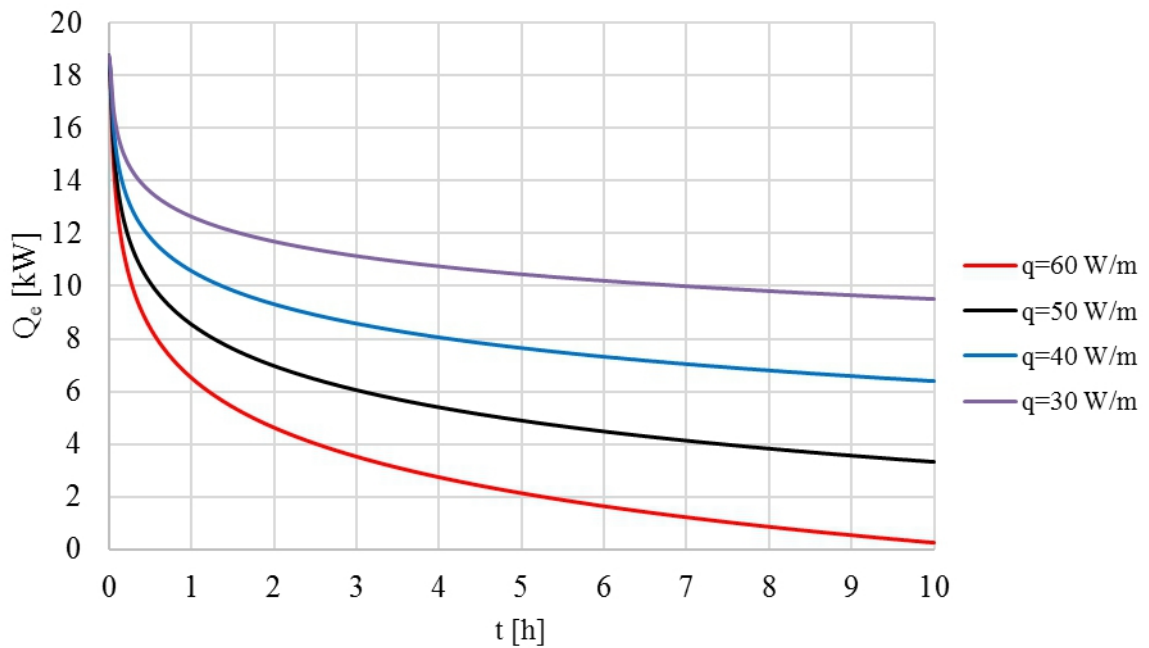


Figure 3. Impact of BHE time of operation on the cooling capacity

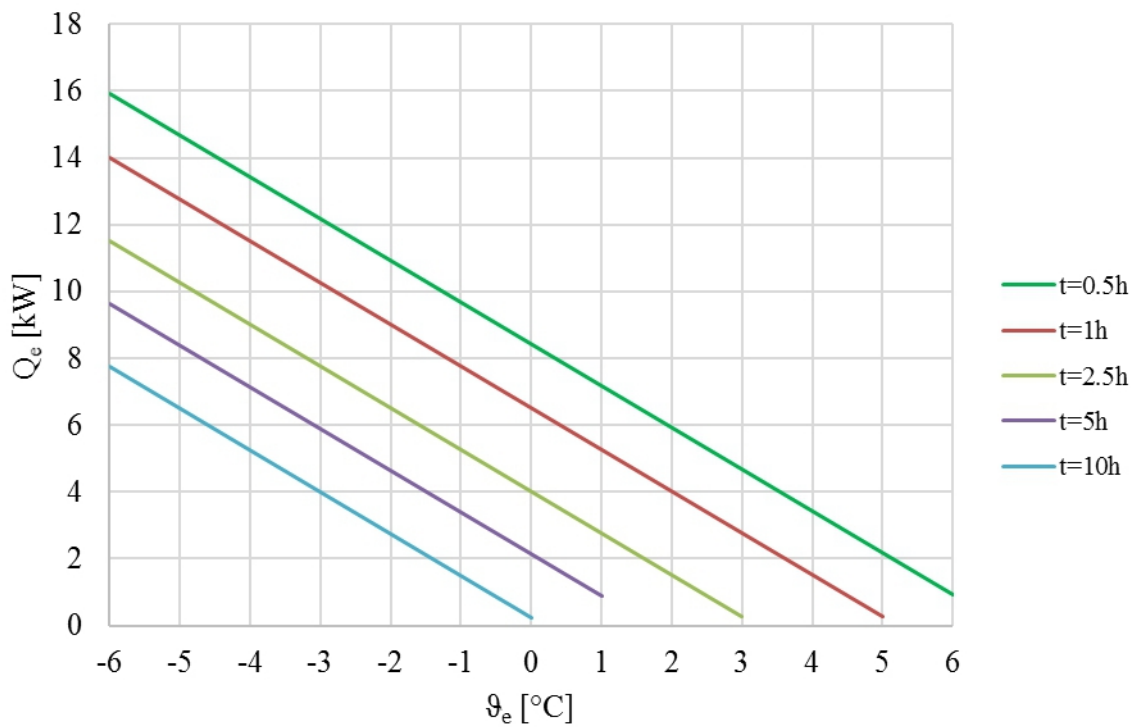


Figure 4. Impact of the change in refrigerant evaporating temperature on the cooling capacity for $\dot{q} = 60 \text{ W m}^{-1}$

Figure 3. shows that by the time of BHE operation cooling capacity decreases as the soil cools down. The higher the heat flow rate from BHE to refrigerant, time of BHE operation is smaller. As it is shown, in Figure 4., cooling capacity decreases with arise of evaporating temperature and time of BHE operation. In this study, it is determined that relationship between cooling capacity and evaporating temperature is linear according to applied methodology.

3. Conclusion

In the same temperature regime hydrocarbon mixtures show higher values of specific cooling capacity and specific heating capacity, lower COP values and higher discharge compression temperature compared to pure refrigerants. The specific characteristic of zeotropic mixtures is the temperature glide in two-phase area (during the processes of condensation and evaporation) and it could cause a higher driving force to heat transfer for the same temperature regime. That could result in lower required area of heat exchanger.

Soil, as a heat source for GHP is very complex for analysis. In present study the calculations are made using a simple 1D model of heat transfer in the BHE. The variation of temperature by the depth could not be taken into account, although this is a case in a real system as it was determined by experiments. Using the simplified 1D model the changes in temperature of soil during the GHP operation are calculated and its impact on the heat transfer. The results show that soil is a limited source of heat due to its cooling with the time of GHP operation. Also, it is shown that rise in the evaporating temperature of the refrigerant decreases the driving force to the heat transfer and the cooling capacity. Accuracy of this calculation should be tested by experimental data in order to make improvements and further development.

4. References

- [1] HFC Phase Down (Regulation), <http://refrigerants.danfoss.com/hfc/#/> (accessed July 9, 2017)
- [2] Bedoić, Robert; Filipan, Veljko. The Analysis of Heat Transfer in a Compression Heat Pump Working With Different Zeotropic and Azeotropic Mixtures // *24th International Symposium on Heating, Refrigerating and Air Conditioning / Zagreb: Congress Centre of the Zagreb Fair, April, 6th 2017*
- [3] Palm, Björn. Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems – A review // *International Journal of Refrigeration*, 31(2008), 4; 552-563. (ISSN 0140-7007)
- [4] Chang, Y.S., Kim, M. S., Ro, S.T. Performance and heat transfer characteristics of hydrocarbon refrigerants in a heat pump system // *International Journal of Refrigeration*, 23(2000), 3; 232-242. (ISSN 0140-7007)
- [5] Venzik, Valerius, Roskosch, Dennis, Atakan, Burak. Propene/isobutane mixtures in heat pumps: an experimental investigation // *International Journal of Refrigeration*, (2017), <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.ijrefrig.2017.01.027>. (ISSN 0140-7007)
- [6] Soldo, Vlado. Istraživanje i promocija plitkih geotermalnih potencijala u Republici Hrvatskoj, GeoMapping www.geothermalmapping.fsb.hr (accessed March 9, 2017)
- [7] Sagia, Z., Rakopoulos, Constantinos. Alternative refrigerants for the heat pump of a ground source heat pump system // *Applied Thermal Engineering*, 100(2016), 5; 768-774. (ISSN 1359-4311)

[8] Al-Khoury, Rafid. Computational Modeling of Shallow Geothermal Systems. Delft/The Netherlands: Delft University of Technology, 2012. (ISBN 978-0-203-13809-0)

NOMENCLATURE

COP	[-]	Coefficient Of Performance
a	[m ² s ⁻¹]	thermal diffusivity of ground
c_p	[kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]	specific heat capacity of ground
h	[kJ kg ⁻¹]	enthalpy of refrigerant
L	[m]	length of borehole
\dot{m}	[kg s ⁻¹]	mass flow rate
\dot{n}	[min ⁻¹]	number of cycles per unit time
P	[kW]	mechanic power of compression
\dot{Q}	[kW]	cooling/heating capacity
q	[kJ kg ⁻¹]	specific heating/cooling capacity
\dot{q}	[W m ⁻¹]	heat transfer rate
r	[m]	radius
R	[m m ⁻¹]	dimensionless radius
R_{BHE}	[Km W ⁻¹]	borehole thermal resistance
t	[h]	time
T	[K]	thermodynamic temperature
w	[kJ kg ⁻¹]	work input

Greek letters

ϑ	[°C]	Celsius temperature
λ	[W m ⁻¹ K ⁻¹]	thermal conductivity of ground
ρ	[kg m ⁻³]	ground density

Indexes and specific notation

BHE	Borehole Heat Exchanger
c	condensation
cr	critical
e	evaporation
GHP	Geothermal Heat Pump
o	initial temperature of BHE, radius of borehole
s	isentropic
'	hot liquid
"	saturated vapour

Bioplinne elektrane u Slavoniji i Baranji ***Biogas power plants in Slavonia and Baranja***

M. Ivanović¹, H. Glavaš², M. Vukobratović²

¹Panon institut za strateške studije u Osijeku, Osijek, Hrvatska

²Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: milanivanovi4@gmail.com

Sažetak

U radu se daje pregled izgrađenih bioplinnih elektrana u Republici Hrvatskoj te njihov doprinos elektroenergetskoj opskrbi u zemlji s posebnim osvrtom na stanje na području pet županija istočne Hrvatske (slavonsko-baranjska regija). Prikazuju se tehnološki okviri njihova funkcioniranja, instalirana snaga te njihovi proizvodni učinci.

Ključne riječi: Bioplin, Bioplinne elektrane, Obnovljivi izvori, Slavonska regija

Abstract

The paper presents an overview of the biogas plants built in the Republic of Croatia and their contribution to the energy supply in country with special review on the area of the five counties of eastern Croatian (Slavonia-Baranja region). The technological frameworks of their functioning, the installed power and their production effects are shown.

Keywords: Biogas, Biogas power plants, Renewable energy sources, Slavonian region

1. Bioplinna postrojenja u proizvodnji električne energije

1.1. Proizvodnja bioplina kao dio odgovora na ekološku i energetska krizu

Razvojem civilizacije suvremena društva su sve više opterećena energetska i ekološka problemima te povećanjem količine otpada (neorganskog i organskog). Krajem XX. stoljeća ovi su se problemi počeli strateški rješavati kombiniranjem različitih politika i metoda, [1-2]. Tako su zemlje EU započele s održivim gospodarenjem otpadom te sprječavanjem nastajanja, odnosno smanjenja otpada - što je važan dio zajedničkih napora za smanjenje zagađenja i emisije stakleničkih plinova te ublažavanja globalnih klimatskih promjena. Nekontrolirano odlaganje otpada danas nije prihvatljivo, a kontrolirano odlaganje i/ili spaljivanje organskih otpadaka više se ne smatra optimalnim praksama već se razvijaju politike recikliranja sirovina ili njihovo učinkovito energetska korištenje, [3-4]. Bioplinne elektrane su jedno od takvih učinkovitih rješenja.

Osnovne prednosti primjene bioplina su [5]:

- smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima,
- smanjenje količine otpada,
- smanjenje emisije stakleničkih plinova,
- manje neugodnih mirisa i insekata,
- smanjenje potrošnje vode u energetici,
- jednostavan postupak proizvodnje,
- zatvoren ciklus hranjivih tvari,
- visoka energetska učinkovitost i rentabilnost,
- korisni nusproizvodi (gnojivo iz krutih ostataka),
- energetski i ekološki održiva proizvodnja hrane.

S gledišta nacionalne razvojne politike ovdje treba dodati još tri prednosti: (a) smanjenje uvoza energije, (b) novo zapošljavanje i (c) dodatni prihodi lokalnog stanovništva.

1.2. Proizvodnja bioplina u Europskoj uniji

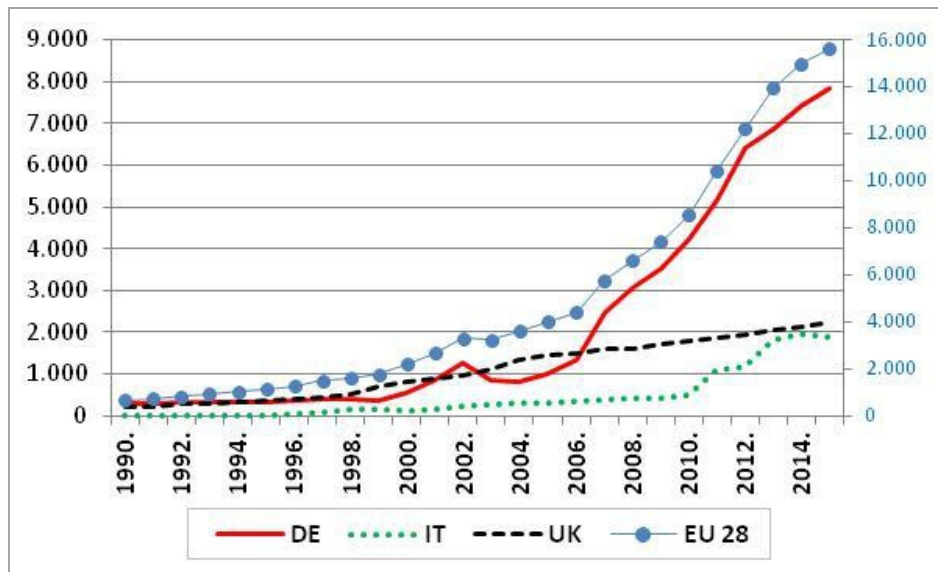
Značajnija izgradnja postrojenja za korištenje bioplina i razvoj tehnologija za ove proizvodnje u EU počinje 1990-tih godina, a vrlo ozbiljna razvojna politika u ovom sektoru započela je donošenjem niza strateških dokumenata EU glede energetskog razvoja i ekoloških politika; [6-8]

- Direktiva o odlagalištima otpada (1999/31/EZ) pridonosi EU ciljevima proizvodnje bioplina; zemlje članice moraju smanjiti količini biorazgradivog otpada koji se odlaže na odlagališta.
- Direktiva 2008/98/EZ o otpadu potiče uporabu i ponovnu uporabu otpada
- Direktiva o obnovljivoj energiji (2009/28/EZ) je pridonijela promociji korištenja energije iz obnovljivih izvora, a definiran je i cilj od 20% OIE u ukupnoj konačnoj potrošnji energije u 2020. godini.

Većina zemalja članica EU je - u okviru nacionalnih akcijskih planova za obnovljivu energiju - razradila programe razvoja tržišta bioplina te potiče proizvodnju bioplina povlaštenom otkupnom cijenom (feed-in tarife), zelenim certifikatima, ili isplatom poticaja za korištenje energetskih usjeva. Poticanje Feed-in tarifama se razlikuju u zemljama EU, a ovisi o: (1) supstratu koji se koristi, (2) veličini postrojenja, (3) iskorištenju toplinske energije i (4) transportu sirovine. Te su mjere dale rezultate i u EU je značajno porasla proizvodnja i korištenje bioplina; slika 1.

Proizvodnja bioplina je porasla od 665 milijuna tona ekv. nafte u 1990. na 15,6 milijardi tona ekv. nafte u 2015. godini. Tri su zemlje najveći proizvođači bioplina u EU; Njemačka (50% od ukupne EU proizvodnje), Velika Britanija (14%) i Italija (12%).

U zemljama EU se u 2010. godini 52 % bioplina proizvodio iz poljoprivrednih supstrata, 36% iz deponija smeća (deponijski bioplin) i 12 % iz obrade otpadnih voda. Velika Britanija je u EU najveći proizvođač bioplina iz obrade otpadnih voda, [10].



Slika 1. Primarna proizvodnja bioplina u EU-28 [9]

2. Bioplinne elektrane u Republici Hrvatskoj

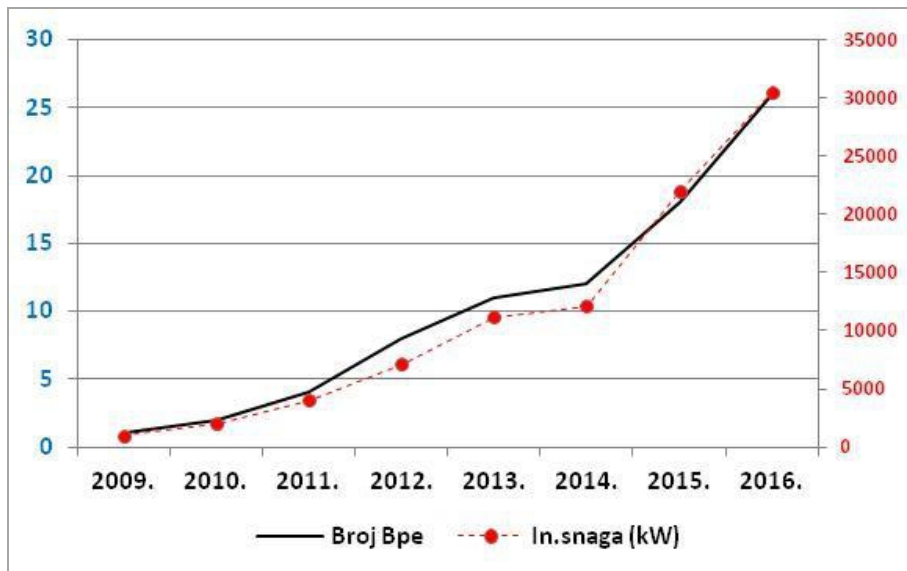
Uvjeti za isplativo korištenje obnovljivih izvora energije (OIE) i kogeneracije u Republici Hrvatskoj postoje od 2007. godine. Sustav poticajnih otkupnih cijena definiranih Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije omogućio je isplativost ovakvih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

Tehničke i ekonomske karakteristike bioplinnih elektrana ovise o planiranoj lokaciji i blizini ulazne sirovine, vrsti tehnologije za proizvodnju bioplina, ali i o smještaju u elektroenergetskom sustavu. Elektrana na bioplin u pravilu se priključuje na distributivnu elektroenergetsku mrežu te kao takva mijenja uobičajenu prirodu distributivnih mreža iz pasivne u aktivnu. Iz tog razloga svaka elektrana prije konačnog odobrenja za rad mora proći proces ispitivanja i analize utjecaja generatora elektrane na mrežu, provjeru ugrađenih zaštitnih uređaja te ispitivanje kvalitete električne energije prema normi HRN EN 50160, [11].

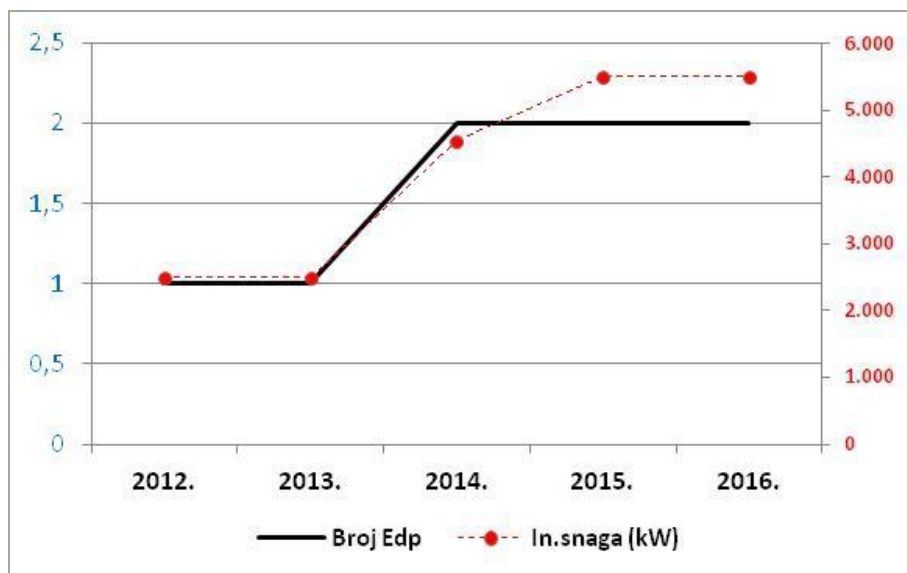
U Hrvatskoj je proteklih godina objavljeno više znanstvenih i stručnih radova o tehničkim karakteristikama i tehnološkim procesima u bioplinnim elektranama [12-15] tako da se ovdje to neće ponavljati; u ovom radu će se načiniti pregled izgrađenih bioplinnih elektrana u Republici Hrvatskoj te analizirati njihov doprinos energetskej opskrbi u zemlji s posebnim osvrtom na stanje na području pet županija istočne Hrvatske (slavonsko-baranjska regija).

Prva bioplinna elektrana u Hrvatskoj izgrađena je i započela je radom (u svibnju 2009.) u PZ Osatina kod Ivankova (Vinkovci); bioplinski agregat snage 1 MW proizvodi električnu energiju na niskom naponu (420 V) i isporučuje u distribucijsku mrežu HEP ODS DP „Elektra“ Vinkovci na naponu 10 kV [11]. U narednih sedam godina izgrađeno je i pušteno

u rad još 25 bioplinskih postrojenja ukupne snage 29,4 MWel te još dvije elektrane – jedna na deponijski plin i jedna na plin iz obrade mulja otpadnih voda - ukupne snage 5,5 MWel; slike 2 i 3.



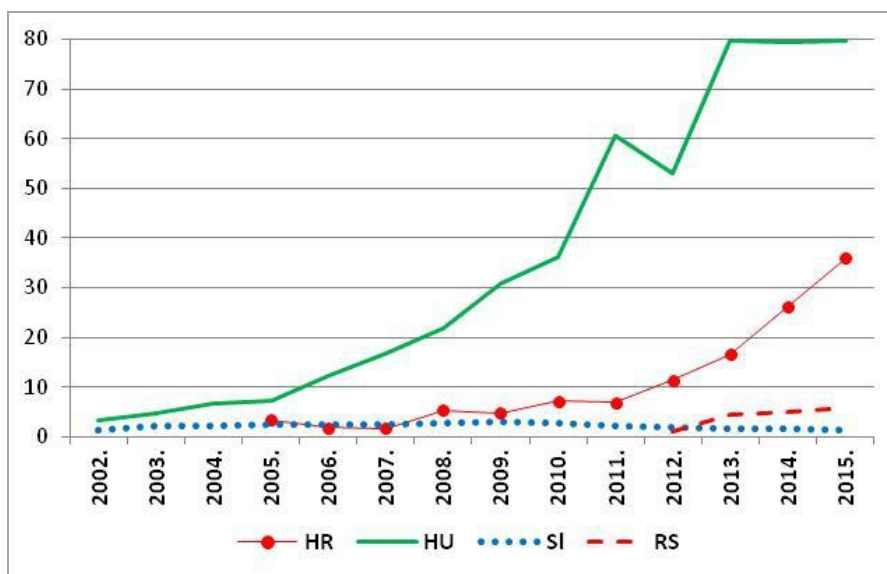
Slika 2. Broj i instalirana (el.) snaga bioplinskih elektrana (Bpe) u Republici Hrvatskoj [16,17]



Slika 3. Broj i instalirana (el.) snaga elektrana na deponijski plin (Edp) u Republici Hrvatskoj [16,17]

Hrvatska proizvodnja bioplina u međunarodnim okvirima [18] prikazana je slikom 4. Za usporedbu su odabrane nama susjedne zemlje; Italija (1,9 milijardi tona ekv. nafte) i Austrija (300 milijuna tona) su daleko iznad okvira usporedbe s RH, a u Bosni i Hercegovini te Crnoj

Gori još nema registrirane proizvodnje bioplina. Hrvatska ima desetak puta veću proizvodnju bioplina od Slovenije i Srbije, a više nego duplo manju proizvodnju od Mađarske.



Slika 4. Proizvodnja bioplina u Republici Hrvatskoj, Mađarskoj, Sloveniji i Srbiji [7]

2.1. Elektrane na OIE u Republici Hrvatskoj

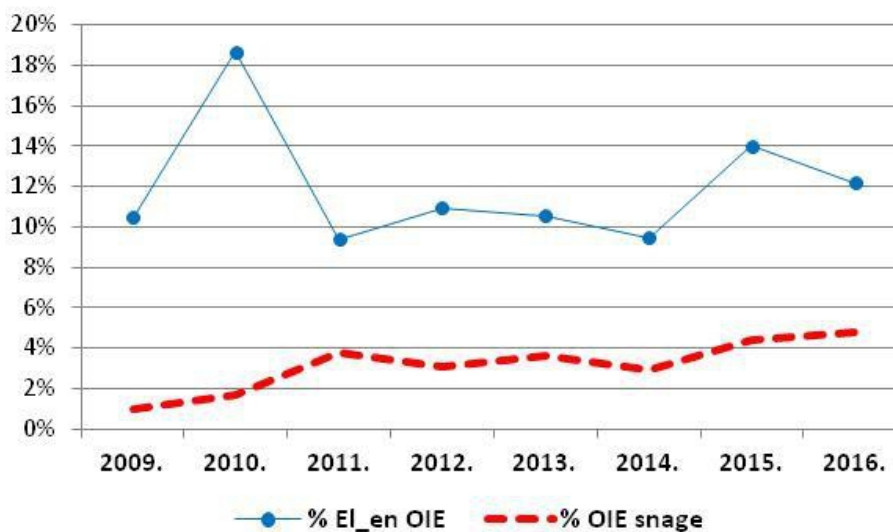
Republika Hrvatska je usvojila više dokumenata kojima se energetska politika RH prilagođavala EU okvirima [19] te je izgrađen sustav poticanja proizvodnje električne energije iz OIE i visokoučinkovitih kogeneracija koji je u primjeni od 1. srpnja 2007. godine. Od te godine počinju aktivnosti na izgradnji elektrana na OIE u Republici Hrvatskoj. Do kraja 2016. godine izgrađeno je i pušteno u rad 1.294 postrojenja za proizvodnju električne energije na OIE ukupne snage 640 MWe_{el}; tablica 1.

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 2016. [16]

R/b	Elektrane na OIE	Broj elektrana	Ukupna snaga (kW)	Prosječna snaga	Udio u broju	Udio u snazi OIE elektrana
1.	Sunčane elektrane	1.219	49.479	41	94,2%	7,7%
2.	Hidroelektrane	11	3.885	353	0,9%	0,6%
3.	Elektrane na biomasu	12	25.955	2.163	0,9%	4,1%
4.	Elektrane na bioplin	26	30.435	1.171	2,0%	4,8%
5.	Elektrane na deponijski plin	2	5.500	2.750	0,2%	0,9%
6.	Vjetroelektrane	18	412.000	22.889	1,4%	64,3%
7.	Kogeneracijska postrojenja	6	113.293	18.882	0,5%	17,7%
8.	Ukupno elektrane na OIE	1.294	640.547	495	100%	100,0%

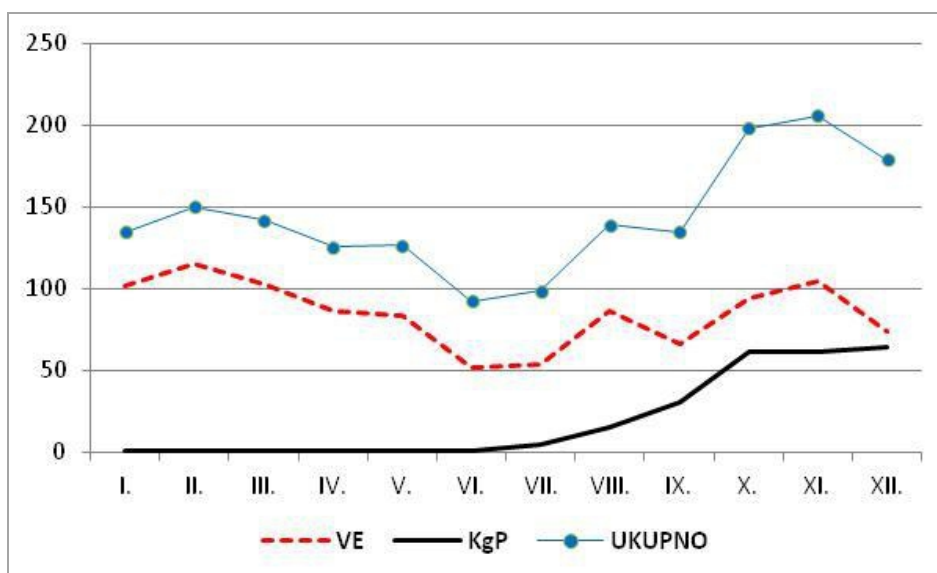
Sve elektrane na OIE u Republici Hrvatskoj proizvele su u 2016. godini 1.726 GWh električne energije, a 28 elektrana na bioplin (26 Bpe+2 Edp) - ukupne snage 39,5 MWe_{el} -

proizvelo je i isporučilo 210 GWh električne energije u elektroenergetski sustav RH - što je 12 % od ukupno proizvedene električne energije u OIE elektranama; slika 5.



Slika 5. Udio elektrana na bioplin u instaliranoj (el.) snazi i proizvodnji električne energije u ukupnim kapacitetima elektrana na OIE u Republici Hrvatskoj [16,17]

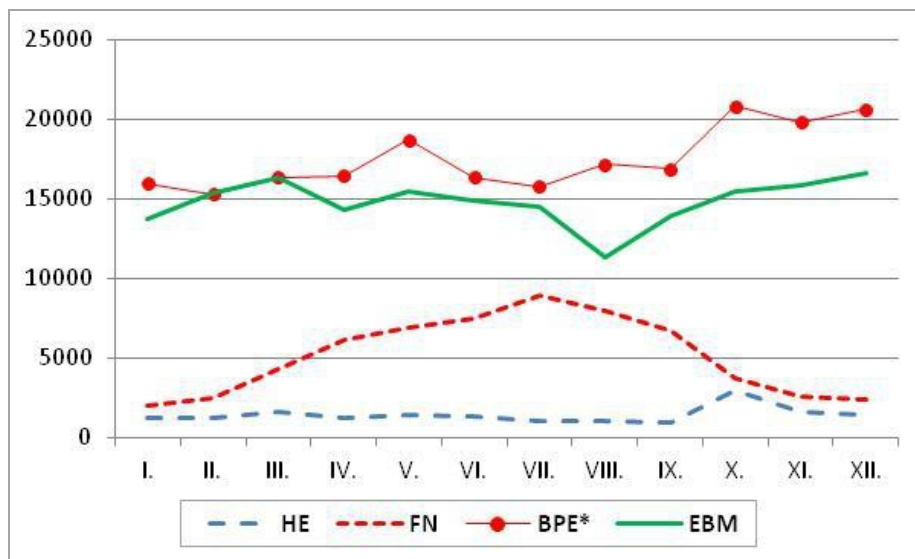
U proizvodnji električne energije na OIE u Republici Hrvatskoj najveći je udio vjetroelektrana (VE - 59%) i kogeneracijskih postrojenja (KgP - 14 %) od ukupne proizvodnje; slika 6 prikazuje dinamiku proizvodnje električne energije po mjesecima u 2016. godini.



Slika 6. Proizvodnja električne energije u vjetroelektranama, kogeneracijskim postrojenjima i ukupnim kapacitetima elektrana na OIE u Republici Hrvatskoj – po mjesecima (GWh) [16,17]

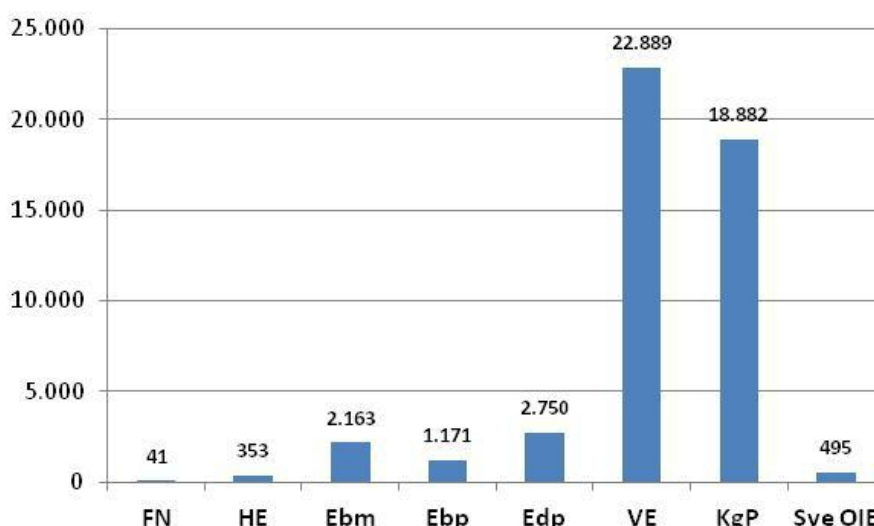
Male hidroelektrane (HE), fotonaponske elektrane (FN), elektrane na bioplin (BPE) i biomasu (EBM) u ukupnoj proizvodnji električne energije iz OIE u RH zastupljene su sa

27 %; slika 7 prikazuje dinamiku njihove proizvodnje električne energije po mjesecima u 2016. godini.



Slika 7. Proizvodnja električne energije u hidroelektranama (HE), fotonaponskim elektranama (FN), elektranama na bioplin (BPE) i biomasu (EBM) u Republici Hrvatskoj – po mjesecima (GWh) [16,17]

Posebno treba ukazati na prosječnu instaliranu (el.) snagu proizvodnih postrojenja u elektranama na OIE u Republici Hrvatskoj [20]; najveću prosječnu instaliranu (el.) snagu po jednoj elektrani u 2016. godini imaju vjetroelektrane i kogeneracijska postrojenja, a najmanju snagu imaju fotonaponske i hidroelektrane; tablica 1 i slika 8.

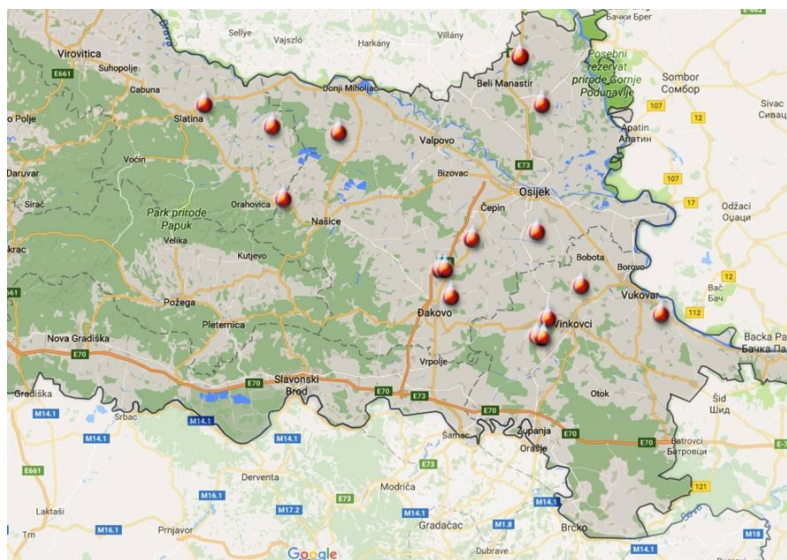


Slika 8. Prosječno instalirana (el.) snaga po jednoj elektrani na OIE u Republici Hrvatskoj prema vrsti OIE (kW) [16,17]

3. Bioplinske elektrane u Slavoniji i Baranji

Od 28 bioplinskih elektrana u Republici Hrvatskoj 17 je izgrađeno na području istočne Hrvatske (regija Slavonije i Baranje) i to: 10 na području Osječko-baranjske županije, dvije u Virovitičko-podravskoj i pet na području Vukovarsko-srijemske županije; slika 9. U tablici 2 daje pregled izgrađenih i puštenih u rad bioplinskih elektrana na području slavonsko-baranjske regije s osnovnim podacima. Na području Brodsko-posavske i Požeško-slavonske županije nema izgrađenih bioplinskih elektrana, već su u pogonu elektrane na drvenu biomasu, [16,17].

Značajno je napomenuti da su za veći broj bioplinskih postrojenja u regiji projektiranje, izgradnja i puštanje u pogon (povezivanje na EES) djelo slavonskih stručnjaka iz Belišća, Osijeka, Slatine, Slavonskog Broda i Vinkovaca.



Slika 9. Lokacije bioplinskih elektrana na području regije Slavonije i Baranje [16,17]



Slika 10. Kompleks bioplinske elektrane Slatina [21]

Tablica 2 Bioplinska postrojenja u funkciji na području slavonsko-baranjske regije [16,17]

Rb	Naziv objekta	kWeI	Q (kW)	Mjesto	Županija
1.	Osatina grupa d.o.o. Bioplinsko postrojenje TOMAŠANCI	1.000		31422 Tomašanci	OBŽ
2.	Farma Tomašanci d.o.o Bioplinsko postrojenje TOMAŠANCI 2.	1.000		31422 Tomašanci	OBŽ
3.	Farma Mala Branjevina d.o.o. Bioplinsko postrojenje MALA BRANJEVINA2	1.000		31403 Vuka	OBŽ
4.	Novi agrar d.o.o. Bioplinsko postrojenje MALA BRANJEVINA1	1.000		31403 Vuka	OBŽ
5.	Energija Gradec d.o.o Bioplinsko postrojenje MITROVAC	2.000		31309 Kneževi Vinogradi	OBŽ
6.	Osatina grupa d.o.o. Bioplinsko postrojenje SLAŠČAK	1.000		31401 Viškovci	OBŽ
7.	Energija Gradec d.o.o. Bioplinsko postrojenje POPOVAC	1.800		31303 Popovac	OBŽ
8.	Miagro Energo d.o.o. Bioplinsko postrojenje KUĆANCI	490	340	31542 Magadenovac	OBŽ
9.	Farma muznih krava Orlovnjak Bioplinsko postrojenje ORLOVNJAK	1.700	1.800	31216 Antunovac	OBŽ
10.	Osilovac d.o.o. Bioplinsko postrojenje OSILOVAC999	999	1.100	31512 Feričanci	OBŽ
11.	Biointegra d.o.o. Bioplinsko postrojenje SLATINA	2.000	2.000	33520 Slatina	VPŽ
12.	BR Bioplin Crnac1 d.o.o. Bioplinsko postrojenje CRNAC	1.000	0,655	33515 Crnac	VPŽ
13.	Osatina grupa d.o.o. Bioplinsko postrojenje IVANKOVO	1.000		32281 Ivankovo	VSŽ
14.	Bovis d.o.o. Bioplinsko postrojenje IVANKOVO2	1.000		32281 Ivankovo	VSŽ
15.	Landia d.o.o. LANDIA-GRADINA	1.000		32214 Tordinci	VSŽ
16.	Energija Gradec d.o.o. Bioplinsko postrojenje OVČARA	2.000	2.000	32000 Vukovar	VSŽ
17.	Energija Gradec d.o.o. Bioplinsko postrojenje VINKA	2.000	2.000	32100 Vinkovci	VSŽ



Slika 11. Bioplinsko postrojenje Osatina [22]



Slika 12. Osatina – detalj bp [22]

Osim navedenih bioplinskih postrojenja koja su u funkciji na području slavonske regije u izgradnji je još nekoliko objekata; Hrvatski operator tržišta energije (HROTE) je potpisao ugovore s nositeljima projekata o otkupu električne energije za naredno razdoblje. Prema stanju na dan 31.12.2016. potpisano je 25 ugovora za projekte izgradnje bioplinskih elektrana ukupne snaga 25.785 kW. Od toga broja 12 bioplinskih elektrana (ukupne el. snage 13.396 kW) je s područja Slavonije i Baranje; grade se u Cerni, Donjem Miholjcu, Gunji, Hrastinu, Klisi, Lipiku, Slatini, Trpinji, Viljevu i Viškovicima.

4. Zaključne napomene

U radu je ukratko ukazano na: (a) osnovne prednosti primjene bioplina glede ekologije, energetskog snabdijevanja te lokalnog razvoja i (b) temeljne okvire razvojne elektroenergetske i ekološke politike glede stvaranja uvjeta za izgradnju bioplinskih elektrana u Republici Hrvatskoj.

Postavljeni tarfinski sustav i sistem poticanja izgradnje postrojenja za lokalnu uporabu obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj – u našoj analizi glede bioplinskih elektrana - već četvrtu godinu daje dobre rezultate:

- a) U razdoblju od 2012. do 2016. je izgrađeno 20 novih bioplinskih elektrana ukupne snage 26,4 MW tako da je krajem 2016. godine u Republici Hrvatskoj u funkciji 28 bioplinskih elektrana ukupne (el.) snage 35,4 MW.
- b) Proteklih godina (od 2009. do danas) ove su bioplinske elektrane proizvodile i isporučivale u elektroenergetski sustav zemlje u prosjeku 10-tak posto električne energije proizvedene u OIE elektranama. U 2016. godini ova je proizvodnja iznosila 210 GWh.

- c) Na ovaj je način Republika Hrvatska postigla novi razvojni korak glede proizvodnje bioplina i ekološkog zbrinjavanja stajskog gnoja u odnosu na više susjednih zemalja.
- d) Od 28 bioplinskih elektrana koje su u funkciji u RH 17 elektrana je izgrađeno na području slavonsko-baranjske regije; 10 u Osječko-baranjskoj, dvije u Virovitičko-podravskoj i pet u Vukovarsko-srijemskoj županiji. Na području Brodsko-posavske i Požeško-slavonske županije nema izgrađenih bioplinskih elektrana, već su u pogonu elektrane na drvenu biomasu.
- d) U projektiranju, izgradnji, puštanju u pogon ovih bioplinskih elektrana značajno je sudjelovanje slavonskih stručnjaka iz Belišća, Osijeka, Slatine, Slavonskog Broda, Vinkovaca i Vukovara.
- e) Izgradnjom ovih bioplinskih elektrana osim ekoloških i energetskih doprinosa važan je uspjeh rečenih projekata u podizanju tehničke razine proizvodnje i poslovanja u regiji Slavonije i Baranje, a ne treba zanemariti ni doprinose zapošljavanju lokalnog stanovništva.

5. Literatura

- [1] Ivanović, M. - Energy consumption, structure and development, in european transition countries; IJECES – International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems, ISSN 1847-6996; Vol. 3, No.2, (2012), pp 7-16
- [2] Ivanović, M.; Capusta, Z.; Erkapčić, Ž. - Renewable Energy Sources in the Regions Embracing Corridor Vc; 3rd International Sympos. "Corridor Vc", Osijek, October 5 – 6, 2006; Ekonomski fakultet, Osijek; ISBN 978-953-253-025-4; Proceedings, pp 97 -108
- [3] Ivanović, M.- European Trends of Renewable Energy Sources; Konferencija „Obnovljivi izvori energije u RH“; Zbornik radova (Štih, K. ur.). Zagreb: Hrvatska gospodarska komora, 2007. pp 237-247
- [4] Ivanović, M.; Glavaš, H.; Gantner, R. - Biofuels in Croatia; Journal of Microbiology & Microbial Technology 1(2): 5 (2016), pp 1 - 5
- [5] Teodorita Al Seadi et al. - Biogas handbook; ISBN 978-87-992962-0-0, University of Southern Denmark, Esbjerg, 2008
- [6] EK - Direktiva o odlagalištima otpada (1999/31/EZ); <http://eur-lex.europa.eu/>
- [7] EK - Direktiva o otpadu; 2008/98/EZ (<http://eur-lex.europa.eu/>)
- [8] EK - Direktiva o obnovljivoj energiji; 2009/28/EZ; (<http://eur-lex.europa.eu/>)
- [9] Eurostat – (<http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>)
- [10] Fištrek - Razvoj tržišta bioplina u Europskoj Uniji i potencijali u Hrvatskoj (http://www.biogasin.org/files/pdf/hr_interaktivni/2_Razvoj%20trzista%20bioplina%20u%20EU%20i%20potencijali%20u%20RH.pdf)
- [11] Šljivac, D.; Vukobratović, M.; Stojkov, M.; Nakomčić, B.; Klaić, Z.; Marić, P. - Tehničke i ekonomske karakteristike bioplinske elektrane i utjecaj na elektroenergetsku mrežu; 11th Natural Gas, Heat and Water Conference, Osijek, 25-27.09.2013. Proceedings PLIN2013; Raos, P.; Tonković, Z. (ur.), Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, pp 11-30
- [11] Vukobratović, M.; Šljivac, D.; Nikolovski, S.; Stanić, Z.; Knezević, S. - Energy potential and so far course of action of using biomass and biogas in Croatia; Electricity Distribution - Part 1, CIRED '2009. 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution Prague, 8-11.06.2009. Czech Republic

- [12] Topić, D.; Šljivac, D.; Jozsa, L.; Nikolovski, S.; Vukobratović, M. - Cost-benefit Analysis of Biogas CHP Plant; 28th International Conference Science in Practice, Subotica, 2010; Proceedings, Subotica Tech, pp 123-131
- [13] Nikolovski, S.; Klaić, Z.; Kraus, Z.; Vukobratović, M. - Mjerenje i analiza kvalitete električne energije u bioplinskom postrojenju; Drugo savjetovanje hrvatskog ogranka međunarodne elektrodistribucijske konferencije, Umag 2010.; Zbornik radova; Vrankić, Tonković (ur.). HRO CIRED, SO2-09-1-SO2-09-7
- [14] Šljivac, D.; Vukobratović, M. - Analiza opravdanosti izgradnje bioplinske elektrane Landia; Elaborat, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2012.
- [15] Jovičić, D.; Kralik, D.; Ivanović, M.; Vukšić, M.; Mirjanić, J.; Dundović, J. - Proizvodnja bioplina iz leguminoza; Europski poslovni forum o obnovljivim izvorima energije : knjiga sažetaka, Zagreb: Hrvatska gospodarska komora, 2010. str. 23-25
- [16] HROTE - Godišnji izvještaj o sustavu poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije u Republici Hrvatskoj za 2013. godinu; 2014.;2015.;2016.
- [17] EIHP - Energija u Hrvatskoj ' 2009.- 2015.; Ministarstvo gospodarstva RH, Zagreb, 2010./15.
- [18] Ivanović, M.; Glavaš, H. - Green Electricity Production in EU-28, Croatia, Germany, Hungary and Serbia; 32nd International Conference „Science in Practice“, Osijek, October 15 –17, 2014, Proceedings, Elektrotehnički fakultet Osijek;
- [19] * * * Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske NN, 130/09
- [20] Ivanović, M.; Glavaš, H.; Špiranović-Kanižaj, D. - Energy Efficiency and Renewable Energy Sources in The Slavonia Region; SIP, Pecs, november 2012; ISBN 978-963-7298-53-0; Proceedings, pp 63 - 70
- [21] Informativni centar Virovitica (<http://www.icv.hr/wp-content/uploads/2017/04/skm8a678.jpg>)
- [22] Osatina grupa (<http://www.osatina.hr/hr/>)

Utjecaj atmosferskog pražnjenja na elektroniku plinskih bojlera *Impact of atmospheric discharge on the electronics of gas boilers*

B. Perković^{1,*}, T. Barić², H. Glavaš²

¹DMK servisi d.o.o., Biljska cesta 66 Osijek

²Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

*Autor za korespondenciju. E-mail: branimir.perkovic@dmkservisi.com

Sažetak

Moderni plinski bojleri koriste elektroničke sustave nadzora, regulacije i upravljanja. Pomoću njih sustav grijanja može se precizno prilagoditi potrebama korisnika, a optimizacijom procesa postiže se visoka razina energetske učinkovitosti. Elektroničko sklopovlje napaja se mrežnim naponom, te je kao takvo dizajnirano za normalni rad u skladu sa dozvoljenim varijacijama napona u distributivnoj niskonaponskoj mreži. Varijacije mrežnog napona izvan dozvoljenih granica mogu poremetiti rad ili izazvati trajni kvar elektroničkih sustava plinskih bojlera. Mrežni prenaponi uzrokovani atmosferskim pražnjenjima pokazali su se posebno štetnim za elektronička sklopovlja plinskih bojlera. Rad prikazuje osvrt na intervencije zamjene neispravnih elektroničkih ploča na području Osijeka koje su uslijedile nakon grmljavinskog nevrijemena 25. lipnja 2017. Unutar poslovnog subjekta koji se bavi održavanjem i popravcima uređaja, za statističke podatke u razdoblju od dvije godine provedena je analiza korelacije učestalosti kvarova elektronskih ploča sa vremenskim prilikama. Prikazana je korelacija između vremenskih prilika i lokacija na kojima su prijavljeni kvarovi. Nadalje, dane su mjere koje se mogu koristiti kao preventiva prilikom vremenskih nepogoda, te prevencija kvarova u budućnosti.

Abstract

Modern gas boilers use electronic supervision, regulation and control systems. By means of these, the heating system can be accurately adapted to the needs of the user, and the process optimization achieves a high level of energy efficiency. The electronic circuit board is powered by mains voltage, and is designed as such for normal operation in accordance with the permitted voltage variations in the low voltage distribution network. Variations in network voltages beyond permitted limits may cause malfunctions or cause permanent damage to electronic gas boiler systems. Network surges caused by atmospheric emptying have proven to be particularly harmful for electronic circuits of gas boilers. The paper presents an overview of the interventions for the replacement of faulty electronic boards in the Osijek area following the thunderstorm on June 25, 2017. Within a business

entity engaged in maintenance and repair of the device, a statistical analysis of the correlation of the frequency of electronic failure with weather conditions was performed for statistical data over a period of two years. The correlation between weather conditions and locations where malfunctions are reported is displayed. Furthermore, measures are given that can be used as preventative in times of disaster and the prevention of future failures.

Ključne riječi: plinski bojler, prenapon, kvarovi, elektronika, zaštita

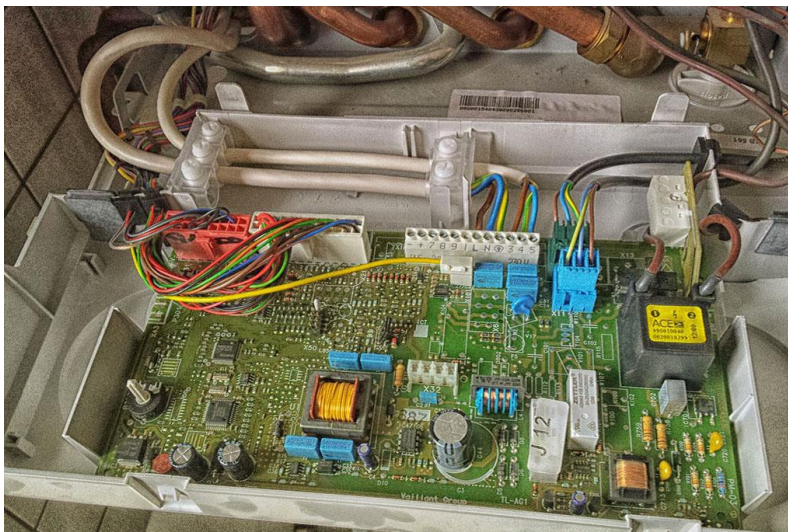
1. Uvod

Rad daje osvrt na posljedice grmljavinskog nevremena koje se dogodilo u Osijeku 25. lipnja 2017. godine. Tvrtka DMK servisi d.o.o. koja se bavi servisom, održavanjem, montažom plinskih i uljnih trošila, te kemijskih čišćenja kotlova i izmjenjivača topline zaprimila je brojne pozive stranaka sa prijavama kvarova na plinskim bojlerima. Djelatnici DMK servisa odradili su dvanaest intervencija na području grada Osijeka koji su za posljedicu imali otklanjanje istog kvara što je povuklo pitanje kolika je povezanost grmljavinskih nevremena sa kvarovima na elektroničkim pločama kod plinskih bojlera. Prilikom analize podataka o kvarovima na električnim pločama iz baze podataka uočeno kako je ta vrsta kvarova sve učestalija, te je bilo potrebno kvarove usporediti sa vremenskim nepogodama i uvidjeti postoji li korelacija između ta dva događaja. Važno je napomenuti kako svi plinski bojleri novijih generacija posjeduju sve više elektroničkih komponenti kako bi krajnjim korisnicima pružili više mogućnosti regulacije režima rada, te postizanja većeg komfora uz smanjenje potrošnje energije. Također su u radu razmotrene i mogućnosti smanjenja kvarova na plinskim bojlerima koji su vezani uz varijacije mrežnog napona, nagle skokove napona, te tranzijente.

2. Korelacija između kvarova i atmosferskih pražnjenja

Prilikom prikupljanja podataka potrebnih kako bi se mogla dobiti vizualizacija korelacije između kvarova i atmosferskih pražnjenja uočeno je kako postoji vrijeme kašnjenja između vremenskih neprilika i izvršavanja servisa. Razlog toga je inercija ljudi, te činjenica kako se vremenske neprilike pretežno dešavaju krajem radnog dana tako da stranke kod kojih se dogodio kvar taj kvar znaju prijaviti sa dan, dva ili tri zakašnjenja. Neki od razloga kasnije prijave kvara su i činjenica kako stranke u slučajevima kvara na uređaju pokušavaju samostalno otkloniti kvar ili uz pomoć neovlaštenih servisera. Na slici 1 prikazan je smještaj upravljačke ploče u kombi bojleru. Originalni rezervni dijelovi dostupni su ovlaštenim servisima zbog čega stranke u konačnici upućuju svoj poziv kako bi svoj plinski bojler dovele u funkcionalno stanje. Podaci o zamjenama elektronskih ploča na plinskim bojlerima dio su baze podataka firme DMK servisi d.o.o.. Kako bi se došlo do potpunije analize koliko je elektronskih ploča promijenjeno u gradu Osijeku bilo bi potrebno prikupiti podatke od svih servisera koji se bave popravcima plinskih trošila na području grada Osijeka. Na žalost pokušaj dobivanja podataka od drugih servisera na području grada Osijeka nije jednostavno provediv, jer većina servisera su firme koje se sastoje od

jednog do tri djelatnika, te ne posjeduju aplikacije pomoću kojih bi kreirali bazu podataka o odrađenim servisima.



Slika 1. Upravljačka ploča kombi bojlera

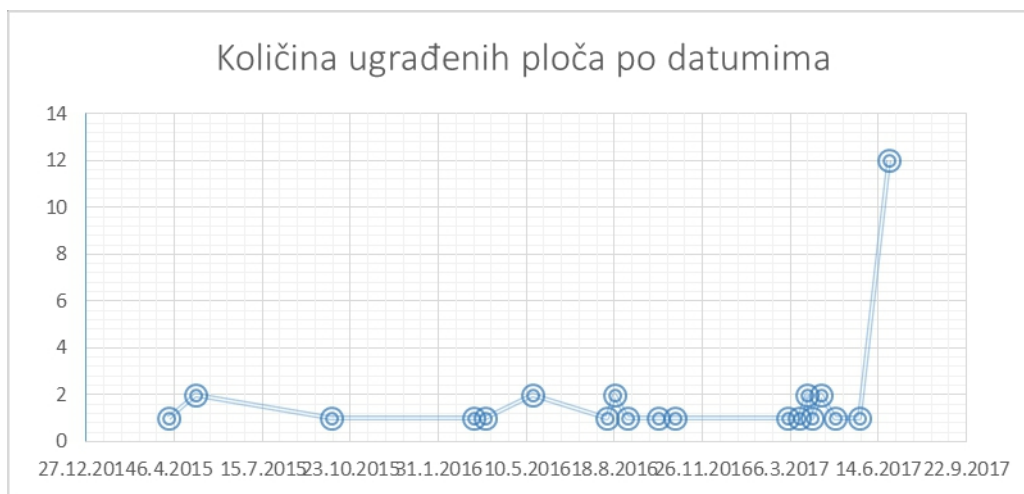
Broj izmijenjenih elektronskih ploča, slika 2., za pojedini datum uspoređen je sa vremenskim prilikama te su podatci prikazani u tablici 1.

Tablica 1. Broj kvarova u ovisnosti o vremenskim prilikama

Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]
	27.3.2015.	17,4	9,0 l/m ³		26.4.2015.	25,2	-		27.9.2015.	16,8	0,3 l/m ³
	28.3.2015.	12,4	0,1 l/m ³		27.4.2015.	26,9	0,2 l/m ³		28.9.2015.	14,7	3,1 l/m ³
1	29.3.2015.	14,5	-	2	28.4.2015.	24	4,0 l/m ³	1	29.9.2015.	12,2	2,0 l/m ³
	30.3.2015.	18,4	8,0 l/m ³		29.4.2015.	18,8	-		30.9.2015.	16,1	-
	31.3.2015.	18,4	4,0 l/m ³		30.4.2015.	20,7	-		1.10.2015.	18,9	-
Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]
	7.3.2016.	11,1	0,6 l/m ³		20.3.2016.	17	-		13.5.2016.	21,6	3,0 l/m ³
	8.3.2016.	12,2	0,1 l/m ³		21.3.2016.	13,2	3,0 l/m ³		14.5.2016.	17	0,8 l/m ³
1	9.3.2016.	12,6	-	1	22.3.2016.	12,2	3,6 l/m ³	2	15.5.2016.	13,6	2,0 l/m ³
	10.3.2016.	10,7	6,0 l/m ³		23.3.2016.	5,4	11,9 l/m ³		16.5.2016.	16,5	-
	11.3.2016.	12	4,0 l/m ³		24.3.2016.	10,5	-		17.5.2016.	16,8	-
Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]
	5.8.2016.	32,5	20,0 l/m ³		14.8.2016.	25,8	-		29.8.2016.	32	-
	6.8.2016.	23,9	6,2 l/m ³		15.8.2016.	28,8	0,1 l/m ³		30.8.2016.	29	-
1	7.8.2016.	25,4	-	2	16.8.2016.	28,8	-	1	31.8.2016.	28,4	-
	8.8.2016.	27,6	-		17.8.2016.	24,3	1,0 l/m ³		1.9.2016.	29,8	-
	9.8.2016.	28,3	-		18.8.2016.	26,4	-		2.9.2016.	29,6	-
Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]
	3.10.2016.	16,1	0,6 l/m ³		21.10.2016.	11,3	9,4 l/m ³		27.2.2017.	16	-
	4.10.2016.	17,9	0,5 l/m ³		22.10.2016.	16,1	-		28.2.2017.	20,2	0,2 l/m ³
1	5.10.2016.	13,2	-	1	23.10.2016.	10,4	-	1	1.3.2017.	8,9	9,0 l/m ³
	6.10.2016.	15,6	-		24.10.2016.	21,7	-		2.3.2017.	14,7	0,4 l/m ³
	7.10.2016.	14,8	-		25.10.2016.	23,8	5,0 l/m ³		3.3.2017.	13,9	-
Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]
	12.3.2017.	7,4	2,0 l/m ³		21.3.2017.	22,2	-		6.4.2017.	14,4	-
	13.3.2017.	12,1	-		22.3.2017.	24,3	-		7.4.2017.	11,3	0,3 l/m ³
1	14.3.2017.	13,2	-	2	23.3.2017.	23,5	-	2	8.4.2017.	16	-
	15.3.2017.	13,7	-		24.3.2017.	21,6	-		9.4.2017.	19,6	-
	16.3.2017.	15	-		25.3.2017.	16,1	-		10.4.2017.	25,6	-
Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]	Broj kvarova	Datum	Temperatura [°C]	Oborine [l/m ³]
	21.4.2017.	10,3	-		20.5.2017.	24,6	-		22.6.2017.	34	-
	22.4.2017.	16,1	0,9 l/m ³		21.5.2017.	24,6	-		23.6.2017.	34,6	0,9 l/m ³
1	23.4.2017.	13,6	-	1	22.5.2017.	25,3	-	12	24.6.2017.	-	-
	24.4.2017.	17,4	-		23.5.2017.	25,6	0,3 l/m ³		25.6.2017.	34	29,0 l/m ³
	25.4.2017.	22,4	-		24.5.2017.	-	-		26.6.2017.	28,9	-

Za svaki pojedini kvar koji je prikazan u tablici analizirane su vremenske prilike pet dana unatrag iz razloga što se sam popravak rijetko popravlja na datum vremenske nepogode.

Iz analize isključeni su siječanj, veljača, studeni i prosinac, jer malo je vjerojatno da su u tim mjesecima oborine popraćene s grmljavinom, a time i atmosferskim pražnjenjima. Podatci su uzeti sa mjernih postaja Osijek-Klisa te Osijek-Čepin, [1]. Kako bi se uočila tendencija porasta učestalosti kvarova na elektronskim pločama kroz protekle dvije godine na slici 2. grafički su prikazani kvarovi iz tablice 1. Iz slike 2. možemo uvidjeti kako su sve učestaliji kvarovi na elektronskim pločama, te da imamo izrazito veliki skok kvarova koji su povezani sa grmljavinskim nevremenom koje se dogodilo u noći sa 25.06.2017. na 26.06.2017. gdje je zabilježen velik broj atmosferskih pražnjenja na području samog grada Osijeka.



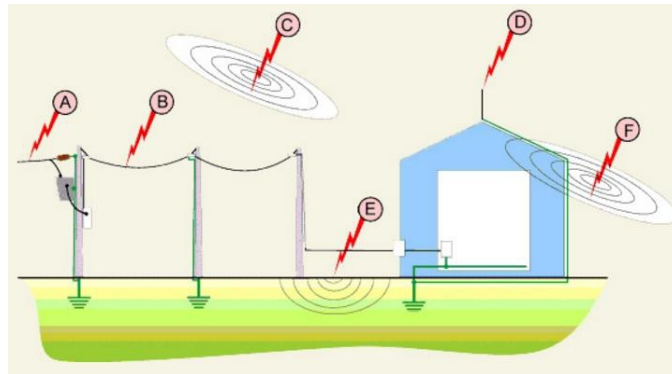
Slika 2. Broj izmijenjenih elektronskih ploča kroz period od dvije godine

3. Prenapon

Pri direktnim atmosferskim pražnjenjima u vanjsku gromobransku instalaciju koja je postavljena na objektima sa osjetljivom opremom u određenim slučajevima se mogu pojaviti induktivni prenaponi. Oni često mogu biti toliko visoki da ugrožavaju osjetljivu opremu. Osim ovakvih prijetnji elektromagnetskih polja uslijed direktnog atmosferskog pražnjenja, također preko vodova koji povezuju dva objekta mogu se prenijeti tranzijenti.

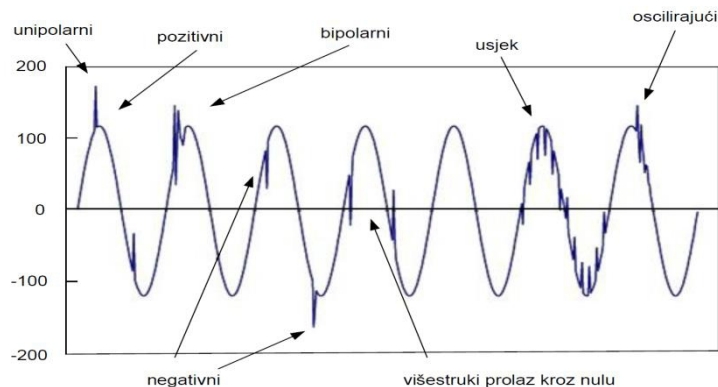
Vrste utjecaja atmosferskog pražnjenja na promatrani objekt prikazana su na slici 3. gdje nam slovne oznake imaju slijedeće značenje:

- A – direktni udar groma u nadzemne vodove,
- B – direktan udar groma u nadzemne vodove,
- C – utjecaj magnetnog polja na vodove,
- D – direktni udar groma,
- E – raspodjela potencijala oko mjesta udara groma,
- F – utjecaja magnetnog polja na unutrašnje instalacije i opremu.



Slika 3. Vrste utjecaja atmosferskog pražnjenja na promatrani objekt, izvor [2]

Tranzijent je visokofrekvencijska promjena napona u trajanju kraćem od jedne poluperiode (10 ms). Mogu biti uzrokovani sklopnim operacijama u mreži, udarima groma, uklapanjima kapacitivnih tereta itd., [3]. Oblici im mogu biti razni, kako je prikazano na slici 4.



Slika 4. Oblici tranzijenata, izvor [3]

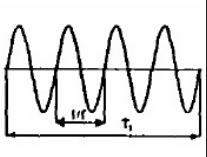
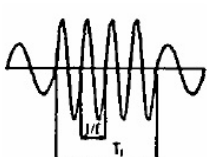
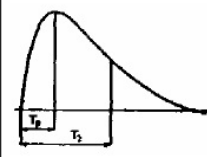
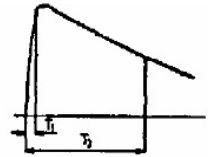
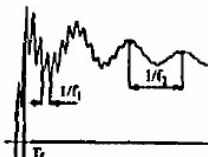
Naponi i prenaponi podijeljeni su prema obliku i vremenu trajanja. Podijeljeni su u sljedeće skupine:

- Trajni napon: napon industrijske frekvencije i konstantne efektivne vrijednosti, trajno narinut na bilo koji par priključnica neke konfiguracije izolacije,
- Privremeni prenapon: prenapon industrijske frekvencije, relativno dugog trajanja, može biti prigušen ili neprigušen. U nekim slučajevima frekvencija može biti nekoliko puta manja ili veća od industrijske frekvencije.
- Prijelazni prenapon: kratkotrajni prenapon (trajanja nekoliko milisekundi i manje), oscilirajući ili ne, obično jako prigušen. Prijelazni prenaponi mogu se podijeliti na:
 - Udarni napon sa sporim čelom: prijelazni prenapon, obično jednog polariteta s vremenom maksimuma $20 \mu s < T_p < 5000 \mu s$, i trajanjem hrpta $T_2 < 20 ms$,
 - Udarni napon s brzim čelom: prijelazni prenapon, obično jednog polariteta, s vremenom maksimuma $0,1 \mu s < T_1 < 20 \mu s$ i trajanjem hrpta $T_2 < 300 \mu s$ i

- Udarni napon s vrlo brzim čelom: prijelazni prenapon, obično jednog polariteta, s vremenom maksimuma $T_f < 0,1 \mu s$, ukupnog trajanja $< 3 ms$ i sa superponiranim oscilacijama frekvencije $30 kHz < f < 100 MHz$.
- Kombinirani prenapon koji se sastoji od dvije (ili više) komponenti napona istovremeno narinutih između svake od dviju faznih priključnica izolacije i zemlje. Definiran je s komponentom više vršne vrijednosti.

Podjelu prenaponskih pojava nabolje prikazuje tablica 2. u kojoj su pored osnovnih karakteristika vidljivi grafički prikazi pojave u vremenskoj domeni.

Tablica 2. Podjela prenaponskih pojava [5]

VRSTE NAPONA	NISKA FREKVENCIJA		PRIJELAZNI		
	TRAJNI	PRIVREMENI	POLAGANI (sklopni)	BRZI (atmosferski)	VRLO BRZI
Oblik napona					
Područje oblika napona	$f = 50 \text{ ili } 60 \text{ Hz}$ $T_1 \geq 3600 \text{ s}$	$10 < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \geq T_1 \geq 0.03 \text{ s}$	$5000 > T_p > 20 \mu s$ $20 \text{ ms} \geq T_2$	$20 > T_p > 0.1 \mu s$ $300 \text{ ms} \geq T_2$	$100 > T_f > 3 \text{ ns}$ $0.3 > f_1 > 100 \text{ MHz}$ $30 > f_2 > 300 \text{ kHz}$ $3 \text{ ms} \geq T_1$
Standardni oblik napona	$f = 50 \text{ ili } 60 \text{ Hz}$ $T_1 (*)$	$48 < f < 62 \text{ Hz}$ $T_1 = 60 \text{ s}$	$T_1 = 250 \mu s$ $T_2 = 2500 \mu s$	$T_1 = 1.2 \mu s$ $T_2 = 50 \mu s$	(*)
Standardno ispitivanje podnosivosti	(*)	Ispitivanje kratkotrajnim naponom 50 Hz	Ispitivanje sklopnim impulsom	Ispitivanje atmosferskim impulsom	(*)

(*) - nije definirano

4. Uređaji za prenaponsku zaštitu

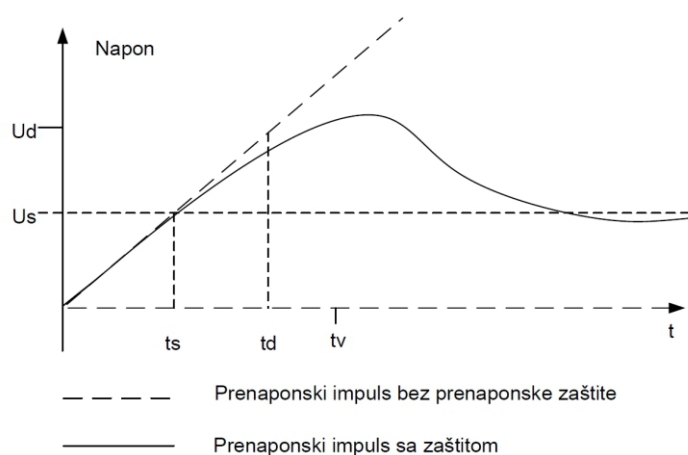
Prenaponska zaštita (*overvoltage protection*) je skup mjera koje se provode da bi se zaštitili ljudi i oprema od prevelikih napona. Postoje tri osnovna cilja prenaponske zaštite. Prvi osnovni cilj prenaponske zaštite je da oprema pri korištenju i održavanju bude bezopasna za ljude. Drugi cilj prenaponske zaštite je da se poduzmu sve mjere prilikom projektiranja, proizvodnje, montaže i korištenja opreme da se ispravnost opreme održi i pod djelovanjem prenapona. Treći cilj prenaponske zaštite je da se utjecaj prenaponskih smetnji ukloni ili smanji koliko god je to moguće. Izvori prenapona mogu biti različiti ali se najčešće misli na distribucijske mreže, elektromagnetski utjecaj i atmosferska pražnjenja. Mjere za smanjivanje prenapona, kada se oni pojave, se sastoje u povezivanju strujnih krugova sa zaštitnim elementima na provodnike koji mogu biti put prenaponima koji imaju tendenciju da oštete uređaj ili pojedine komponente.



Neki od osnovnih uvjeta za elemente prenaponske zaštite [4]:

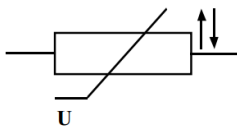
- u vremenu ne postojanja prenaponskih smetnji da ne utječu na rad strujnog kruga kojeg štite kao da ih nema,
- da imaju prag djelovanja koji što manje ovisi od trenutnim uvjetima,
- da djeluju brzo tako da što manji dio energije prenapona dođe do osjetljivog strujnog kruga,
- da imaju moć upijanja velikih energija i odvajanja velikih snaga,
- da budu što manje podložni starenju tj. njihovo djelovanje u slučajevima pojave prenapona mora biti što manje ovisno od prethodnim djelovanjima,
- u slučaju kvara elementa da ostanu u stanju koje i dalje štiti uređaj (kratak spoj) i da signaliziraju svoju neispravnost.

Princip rada zaštitnih uređaja je prikazan na slici 5.

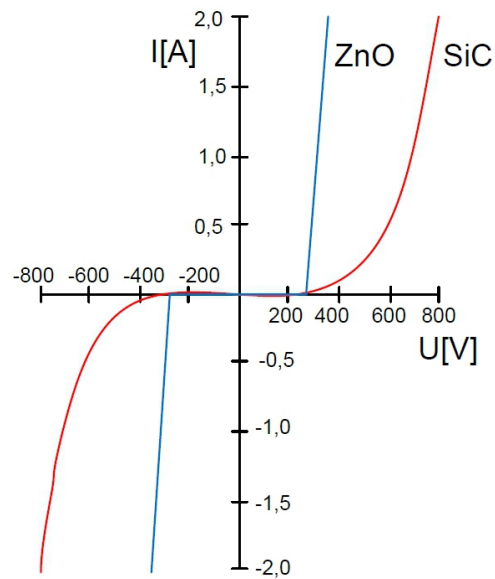


Slika 5. Princip rada zaštitnih uređaja

Na slici 5. je sa U_s i t_s označen statički nivo zaštite i vrijeme statičke zaštite. Statička zaštita je ona koja se događa kada su prenaponski impulsi spori tj. kada je vrijeme t_1 sa slike 5. veliko, što u pojmovima prenaponske zaštite znači da je reda veličine ms. Sa U_d i t_d je označen naponski maksimum i vrijeme dinamičke zaštite kada je prenaponski impuls brz tj. vrijeme njegovog nastanka vrlo kratko. U ovom slučaju proces teče na sljedeći način: vrijednost prenapona raste i doseže nivo statičke zaštite ali, pošto je impuls brz, porast napona se nastavlja a proces u zaštitnom elementu se počne odvijati. Ovaj proces često ima lavinski karakter. Vrijednost prenapona usporava svoj rast i poslije vremena t_v počinje opadati dok ne postigne statički nivo zaštite. Vrijednost razlike $U_d - U_s$ se naziva naponskim premašajem i razmjerna je brzini nastanka prenaponskog impulsa. Vrijednost razlike $t_d - t_s$ se naziva vremenom reagiranja i definira se kao vrijeme za koje napon prenaponskog impulsa promijeni vrijednost od U_s do U_d u slučaju kada nemamo prenaponsku zaštitu. Simbol varistora prikazan je na slici 6.



Slika 6. Simbol varistora



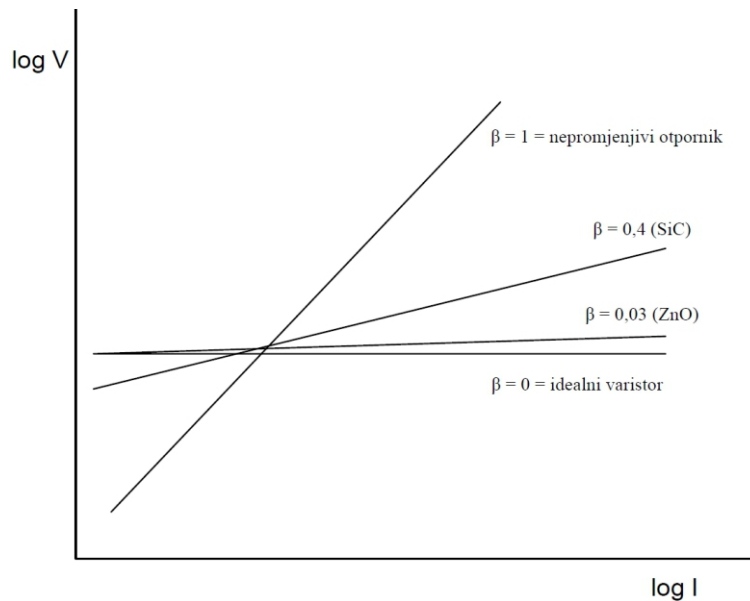
Slika 7. Strujno-naponska karakteristika varistora

Kao suvremeni zaštitni elementi najpoznatiji su plinski odvodnici, metal-oksidni varistori i poluvodički zaštitni elementi [4]. Metal-oksidni varistori su naponski ovisni otpornici (VDR - Voltage Dependent Resistor) [5] kojima se otpor mijenja inverzno s narinutim naponom. Opadanje otpora s povećavanjem napona je vrlo oštro izraženo. U normalnom radnom području varistora promjena struje je vrlo izražena već za male promjene napona, pa se varistor može primijeniti u svrhu stabilizacije napona. Tipični primjer uporabe varistora je za potiskivanje naponskih udara, odnosno zaštitu od prenapona. Takve se prilike mogu stvoriti uključivanjem induktivnih trošila, udarom groma ili drugim vrstama elektrostatičkih pražnjenja. Varistor se vezuje kao zaštitni uređaj paralelno trošilu. U normalnim uvjetima kroz njega teče zanemariva struja. Kada se dogodi naponski udar struja varistora naglo poraste i time spriječi porast napona. Varistor apsorbira energiju uklapanja uređaja. Javlja se i kao element za prekonaponsku zaštitu različitih poluvodičkih sklopova. Varistor je koristan i za gašenje električnih iskara. Tipični odnos između napona i struje varistora može se iskazati relacijom [5]

$$V = C \times I^\beta \quad (1)$$

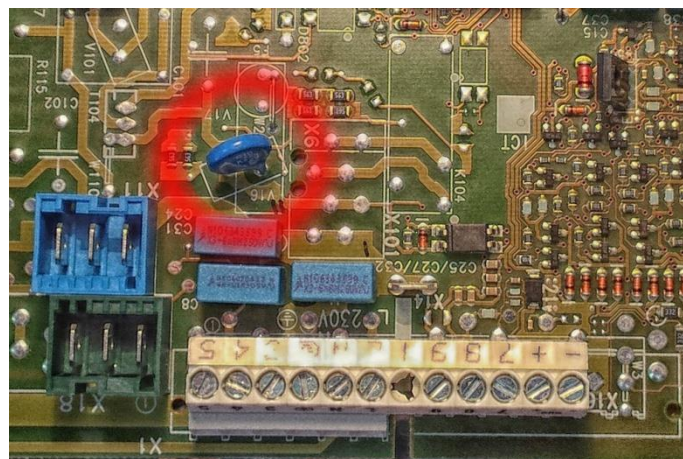
Gdje je:

- V – napon
- C – napon varistora pri 1 A
- I – trenutna radna struja
- β – kut odstupanja krivulje od horizontalnog položaja



Slika 8. Karakteristike varistora prilikom različitih β vrijednosti, izvor [5]

Dobre osobine varistora su kratko vrijeme odziva (reda ns), mali gabariti, niža cijena od plinskih odvodnika prenapona, te mogućnost povezivanja u seriju zbog točnijeg postizanja praga djelovanja. Loše karakteristike varistora su visoka vrijednost propuštanja struje i ovisnost napona prilikom vođenja o struji koja u tom trenutku prolazi kroz varistor. Upravljačka elektronika plinskih uređaja je opremljena varistorima, slika 9., ali oni nisu u mogućnosti zaštititi uređaj od svih prenaponskih pojava koje se događaju u niskonaponskoj mreži.



Slika 9. Smještaj varistora na upravljačkoj ploči kombi bojlera

Zbog ograničenja realne niskonaponske mreže u kojoj nema dovoljno odvodnika prenapona neophodno je na ulazima kućnih instalacija postaviti dodatnu zaštitu. Cijene varistora s dostavom iznose od 3 kn do 15 kn, a varistora namijenjenima montaži u razvodne ormare od 50 kn do 300 kn [6]. Cijena izmjene elektronske ploče plinskog trošila

kreće se u rasponu od 1200 kn do 1700 kn. Iz navedenih podataka razvidno je da ugradnja dodatnih zaštitnih elemenata, bliže izvorima smetnje, predstavlja razumnu investiciju prilikom instalacije trošila.

5. Zaključak

Grmljavinsko nevrijeme koje je pogodilo područje grada Osijeka 25. lipnja 2017. godine za posljedicu je imalo brojne intervencije otklanjanja kvarova na elektronici plinskih uređaja. Analizom sinoptičkih podataka o oborinama, a time indirektno i atmosferskih pražnjenja sa evidentiranim kvarovima na plinskim bojlerima evidentna je korelacija među podacima. Postoje samo dva niza vremenskih oznaka kada korelacije nije opažena. Iako na području Osijeka (mjernim postajama Osijek-Klisa i Osijek-Čepin) tada prema podacima nije bilo oborina, u okolici Osijeka, te drugim mjestima Slavonije i Baranje one su bile. Jedna mogućnost je da je na te datume bilo grmljavine, a time i atmosferskih pražnjenja, ali nije bilo oborina. Druga mogućnost je da su matične ploče ugrađene u mjestima pored Osijeka, u kojima je na te datume bilo atmosferskih pražnjenja. Promjena klimatskih obrazaca i sve učestalija intenzivna grmljavinska nevremena dovode do pitanja isplativosti ulaganja u dodatnu prenaponsku zaštitu.

6. Literatura

- [1] Meteo-info, dostupno na: <http://www.meteo-info.hr/povijesni-podaci/2017-06-25> pristupljeno 17.7.2017.
- [2] Institut NIRI d.o.o., Zaštita od prenapona, dostupno na: <http://www.niri.rs/prenapon.html>, pristupljeno 20.7.2017.
- [3] I. Uglešić, Tehnika visokog napona, Zagreb, 2002.
- [4] Ž. Markov, Klasična telefonska tehnika i teorija telefonskog saobraćaja, Beograd, 2010.
- [5] Vishay BCcomponents, Document Number: 29079, 2 Revision: 17-Sep-09
- [6] On-line ponuda varistora, dostupno na: https://www.ebay.com/sch/Varistors/73144/bn_7701738/i.html, pristupljeno 24.7.2017.

Energija iz mulja *Energy from sludge*

T. Grizelj^{1,*}, E. Kamenjašević²

¹Grizelj d.o.o., Nikole Šopa 46, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² ITG Wärmetechnik, Wien, Austria

*Autor za korespondenciju, E-mail: grizelj@grizelj.com

Sažetak

Mulj u bilo kojem obliku treba promatrati kao materiju koja nije otpad već repromaterijal, sirovina, energent i ako želimo zaštititi prirodu i okoliš mulj treba koristiti kao energent. Sa muljem treba postupati etički, humano, ekološki, energetske i ekonomski, a sve to uz zadovoljenje EU Direktiva, lokalnih zakona, odluka, pravilnika kao i zadovoljenje cilja "nula" otpada. Energijska vrijednost mulja može se iskoristiti u toku obrade, primjerice pri proizvodnji bioplina kod anaerobne stabilizacije ili iskorištavanjem energijskog potencijala pri termičkoj stabilizaciji. Dobivena toplinska energija konvertiranjem mulja u VIFIL __.M može se koristiti u energetske blok EB __. _ za proizvodnju tople vode, vrele vode i pare koja se može koristiti u generatoru električne energije i/ili apsorpcionom chiller-u za produkciju toplotne ili rashladne energije.

Ključne riječi: mulj, energent, nula otpada, energetske blok

Abstract

The sludge in any form should be considered as non-waste matter but raw material, energy source, and if we want to protect nature and the environment, the sludge should be used as an energy source. With sludge should be treated ethically, humane, ecologically, energetically and economically, all with the fulfillment of the EU Directive, local laws, decisions, rules as well as meeting the goal of "zero" waste. Sludge energy can be utilized during processing, for example in biogas production by anaerobic stabilization or by exploiting energy potential at thermal stabilization. The obtained thermal energy by converting the sludge into VIFIL __. M can be used in the energy block EB __. _ for the production of warm water, hot water and steam that can be used in the generator of electricity and/or absorption chiller for the production of heat or cooling energy.

Keywords: sludge, energy source, zero waste, Energy block

1. Uvod

Mulj od pročišćavanja svih procijednih otpadnih voda treba promatrati kao obnovljivi izvor energije i kroz energetske učinkovitost potrebno je tretirati (iskoristiti), a ne odlagati – deponirati, što nalažu i EU Direktive 86/106/EEC, 86/278/EEC, 91/271/EEC, 98/15/EEC i Uredba EZ 305/11 [1], i lokalni zakoni, odluke i pravilnici čime se treba direktno štiti zrak, vode, tlo, hrana, biosfera uz maksimalno iskorištenje postrojenja, energetske učinkovitost, ekonomsku profitabilnost a čime se stvaraju uvjeti za održivi razvoj, a EU Direktive 2009/28/EC i 2012/27/EC [1] zahtijevaju još veću efikasnost i iskorištavanje energije.

Energijska vrijednost mulja može se iskoristiti u toku obrade, naprimjer pri proizvodnji bioplina kod anaerobne stabilizacije ili iskorištavanjem energijskog potencijala pri termičkoj stabilizaciji. Mulj sadrži i određenu količinu hranjivih tvari koje se mogu iskoristiti (dušik, fosfor, kalij) [2].

Tretman procjednog mulja sa UPOV-a je inherentan proces sa uređajem za termički tretman vodenog mulja kojim se završava proces obrade kanalizacionih voda. Kako bi se postigla veća energetska učinkovitost na uređaju za tretman procjednog mulja preporuka je da se toplinska energija koristi u tehnološkom procesu UPOV-a na fermentorima, dehidratorima ili u termičkom hidroliza procesu, kako bi tehnološki proces bio koherentan i postiglo se maksimalno učinkovito iskorištavanje obnovljive energije na mjestu nastanka. Energetska vrijednost procjednog/otpadnog mulja sa pročištača otpadnih voda kreće se 14 - 29 MJ/kg ovisno o vrsti (sirovi, aktivni) i agregatnom stanju (suhi, mokri).

2. Šta raditi sa muljem?

Ovisno o koncentraciji suhe tvari u vodenom procjednom mulju vrši se usmjerenje na daljnje postupanje sa muljem.

Ako vodeni mulj ima malu koncentraciju suhe tvari (ST) preporuka je da se instalira spremnik sa homogenizatorom ili sa dekanterom kako bi se optimizirao proces termičkog tretmana.

Mulj sa manjom koncentracijom suhe tvari može se dehidrirati na 50% suhe tvari radi povećanja energetske vrijednosti mulja. Mulj sa manjom koncentracijom suhe tvari se može distribuirati u VIFIL__M u gornju zonu vrtložnog incineratora sa 25% suhe tvari, a kad je koncentracija suhe tvari 75% preporuka je da se distribuira direktno u VIFIL__M u zonu fluidiziranog sloja čime se postiže veća energetska učinkovitost u procesu konvertiranja mulja u energiju.

3. Konvertiranje mulja u energiju

Konverter mulja u energiju obavlja se u VIFIL__M. Njega čine primarna komora sa vrtložnim incineratorom i fluidiziranim slojem u integralnom ložištu, sekundarna komora za ko – incineraciju sa zadržavanjem (retencijom) dimnih plinova više od 2 sekunde i utilizator za rekuperaciju dimnih plinova sa svježim zrakom koji se koristi u incineraciji, ko – incineraciji i fluidiziranom sloju čime se povećava energetska učinkovitost i pospješuje korištenje obnovljivih izvora energije u turbo sistemu.

Nadziranje i upravljanje stehiometrijom izgaranja vrši se mjerenjem emisije dimnih plinova. Stehiometrija izgaranja nadzire se u emisiji dimnih plinova preko termo senzora, O₂ i lambda sonde, a na većim kapacitetima preko termovizijskih kamera i termografičkih monitora.

Korektno mjerenje emisija dimnih plinova obavlja se u kontinuitetu, u laminarnom strujanju dimnih plinova na dionici $2 + 3 \times D$ (unutarnji promjer) dimovoda. Ventilacioni odvod izrađuje se iz INOX-a W. Nr. 14301, dvoplašnoj izvedbi 25 – 50 mm termo izolacije sa mjernim mjestom $2 + 3$ dijametra laminarnog dijela iznad uboda priključa.

3.1. Tehnički opis VIFIL__M - konverter mulja u energiju (Converter Sludge Power CSP) VIFIL__M (eng. swirling incineration and integrated fluidised bed furnace combustion), može primati direktno mulj vlažnosti do 75% bez predtretmana čime se značajno pojeftinjuje proces tretmana kanalizacionog mulja, mulja iz septičkih (crnih) jama, mulja iz separatora sa benzinskih pumpi i flotata iz mesne, mliječne i prehrambene industrije, mulja iz proizvodnje i prerade vode, mulja iz uličnih slivnika, procijednog mulja sa deponija

komunalnog otpada, flotata u jednom ložištu u različitim vremenskim terminima i tehnologijama.

Uz Know how pristup tretmanu mulja prisutne su izuzetno niske emisije polutanata i stepen iskorištenja je preko 95%, dok se inertni pepeo (ISSA) može koristiti kao građevinska frakcija.

Energetski procesno postrojenje za termički tretman procijednog mulja je inherentan proces sa tretmanom otpadnih voda i treba uvijek biti sastavni dio PPOV-a i da se neposredno instalira uz PPOV sa direktnom konekcijom da bi se inaktivirao mulj i izbjegli nepoželjni uticaji po mulj, prirodu i okoliš a toplotna energija koristila iz VIFIL__M u tehnološkom procesu PPOV-a, kako bi proces bio koherentan.

Novi procesni, napredni eko tehnologije (Advanced Eco Technology) AET[®], kroz program ENERGETIS^{ITG}, kompanije GRIZELJ Sarajevo, koja je:

- Izvorni Proizvođač Opreme (Original Equipment Manufacturer) OEM;
- Originalni Dizajn Proizvođač (Original Design Manufacturer) ODM;
- Izvorni Brand Proizvođač (Original Brand Manufacturer) OBM,

nudi eko postrojenja za termički tretman procijednog mulja, vlage do 75 %, kapaciteta od 50 kg/h do 2500 kg/h, u 8 veličina sa omjerom regulacije 1 : 5 (100 kg/h – 500 kg/h).

U postrojenju VIFIL__M postoji mogućnost korištenja:

- MOF mehanički obrađene frakcije;
- BOF biološki obrađena frakcija;
- HOF hemijski obrađene frakcije;
- TOF termički obrađene frakcije.

Iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda PPOV/UPOV/SPOV, uz primjenu:

- najbolje raspoložive tehnologije BAT i
- najbolje raspoložive prakse BAP,

u smislu korištenja mulja kao energenta za proizvodnju energije i inertni pepeo kao građevinska frakcija.

Opcije maksimalnog iskorištenja postrojenja čine sveobuhvatnim, bez stvaranja novih otpadnih materija "0" otpada, Zero Waste.

Prijem otpadnog mulja u prihvatnom košu ili silosu sa digestorom, u procesno - tehnološkom termičkim tretmanu PET-TOM.. instalacije gdje odmah počinje proces korektnog zbrinjavanja i iskorištavanja mulja kao energenta.

Vreli zrak temperature 500 °C nastaje – producira se u utilizatoru gdje se vrši razmjena energije oduzimanjem toplinske energije dimnih plinova procesom rekuperacije zagrijavanjem zraka za izgaranje i turbo sistemom vraća se u ložište čime se reducira utrošak energenta, s manje je više (sa manje energenta dobije se više energije) autoriziranim virtualnim eko tehnologijama AVE-Tech iz programa ENERGETIS^{ITG}.

Upravljanje procesom rada postrojenja VIFIL__M može biti lokalno ili preko centralnog integralnog interaktivnog programa, *multivarijabilnog PLC sistema* (interface touch screen) uređaja za upravljanje i vizualizaciju procesom prema zadanom receptu – master, kontrola i monitoring procesa i PC za back up, trajni elektronski zapis rada postrojenja i on line konekciju prema centralnom SKADA sistemu.

Produkcija toplinske energije iz VIFIL__M postrojenja koristi se u energetskom bloku termovalorizacijom u toplinsku, rashladnu, električnu energiju.

Inertni pepeo iz VIFIL__M-a dobiven incineracijom mulja (engl. Incinerated sewage sludge ash) ISSA je građevinski resurs uz mogućnost iskorištavanje nastalog pepela kao građevinska frakcija – agregat.

4. Zaključak

Ekološki, energetska i ekonomska aspekti su zadovoljeni kroz energetska učinkovitost i iskorištavanje mulja kao energije iz obnovljivih izvora kroz održivi razvoj - benefite cirkularne ekonomije, koncepta „Zero Waste“.

Ako se mulj koristi kao energent koji se plasira na tržište ili za potrebe UPOV/PPOV/SPOV stvara se nova vrijednost – profit.

5. Literatura

[1] <http://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

D. Vouk; D. Malus; S. Tadeschi (2010), Muljevi sa komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda.

Zakonska i tehnička regulativa u korištenju obnovljivih izvora energije

Legal and technical regulations in the use of renewable energy sources

E. Kamenjašević^{1,*}, T. Grizelj²

¹Grizelj d.o.o., Nikole Šopa 46, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² ITG Wärmetechnik, Wien, Austria

*Autor za korespondenciju, E-mail: edvina.kamenjasevic@gmail.com

Sažetak

U ovom radu će biti predstavljena zakonska i tehnička regulativa u korištenju obnovljivih izvora energije. Krajem 2008. godine Evropska unija (EU) usvojila je tzv. energetske – klimatski paket odnosno više zakona koji bi do 2020. godine trebali rezultirati sa 20% manjim emisijama stakleničkih gasova u usporedbi sa 1990. godinom, 20 % udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije i 20% manjom potrošnjom energije (u odnosu na onu koja se do 2020. očekuje u slučaju neprovođenja posebnih mjera). Popularan je i opće poznat naziv tog cilja „20-20-20“. Otpad je prepoznat kao jedan resurs, repromaterijal, reciklant, energent, koji je moguće efikasno iskoristiti a da bude ekološki, zdravstveno, veterinarski, sanitarno, energetski i ekonomski vrlo prihvatljivo. Korištenje obnovljivih izvora energije je prepoznato kao važan faktor za postizanje sigurne opskrbe energijom. To je prezentovano kroz Direktivu 2009/29/EC, Direktivu 2012/27/EU, Direktivu 2010/31/EC, Uredbu o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Ugovor o energetskom učinku ugovorni je sporazum između korisnika i pružatelja energetskih usluga, pri čemu se investicija u radove, opremu i usluge za provedbu mjera za poboljšanje energetske učinkovitosti otplaćuje prema ugovorenom stupnju poboljšanja energetske učinkovitosti. Ključna je značajka koja karakterizira sve ugovore o energetskom učinku da određeni dio prihoda, ili čak cjelokupni ESCO prihod od projekta, ovisi o uspješnosti izvedenog projekta energetske učinkovitosti. ESCO model obuhvaća razvoj, izvedu i finansiranje projekata sa učinkovitošću i smanjenja troškova za pogon i održavanje. ESCO model pripada i u zakonsku i u tehničku regulativu. Cilj svakog projekta je smanjenje troškova za pogon i održavanje ugradnjom nove opreme i optimiziranjem energetskih sistema, čime se osigurava otplata investicije kroz ostvarenje uštede u razdoblju od nekoliko godina ovisno o klijentu i projektu.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, otpad, energetska učinkovitost, ESCO

Abstract

This paper will present legal and technical regulations on the use of renewable energy sources. In late 2008, the European Union (EU) adopted so-called energy-climate package or couple of laws that would require 20% less greenhouse gas emissions by 2020 compared to 1990, 20% of the share of renewable energy sources in total energy consumption and 20% less energy consumption (compared to one expected in the case of non-implementation of special measures by 2020). The popular name of this target is "20-

20-20". Waste is recognized as one resource, reproductive material, recyclable, energy source, which can be used efficiently, and it is very acceptable for ecological, health, veterinary, sanitary, energy and economic purposes. The use of renewable energy sources has been recognized as an important factor in achieving a secure supply of energy. This is presented through Directive 2009/29/EC, Directive 2012/27/EU, Directive 2010/31/EC, Regulation on the use of renewable energy sources and cogeneration. A contract on energy performance is contract between the user and the provider of energy services, whereby investment in works, equipment and services for the implementation of energy efficiency improvement measures is repaid according to the contracted level of energy efficiency improvement. A key feature that characterizes all energy performance contracts is that a certain portion of the revenue, or even the overall ESCO revenue from the project depends on the performance of an energy efficiency project. The ESCO model encompasses the development, implementation and financing of projects with efficiency and cost reduction for operation and maintenance. The ESCO model also belongs to the legal and technical regulations. The goal of each project is to reduce the costs of operating and maintaining the installation of new equipment and optimizing energy systems, which ensures the repayment of the investment through savings in a period of several years, depending on the client and the project.

Keywords: renewable energy sources, waste, energy efficiency, ESCO

1. Uvod

U posljednjih nekoliko godina pojavilo se više utjecaja čije je kombinovanje dovelo do povećanog zanimanja za distribuiranu proizvodnju iz obnovljivih izvora energije (smanjenje emisije CO₂, programi energetske učinkovitosti ili racionalnog korištenja energije, deregulacija i natjecanje, diversifikacija energetskih izvora, zahtjevi za samoodrživi nacionalnih energetskih sustava...). Krajem 2008. godine Evropska unija (EU) usvojila je tzv. energetsko – klimatski paket odnosno više zakona koji bi do 2020. godine trebali rezultirati sa 20% manjim emisijama stakleničkih gasova u usporedbi sa 1990. godinom, 20% udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije i 20% manjom potrošnjom energije (u odnosu na onu koja se do 2020. očekuje u slučaju neprovođenja posebnih mjera). Popularan je i opće poznat naziv tog cilja „20-20-20“. Međutim zakoni kao takvi postoje ali ono što i dalje ostaje kao pitanje je:

- kako ih implementirati,
- kako motivirati zajednicu,
- kako finansirati,
- koliko to sve košta i
- koji su benefiti.

U ovom radu će biti predstavljena zakonska i tehnička regulativa u korištenju obnovljivih izvora energije. Šta zakon nalaže i kakve su energijske, ekološke i ekonomske prednosti ukoliko se budu upražnjavali svi zakoni koje Evropska unija nalaže.

Ključna stvar je da postoji razlika između zakonske i tehničke regulative. Zakon nalaže šta treba uraditi a tehnika kako.

2. Otpad – obnovljivi izvor energije

Najčešće otpad biva promatran kao problem, bez obzira na način, mjesto, vrstu i količinu nastanka. Ispravno korištenje obnovljivih izvora energije koji postoje se mogu koristiti iz otpadne materije i uređaja koji u emisiji imaju neiskorištenu otpadnu energiju. Otpad je prepoznat kao jedan resurs, repromaterijal, reciklant, energent, koji je moguće efikasno

iskoristiti a da bude ekološki, zdravstveno, veterinarski, sanitarno, energetska i ekonomski vrlo prihvatljivo. *Preventivno sačuvano zdravlje i priroda ne može imati novčani ekvivalent.*

3. Zakonska legislativa

Korištenje obnovljivih izvora energije je prepoznato kao važan faktor za postizanje sigurne opskrbe energijom. Glavni legislativni dokumenti koji reguliraju razvitak energetskeg sektora na razini Europske unije su [2]:

- Bijela knjiga o energetskej politici (White Paper on an Energy Policy for the European Union), siječanj 1996;
- Bijela knjiga o obnovljivim izvorima energije (Energy for the Future: Renewable Sources of Energy, White Paper for Community Strategy and Action), studeni 1997;
- Zelena knjiga prema europskej strategiji za sigurnost energetske opskrbe (Green Paper Towards a European Strategy for the Security of Energy Supply), studeni 2000;
- Zelena knjiga o energetskej učinkovitosti ili kako učiniti više o manje (Green Paper on Energy Efficiency or Doing More with less), lipanj 2005;
- Zelena knjiga o europskej strategiji za održivu, konkurentu i sigurnu opskrbu energijom (Green Paper on an European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy Supply), ožujak 2006;
- Akcijski plan o energetskej učinkovitosti: ostvariti potencijal – uštedjeti 20% do 2020. godine (Action plan for Energy Efficiency. Realising the potential – Saving 20% by 2020), listopad 2006;
- Prijedlog europske energetske politike (The proposal for European Energy Policy), siječanj 2007.

Direktiva o promicanju korištenja obnovljivih izvora energije (2009/28/EC) koja dopunjuje i naknadno ukida Direktive 2001/77/EC i 2003/30/EC usvojena je 23. travnja 2009. godine.

3.1. Direktiva 2009/28/EC

Ovom Direktivom utvrđuje se zajednički okvir za promicanje energije iz obnovljivih izvora. Direktiva postavlja obavezne nacionalne ciljeve za ukupan udio energije iz obnovljivih izvora u konačnoj bruto potrošnji energije i za udio energije iz obnovljivih izvora u prometu. Direktivom se propisuju pravila koja se odnose na statističke prijenose među državama članicama, zajedničke projekte među državama članicama i zajedničke projekte između država članica i trećih zemalja, jamstva o porijeklu, upravne postupke, informacije i osposobljavanje te pristup elektroenergetskej mreži za energiju iz obnovljivih izvora. Nadalje, njome se utvrđuju kriteriji održivosti za pogonska biogoriva i druga tekuća biogoriva.

3.2. Direktiva 2012/27/EU – Direktiva o energetskej učinkovitosti

Direktiva o energetskej učinkovitosti 2012/27/EU je direktiva Europske unije koja mandatizira poboljšanje energetske učinkovitosti unutar Europske unije. Ona je odobrena 25. oktobra 2012. godine, a stupila je na snagu 4. decembra 2012. godine. Direktiva uvodi pravno obavezujuće mjere za efikasnije korištenje energije u svim fazama i sektorima opskrbenog lanca. Uspostavlja zajednički okvir za promicanje energetske učinkovitosti unutar Europske unije kako bi se postigao cilj od 20-20-20 do 2020. godine. Također, otvara se put za daljnja poboljšanja nakon toga. Direktiva predviđa uspostavu individualnih nacionalnih ciljeva energetske učinkovitosti do 2020. godine. Države članice su dužne su jednom godišnje izvještavati o napretku prema svojim nacionalnim ciljevima. Zahtjevi politike o direktivi su minimalne obaveze, a zemlje članice mogu uvesti strože uvjete.

3.3. Direktiva 2010/31/EC Europskog parlamenta i vijeća od 19. svibnja 2010. o energetskim svojstvima zgrada

Ova Direktiva promiče poboljšanje energetskih svojstava zgrada na području Europske unije, vodeći računa o vanjskim klimatskim i lokalnim uvjetima, te o klimatskim zahtjevima u prostorijama i troškovnoj učinkovitosti.

Ovom Direktivom utvrđuju se zahtjevi u pogledu:

- a) zajedničkog općeg okvira za metodologiju za izračun objedinjenih energetskih svojstava zgrada i samostalnih uporabnih cjelina zgrada;
- b) primjene minimalnih zahtjeva za energetska svojstva novih zgrada i samostalnih uporabnih cijena novih zgrada;
- c) primjene minimalnih zahtjeva za energetska svojstva:
 - i. postojećih zgrada, samostalnih uporabnih cjelina zgrada i građevinskih dijelova zgrada koji podliježu većoj rekonstrukciji;
 - ii. građevinskih dijelova zgrada koji čine dio ovojnice zgrade i koji imaju značajan utjecaj na energetska svojstva ovojnice zgrade kad se obnavljaju ili zamjenjuju;
 - iii. tehničkih sustava zgrada kad god se ugrađuju, zamjenjuju ili moderniziraju;
- d) nacionalnih planova za povećanje broja zgrada s gotovo nultom potrošnjom energije;
- e) certificiranje energetskih svojstava zgrada ili samostalnih uporabnih cjelina zgrada;
- f) redovnih pregleda sustava za grijanje i klimatizaciju u zgradama i
- g) nezavisnih sustava za kontrolu energetskih certifikata i izvješća o pregledima

Zahtjevi utvrđeni ovom Direktivom su minimalni zahtjevi koji ne sprečavaju niti jednu državu članicu da primjenjuje ili donosi strože mjere. Takve mjere moraju biti u skladu sa Ugovorom o funkcioniranju Europske unije. O takvim mjerama treba obavijestiti Komisiju.

3.4. Uredba o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije

Kada je u pitanju Bosna i Hercegovina, konkretno Federacija donesena je Uredba o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije [7]. Ovom Uredbom propisuju se: način korištenja obnovljivih izvora energije i kogeneracijski postrojenja (postrojenja za istovremenu proizvodnju električne energije i toplote), grupe postrojenja, minimalni udjel električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije i kogeneraciju (u daljnjem tekstu OIEiK) u ukupnoj potrošnji, poticanje proizvodnje električne energije iz OIEiK, ispitivanje potencijala OIE, registar projekta i postrojenje za korištenje OIEiK, izgradnja postrojenja OIEiK, otkup i naknade, priključak postrojenja OIEiK na elektroenergetsku mrežu, certificiranje podrijetla električne energije proizvedene u OIEiK, uspostavljanje institucionalne strukture za operacionalizaciju sustava poticaja proizvodnje iz OIEiK, kao i druga pitanja od značaja za korištenje OIEiK.

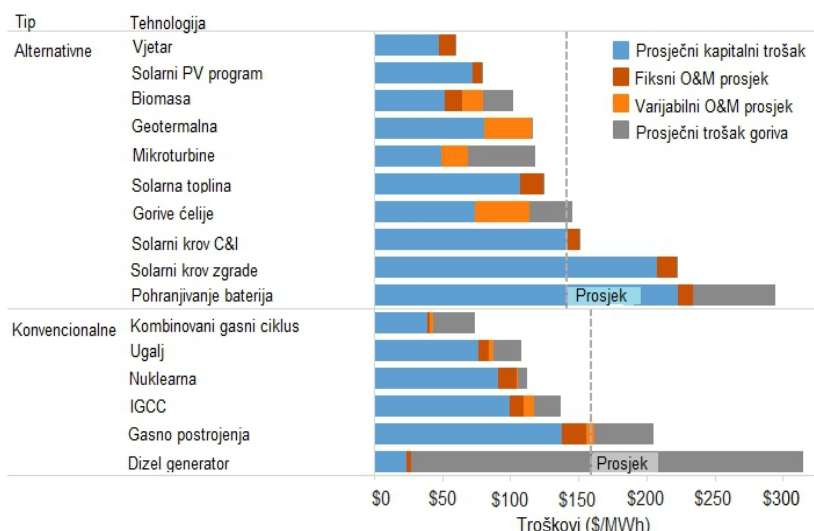
Korištenje OIEiK je od općeg interesa za FBiH. Cilj ove Uredbe je poticaj veće proizvodnje i potrošnje električne energije iz OIEiK na unutarnjem tržištu električne energije i razvoj regulatorne i tehničke infrastrukture za OIEiK, a naročito u pogledu [4]:

- uklanjanja prepreka za porast korištenja obnovljivih izvora energije, uključujući i administrativne;
- smanjenje utjecaja upotrebe fosilnih goriva na okoliš;
- približavanje ciljevima iz Kjota;
- poticanje, uvođenje, primjene i razvoja nove opreme i tehnologija, te domaće ekonomije u cijelosti;
- otvaranje novih radnih mjesta i razvoja poduzetništva u energetici;
- dugoročnog osiguranja energije;
- učinkovitog korištenja energije, uključujući energetska efikasnost i uštedu;

– kvalitetnog zbrinjavanja otpada.

4. Cijena energije prilikom korištenja fosilnih goriva i OIE - komparacija

Direktive daju obaveze da se odluči za ekonomski, energetski i ekološki ispravan energent. Treba se odlučiti za najbolje iz tog razloga je najbolje napraviti komparaciju energenata, fosilnih i alternativnih. Na dijagramu su prikazani podaci o onome što se naziva razrađena cijena energije. U osnovi ova analiza nudi usporedbu troškova financiranja, izgradnje, rada i odražavanja. Vrijednosti su izražene u dolarima po MWh. Ukoliko se želi ostvariti cilj „20-20-20“ bitnu ulogu u svemu tome igra i cijena, odnosno da se vidi koliko se može uštedjeti na cijeni ako se pređe sa fosilnih na alternativna goriva. Jedna od najčešće korištenih izravnih troškovnih studija provodi Lazard, međunarodna tvrtka za financijsko savjetovanje i upravljanje imovinom. Njihova najnovija verzija studije, verzija 8, objavljena je krajem 2014. godine. Dijagram prikazan na slici 1 u nastavku sadrži komponente troškova od 16 različitih energetskih tehnologija koje je procijenio Lazard: njih 10 su alternativne (što uključuje uglavnom niskougljične i obnovljive tehnologije) i 6 je konvencionalni (koji uključuju izvore fosilnih goriva i nuklearni).



Slika 1. Komponente razine troškova energije [6]

Vjetar na kopnu ima najniži prosječni trošak u ovoj analizi na 59 \$/MWh, a fotonaponska postrojenja korisne ljestvice nisu daleko iza 79 \$. Usporedbe radi, najniže troškove konvencionalnih tehnologija bile su tehnologije kombiniranog ciklusa plina, prosječno 74 \$/MWh i postrojenja koje koristi ugalj, u prosjeku 109 \$.

Gledajući kroz 16 tipova tehnologija, 10 alternativnih tehnologija koštalo je prosječno 147 \$/MWh, 18 \$ manje od konvencionalnih pristupa.

Podijelivši troškove između kapitala, goriva i operacija i održavanja (O&M – Operation and maintenance), možete vidjeti neke dramatične razlike među tehnologijama. Mnoge obnovljive tehnologije, kao što su vjetar, sunčeva energija i geotermalna, možda neće biti jeftine za izgradnju, ali nemaju troškova goriva.

5. Ugovor o energetsom učinku (Energy Performance Contracting – EPC)

Da bi se primjenio Ugovor o eneretskom učinku moraju se primjeniti: EU Direktive, Europske norme, lokalni zakoni, odluke, pravilnici sve to uz zadovoljenje cirkularne

ekonomije i „Nula otpada“. Kada se govori o zakonskoj i tehničkoj regulativi Ugovor o eneretskom učinku se može svrstati u obje regulative.

Ugovor o eneretskom učinku ugovorni je sporazum između korisnika i pružatelja eneretskih usluga, pri čemu se investicija u radove, opremu i usluge za provedbu mjera za poboljšanje eneretske učinkovitosti otplaćuje prema ugovorenom stupnju poboljšanja eneretske učinkovitosti. Ključna je značajka koja karakterizira sve ugovore o eneretskom učinku da određeni dio prihoda, ili čak cjelokupni ESCO¹ prihod od projekta, ovisi o uspješnosti izvedenog projekta eneretske učinkovitosti.

Koncept Ugovora o eneretskom učinku [5]:

- Grad/Općina naručuje i plaća uslugu;
- ESCO kompanija vodi računa o operativnom izvršavanju usluga;
- ESCO kompanija vodi računa o ostvarivanju eneretskih i troškovnih ušteda;
- Predstavlja preuzimanje dugoročnih obaveza te obavezuje ishodaenje suglasnosti Ministarstva financija;
- Eneretske uštede moraju biti dovoljne za otplatu mjesečnih troškova projekta u razdoblju kraćem od životnog vijeka instalirane opreme;
- ESCO kompanija sukcesivno priznaje svoje prihode od pružanja eneretske usluge te zaračunava PDV na vrijednost eneretskih usluga;
- JLS iskazuje samo tekuće troškove primljenih eneretskih usluga u razdoblju trajanja ugovora;
- Revalorizacija imovine po isteku ili raskidu ugovora nije definirana.

5.1. ESCO model

U ranim devedesetim godinama prošlog vijeka razvijena je osnovna ideja ESCO koncepta. Formulirana je u publikaciji Odsjeka za gradske poslove, Direkciji OECD-a za životnu sredinu, a predstavljena je 1995. godine u knjizi Urban Energy Handbook, Good Local Practice. Kompanije koje su se specijalizirale za rad sa klijentima radi savladavanja tih barijera koje se suprotstavljaju razvoju i provedbi eneretskih efikasnih programa. Te kompanije, koje se bave uslugama na području energije (Energy Service Company – ESCO), krenule su sa namjerom da postanu jedan od najvažnijih koraka u poboljšavanju potencijala štednje energije za poduzeća i institucije.

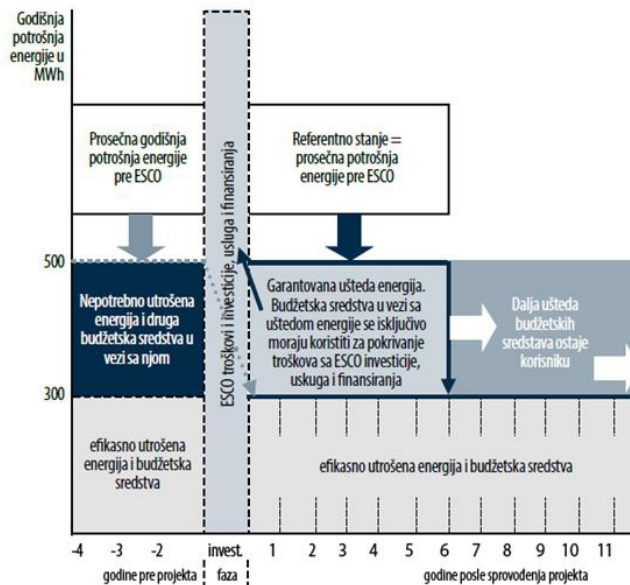
Tvrtka za pružanje eneretskih usluga (eng. Energy service company) je poduzeće koje pruža širok pojas sveobuhvatnih eneretskih rješenja uključujući izradu i implementaciju projekata uštede energije, pohrane energije, proizvodnje i dobave energije te upravljanje rizicima.

ESCO model kao takav spada i u zakonsku ali i u tehničku regulativu. On nudi kako će se doći do rješenja a služi kao alat za provedbu ciljeva koje postavlja.

Cilj svakog projekta je smanjenje troškova za pogon i održavanje ugradnjom nove opreme i optimiziranjem eneretskih sistema, čime se osigurava otplata investicije kroz ostvarenje uštede u razdoblju od nekoliko godina ovisno o klijentu i projektu. Zbog toga su poduzeća za pružanje eneretskih usluga (ESCO) prepoznala lokalne samouprave kao potencijalne klijente: ona vrše reviziju upotrebe energije u javnim zgradama da bi se utvrdio optimalni paket mjera za postizanje eneretske učinkovitosti, zatim preuzimaju i sprovode te mjere i obično financiraju kompletan projekat, dok općine ne snose nikakve avansne troškove. Poduzeća zauzvat dobivaju dio uštede koja se postigne provođenjem projekta. Postavlja se pitanje kako ESCO koncept funkcionira u tehničkom smislu. Na slici 2 je prikazana shema koja se najčešće koristi za vizualizaciju ESCO koncepta. Ovakav vizualni pregled

¹ Eng. Energy service company

se dobije kada se navodi iz priručnika OECD o energetici u gradovima iz 1995. godine „prevedu u jednostavnu grafičku strukturu“.



Slika 2. Duracioni model [1]

6. ESCO koncept kroz EU Direktive

Ciljevi za poticanje energetske učinkovitosti u krajnjoj potrošnji i razvoj tržišta energetske usluga, koji su formulirani u Direktivi 2006/32/EC [3], pozivaju na novi obrazac ponašanja za distributere energije, operatere distributivnih sistema i poduzeća za maloprodaju energije. U direktivi se predlaže da njihova strategija za maksimalno uvećanje dobiti u budućnosti treba da bude „bliže povezana sa prodajom energetske usluga što većem broju potrošača, umjesto prodaje što više energije svakom pojedinačnom potrošaču. Pored toga, u članu 5. Direktive 2006/32/EC poziva se javni sektor da postane uzor u ovoj oblasti i da na djelotvoran način obavještava građane i/ili poduzeća o svom djelovanju, dok se u članu 9. zahtjeva da „države članice stave van snage ili izmjene i dopune nacionalno zakonodavstvo i propise... koji sprečavaju ili ograničavaju upotrebu finansijskih instrumenata za uštedu energije na tržištu energetske usluga ili druge mjere za poboljšanje energetske učinkovitosti.“ U najnovijoj Direktivi 2012/27/EU naglašava se da Unija zaostaje u ostvarenju svog cilja u oblasti energetske učinkovitosti. Stavljajući ovu temu u središte energetske strategije Evropske unije do 2020. godine, direktiva jasno definira ciljeve uštede energije u zgradama javnog sektora. Direktiva poziva države članice da potiču općine da usvoje integrirane i održive planove za postizanje energetske učinkovitosti i međusobno razmjenjuju iskustva.

7. Zaključak

Dugi niz godina je korištenje obnovljivih izvora energije prepoznato kao važan faktor za postizanje sigurne opskrbe energije. Otpad kao jedan od obnovljivih izvora energije je prepoznat kao resurs, repromaterijal, reciklant, energent i ekonomski je vrlo prihvatljiv. Zaključak je da preventivno sačuvano zdravlje i priroda ne mogu imati novčani ekvivalent, na osnovu toga otpad treba nastaviti iskorištavati na adekvatan način i poticati njegovo iskorištavanje kako je to naglašeno i kroz zakonsku legislativu.

Korištenje obnovljivih izvora energije i poticanje energijske efikasnosti se potencira kroz Direktivu 2009/28/EC, Direktivu 2012/27/EU, Direktivu 2010/31/EC kao i Uredbu o korištenju obnovljivih izvora energije, a sve u svrhu ostvarivanja cilja „20 – 20 – 20“. Generalno Direktive propisuju usvajanje nacionalnih akcijskih planova o obnovljivim izvorima energije, definiraju kriterije koje je potrebno zadovoljiti vezano uz održivost korištenja odnosno zaštitu okoliša te kriterije o garanciji porijekla proizvedene energije. Zavisno od zemlje članice i legislativni zakon i paket mjera može biti drugačiji, jer svaka zemlja donosi vlastitu strategiju unutar koje se predlaže njen doprinos ukupnom cilju.

8. Literatura

- [1] Branke Z., Kapor Z., (2013), Ugovaranje energetskog učinka – ESCO MODEL, Časopis za javnu politiku, tema broja: ENERGETSKA EFIKASNOST
- [2] Đukić et al. (2012), Informativna brošura za promicanje obnovljivih izvora energije namijenjena građanima, malom i srednjem poduzetništvu i obrtništvu, Zagreb.
- [3] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32006L0032>
- [4] <http://www.fbihvlada.gov.ba/bosanski/zakoni/2010/uredbe/13hrv.html>
- [5] <http://www.regea.org/epc/o-projektu/%C5%A1to-je-esco.html>
- [6] <http://www.theenergycollective.com>
- [7] Službene novine Federacije BiH, br. 1/94, 8/95, 58/02, 19/03, 2/06 i 8/06

Krematorij – Energijska efikasnost i obnovljivi izvor energije u zaštiti prirode i okoliša

Crematorium – Energy Efficiency and renewable energy sources in the protection of nature and environment

E. Kamenjašević^{1,*}, T. Grizelj²

¹Grizelj d.o.o., Nikole Šopa 46, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² ITG Wärmetechnik, Wien, Austria

*Autor za korespondenciju, E-mail: edvina.kamenjasevic@gmail.com

Sažetak

Nova postrojenja za kremiranje primjenjuju nove tehnologije i materijale i na osnovu njih se poboljšava i skraćuje sam proces kremiranja, smanjuju se emisije štetnih polutanata i povećava se energijska učinkovitost samog postrojenja za kremiranje. Korištenjem naprednih eko tehnologija Advanced €KO Technology® A€T® osigurava se zadovoljenje humanih, ekoloških, energetskih, financijskih i ekonomskih aspekata, održivi razvoj, a najveći benefit je zaštita prirode i okoliša.

Ključne riječi: kremiranje, energijska efikasnost, održivi razvoj

Abstract

New cremation plants apply new technologies and materials and on the basis of these they improve and shorten process of cremation, pollutant emissions are reduced and energy efficiency of the cremation plant itself increases. By using Advanced €KO Technology® A€T® ensures the satisfaction of human, ecological, energy, financial and economic aspects, sustainable development, and the greatest benefit is the protection of nature and the environment.

Keywords: cremation, energy efficiency, sustainable development

1. Uvod

U krematoriju se humanim postupkom incineracije adekvatno zbrinjavaju umrla ljudska bića, mrtvorodjenčad, fetusi, organi ljudskog tijela i zarazna/inficirana kao i radioaktivna ljudska bića.

Postojeći uređaji za emisiju imaju visoke temperature koje se razblažuju svježim zrakom kako bi se zadovoljila dozvoljena temperatura emisije manja od 300 °C, čime se lažira emisija i troši električna energija kao energent. Tim procesom prvo se u eter unosi znatna količina neiskorištene energije i dodatno se troši električna energija na ventilatoru kojim se vrši smanjivanje temperature dimnih plinova.

1.1. Gdje smo mi?

Nova postrojenja za kremiranje koriste se kao konverter anatomske – patološke materije u energiju koja se može energetski koristiti za grijanje i hlađenje i pepeo.

Zemni plin ili UNP koji se koriste na uređajima za kremiranje imaju veliku prednost u stehiometriji sagorjevanja čime se ostvaruju konkretne emisije polutanata. Korištenjem vrelog zraka iz procesa utilizacije se značajno utiče na povećanje energijske učinkovitosti. S obzirom da su novi uređaji za kremiranje bez šamotne opeke imamo brz Star up što za posljedicu ima manji utrošak energije, a sve s ciljem zaštite prirode i okoliša, jer se na taj način smanjuje vrijeme trajanja samog procesa kremiranja i smanjuju se emisije štetnih polutanata.

Toplinska energija koja se oslobađa u procesu kremiranja koristi se kaskadno dva puta. Prvi put u utilizatoru procesom rekuperacije se oduzima toplinska energija i zagrijava zrak koji se koristi u procesu kremiranja kako bi se uštedilo preko 30 % energenta, a drugi put u apsorpcionom chilleru za proizvodnju toplinske energije za grijanje objekata zimi i rashladne energije koja se koristi tokom cijele godine u hlađenim komorama za čuvanje umrlih dok čekaju proces kremiranja i objekat u ljetnim danima.

2. Napredne eko – tehnologije – Advanced €co Technology®

Know How u termoenergetici kroz znanstveno – istraživački razvoj, znanje, iskustvo, tradiciju i inventivnost su rezultat novih Naprednih Eko Tehnologija – Advanced €co Technology® (A€T®), sustav iskorištavanja toplinske energije ENERGETIS^{ITG}.

Eko

Napredne

Energije

Reformer

Generira

Efikasnim

Turbo

Integralnim

Sistemom.

Korištenjem novih materijala i novih tehnologija u proizvodnji opreme te novih uvjeta u eksploataciji dobija se vijek korištenja i do sto hiljada efektivnih sati rada bez remonta. Korištenjem novih materijala u toku proizvodnje skraćen je i vremenski ciklus, što direktno rezultira manjim utroškom energenta i smanjenom emisijom stakleničkih plinova.

Kao materijal se najčešće koristi INOX Sicromal 12 kao osnovni materijal koji je izložen direktno žarištu u procesu kremiranja, kao i ostali materijali iz grupe INOX materijala. INOX Sicromal 12 je novi materijal namjenjen za visoke radne temperature.

Primarna komora za incineraciju radne temperature 860 °C do 1000 °C i sekundarna komora za ko – incineraciju dimnih plinova u trajanju retencije duže od 2 sekunde radne temperature 1000 °C do 1200 °C. Izrađuje se bez termo betona, šamota i opeke, koja se mora u postojećim komorama vremenom (dvije do tri godine) mijenjati.

Za termo izolaciju sa vanjske strane komora koriste se keramička vlakna Ceramic fibre *tip EHEM 1430*, gustoće 128 kg/m³ kao izolacioni materijal u mehaničkoj zaštiti od materijala INOX W.Nr. 1.4301.

Povećanjem radne temperature zraka za incineraciju i ko – incineraciju povećava se sigurnost u eliminaciji toksina u emisiji i skraćuje vrijeme kremiranja. Posljedično tome smanjuje se i utrošak plina kao energenta i povećava ukupna produktivnost uređaja, čime se direktno pojeftinjuje proces kremiranja [5].

3. Cremico

Cremico je novi proizvod iz linije postrojenja – uređaja za kremiranje umrlih zasnovan na novoj Uredbi EU 2016/426, Uredba o aparatima na plinovita goriva donešena od strane

Europskog parlamenta i vijeća 9. ožujka 2016. godine. Stavlja izvan snage Direktivu 2009/142/EZ, a stupa na snagu 21. travnja 2018. godine [1].

S obzirom da nove tehničke Direktive postavljaju i nove kriterije, tim iz Grizelj d.o.o. je razvio, izradio projekt – tehničku dokumentaciju, proizveo i testirao novi proizvod Cremico postrojenje – uređaj za kremiranje koji se bazira na konvertiranju anatomske – patološke i animalne materije u energiju i pepeo. Konvertiranjem raspoložive materije vrši se kombinirana proizvodnja topline i hlađenja (Combined Heat and Cooling CHC).

Kako je ovladano sa novim tehnologijama materijala, uređaj Cremico izrađuje se iz novih INOX materijala bez termobetona, šamota, opeke kao izolacijskog materijala. Primjenjuju se korektna tehnologije stabilizacije napona u materijalima kako ne bi došlo do deformacija i u konstruktivnom rješenju kompenzacije termodinamičkih dilatacija.

Sva proizvodnja se odvija kroz napredne eko autorizirane i visoko produktivne tehnologije, inventivna, modularna i multidisciplinarna postrojenja za kremiranje. Pri tome su zadovoljene i sigurnosne mjere koje definira EN 746 – 2 kao i Direktiva 2000/76/EC (*Direktiva 2000/76/EC Europskog parlamenta i vijeća od 4 prosinca 2000. godine o spaljivanju otpada* [2]), norma EN 14181:2016 (*Emisije iz stacionarnih izvora – osiguravanje kvaliteta voda automatskih mjernih sistema* [3]), Direktiva 2010/75/EU (*Direktiva 2010/75/EU Europskog parlamenta i vijeća od 24 studenog 2010. godine o industrijskim emisijama, integrirano sprečavanje i kontrola onečišćavanja* [4]), emisija polutanata u zaštiti okoliša i prirode.

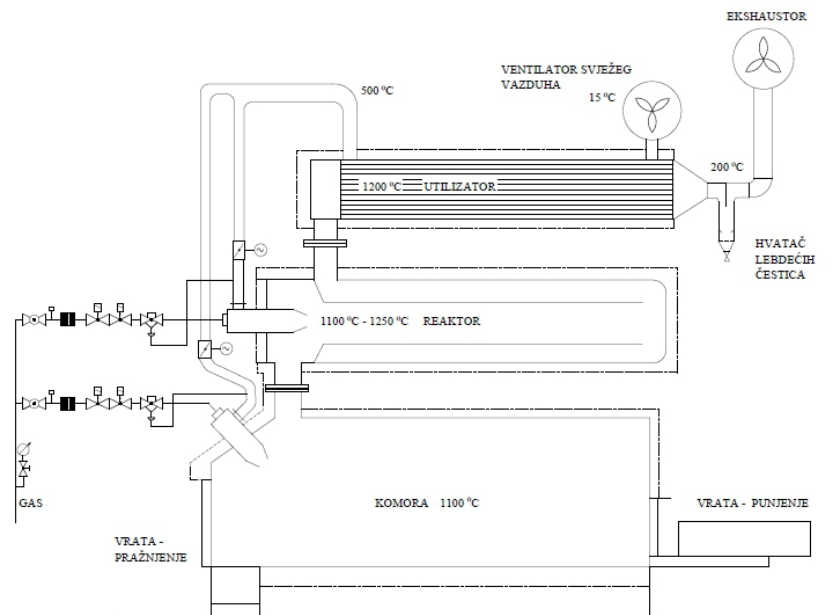
U razvoju kremacijskih uređaja Cremico zadovoljena je direktiva 2009/28/EC poznatija kao „20 - 20 – 20“ prema kojoj do 2020 godine. treba biti 20% manje emisija stakleničkih gasova, 20% udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije i 20% manja potrošnja energije (u odnosu na onu koja se do 2020. godine očekuje u slučaju neprovođenja posebnih mjera).

Korištenjem energije u procesu hlađenja rasladnih komora tijekom cijele godine i sezonsko grijanje i hlađenje objekta racionalizirana je Direktiva 2012/27/EC, koja insistira na povećanju energetske efikasnosti. Europske norme i Direktive se intenzivno prate uz selektivnu primjenu, istražuje se i razvija R&D.

Razvijene su 4 veličine Cremico uređaja kapaciteta 50 kg/h, 75 kg/h, 100 kg/h i 150 kg/h sa kumulativnim punjenjem, a kao energent se koristi plin. Radna temperatura u primarnoj komori je do 1000 °C, u sekundarnoj komori do 1200 °C uz obaveznu retenciju više od 2 sekunde. Temperatura zraka za konvertiranje je do 540 °C.

Kao i za sve ostale do sada certificirane proizvode, firma Grizelj vodi aktivnosti i u procesu je certificiranja uređaja za stjecanje prava isticanja i korištenja znaka CE, znaka sigurnosti i za uređaje Cremico.

Na novoj generaciji Cremico uređaja su inovirane, modificirane, racionalizirane i poboljšane tehničke i energetske performanse kako bi bio fleksibilniji, funkcionalniji i efikasniji kroz sistemsko rješenje. Novost u programu Cremico je dezodorizacija (oduzimanje neprijatnog mirisa iz emisije) čime se konkretno i direktno poboljšavaju performanse, a ne poskupljuje značajno proizvod. Velika prednost nove linije Cremico uređaja je integrala modularna tehnologija, visok kvalitet, komforne performanse i veliki stupanj efikasnosti, kroz nove napredne eko tehnologije – patentno zaštićene tehnike osiguravaju dugovječnost bez remonta i vrlo prihvatljiva cijena u odnosu na prethodne generacije krematorija. Na slici 1 je dat prikaz funkcionalne sheme CREMICO uređaja.



Slika 1. Shema CREMICO [6]

4. Zaključak

Današnja postrojenja za kremiranje vrše termički tretman/obradu humano, ekološki, zdravstveno, veterinarski, sanitarno, higijenski, energetski prihvatljivo uz održivi razvoj. Nove suvremene, napredne, sofisticirane tehnologije za kremiranje ekskluzivno i namjenski razvijene su i u domaćoj proizvodnji u skladu sa EU Direktivama kroz zaštitu prirode i okoliša.

Ostvarena energija u procesu kremiranja koristi se kao obnovljiva energija jer se povećava energetska učinkovitost kroz smanjenje utroška zemnog plina kao energenta (za više od 30 %) a samim time se ostvaruje manja emisija stakleničkih plinova.

Projektiraj racionalno, upravljaj odgovorno, koristi optimalno i stvaraj održivost u eksploataciji.

5. Literatura

- [1] Uredba (EU) 2016/426 Europskog parlamenta i vijeća od 9. ožujka 2016. o aparatima na plinovita goriva i stavljanju izvan snage Direktivu 2009/142/EZ, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/ALL/?uri=CELEX%3A32016R0426>, 19.07.2017.
- [2] Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32000L0076>, 21.07.2017.
- [3] Norma EN 14181:2016 (Emisije iz stacionarnih izvora – Osiguranje kvaliteta rada automatiziranih mjernih sistema, http://www.bas.gov.ba/standard/?natstandard_document_id=289916, 20.07.2017.
- [4] Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32010L0075>, 21.07.2017.
- [5] Upustva za projekte, upotrebu i eksploataciju, GRIZELJ.
- [6] Tehnički opis CREMICO, GRIZELJ.

Vodeni mulj alternativni izvor energije *Water sludge alternative energy source*

T. Grizelj^{1,*}, E. Kamenjašević²

¹ ITG Wärmetechnik, Wien, Austria

² Grizelj d.o.o., Nikole Šopa 46, 71 000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju, E-mail: grizelj@grizelj.com

Sažetak

Mulj iako je otpadna materija dalje se može koristiti kao resurs, repromaterijal, energent te ga je neophodno posmatrati kao alternativni tj. obnovljivi izvor. On je kao ostatak nakon obrade otpadnih, komunalnih ili industrijskih voda, koje su podvrgnute biološkim postupcima, sadrži i vrijedne organske tvari (oko 70%) i na taj način je pogodan za korištenje u poljoprivredne svrhe, odnosno kao fertilizator tla za namjene kao što su hortikultura, šumarstvo.

Ključne riječi: mulj, alternativni izvor, fertilizator tla

Abstract

Sludge though waste matter can be further used as a resource, raw material, energy and it is necessary to observe it as an alternative/renewable source. Sludge as a residue after treatment of waste, utility or industrial waters, which are subjected to biological processes, also contains valuable organic substances (about 70%) and is thus suitable for use in agricultural purposes or as soil fertilizers for uses such as horticulture, forestry.

Keywords: sludge, alternative source, soil fertilizers

1. Uvod

Prema Direktivi 91/271/EEZ [1], o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda, mulj se definira kao preostali, obrađeni ili neobrađeni dio mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Muljevi su po svom sastavu i količini, obradi i konačnom odlaganju veliki tehnološki i ekonomski problem svakog javnog sistema odvodnje. Procjedni mulj od pročišćavanja otpadnih voda mora se korektno inaktivirati iz ambijenta, ali treba ga promatrati kao alternativni izvor energije i kroz poštivanje metoda energetske efikasnosti potrebno ga je tretirati (iskoristiti), termovalorizirati a ne odlagati – deponirati. Odlaganje mulja ili deponiranje nije prihvatljivo i privremena rješenja kod nadležnih organa bit će opravdana još jedan vrlo kratak period. U vremenu naprednih i inovativnih tehnologija takvo rješenje je nedopustivo i zbog energetske neiskoristivosti a samim tim i ekonomske neprofitabilnosti.

1.1. Svojstva vodenog mulja

Mulj od pročišćavanja komunalnih otpadnih voda treba promatrati kao energent koji ima relativno visoku kaloričnu vrijednost 12 – 29 MJ/kg koji se može koristiti energent, a preostali pepeo kao agregat – frakcija u građevinarstvu. Inertni pepeo dobiven iz procjednog mulja može se koristiti kao građevinska frakcija – agregat ili odlagati na javnim

deponijama kao nasipni materijal, završni sloj kompozitnog otpada, u zaštiti biosfere od odloženog komunalnog otpada, prije humanizacije terena.

Jednostavna podjela mulja sa PPOV je:

- Mulj nastao na postrojenjima za pročišćavanje komunalnih voda
- Mulj nastao na postrojenjima za pročišćavanje industrijskih voda.

Jedna od osnovnih karakteristika bitna za odabir tretmana mulja je i procenat vlažnosti odnosno suhe tvari u mulju, te s tim u vezi mulj može biti:

- tekući sa 1 – 10 % ST,
- vlažni sa 10 – 30 % ST,
- kruti sa 30 – 90 % ST,
- osušeni sa > 90 % ST.

1.2. Izvori vodenog mulja

Postoji nekoliko vrsta mulja iz otpadnih voda:

- mulj kanalizacioni;
- mulj iz industrijskih pročišćavača otpadnih voda, tekstil, papir;
- mulj iz septičkih (crnih) jama;
- mulj iz separatora na benzinskim pumpama;
- mulj iz proizvodnje i prerade vode;
- mulj iz uličnih slivnika;
- mulj procjedni sa deponija komunalnog otpada;
- mulj iz mokre separacije uglja;
- mulj iz pročišćavanja tehnološke vode;
- flotati iz PPOV mastolova, mesne, mliječne i prehrambene industrije;
- biootpad, granje, šiblje, lišće sa grube rešetke.

2. Zbog čega mulj promatrati kao alternativni izvor energije

Mulj iako je otpadna materija dalje se može koristiti kao resurs, repromaterijal, energent te ga je neophodno posmatrati kao alternativni tj. obnovljivi izvor.

Jedan od načina iskorištavanja mulja je njegova upotreba kao energenta u spalionicama za proizvodnju energije, kao i upotreba mulja kao građevinske frakcije.

S ciljem korištenja mulja kao obnovljivog izvora energije, koji je resurs i ima svoju energetska vrijednost koju treba racionalno i efikasno iskoristiti, dolazi do primjene novih naprednih eko tehnologija Advanced Eco Technology (AET®) kroz istraživanje i razvoj R&D.

Mulj kao ostatak nakon obrade otpadnih, komunalnih ili industrijskih voda, koje su podvrgnute biološkim postupcima, sadrži i vrijedne organske tvari (oko 70%) i na taj način je pogodan za korištenje u poljoprivredne svrhe, odnosno kao fertilizator tla za namjene kao što su hortikultura, šumarstvo.. Također je kao takav pogodan i kao fertilizator tla u kulturama za ishranu ljudi i životinja. Na taj način se ne koriste vještački fertilizatori, nego se ide ka ostvarivanju održivog razvoja [2].

3. Dehidracija, sterilizacija, peletiranje

Kako bi vodeni mulj dobio svoje mjesto u okolišu i uz zadovoljenje ekoloških zahtjeva potrebno ga je dehidrirati na 12% vlage kako bi se mogao peletirati i koristiti u hortikulturi.

Kada je riječ o dehidraciji prihvat procijednog mulja vrši se u zatvorenim bazenima sa digestorima radi preuzimanja prisutnog preostalog bio plina i neugodnog mirisa radi iskorištavanja i neutralizacije. Usitnjavanje mulja na šrederu prije dehidracije je obaveza kako bi bilo korektno postupanje u procesu dehidracije (sušenja) i korištenja kao energenta u obliku praškaste frakcije.

Kako bi zadovoljili zahtjeve energetske efikasnosti u primjeni korištenja vodenog mulja kao energenta potrebno je izvršiti dehidraciju mulja postupkom izdvajanja (uplinjavanjem, gasfier, ekstrakcijom) bio plina i vode iz mulja koji je dostupan iz PPOV-a sa 25% suhe materije.

Intenzivna dehidracija, sterilizacija i peletiranje su ekološki, energetski i ekonomski opravdani tehnološki procesi, pogotovo ako se uzme mogućnost korištenja dehidriranog procjednog mulja, koji nije ekološki podoban kao fertilizator tla, kao energent bilo da je u rinfuzi ili u peletu.

Intenzivna dehidracija odvija se u namjenskom uređaju DETIK-I_._ kaskadne izvedbe u bez prekidnom postupku na temperaturi 80 °C do 100 °C u trajanju 30 do 40 min. ovisno o koncentraciji vlage i temperaturi mulja. Produkt dehidracije mulja je sipka, sitne granulacije frakcija u rinfuzi što je čini prihvatljivom kao eko energent. Proces dehidracije odvija se besprekidno u kontinuitetu 24/7 odnos protoka 1:5 kako bi bili zadovoljeni energetski uvjeti efikasnog korištenja uređaja, a dehidratori se izrađuju kapaciteta 50 do 2500 kg/h.

Dehidracija se može vršiti korištenjem energenata: zemni plin, LPG ili dehidrirana frakcija procjednog mulja namjenskim plamenikom. Dehidrator se izrađuje iz INOX materijala W.Nr. 1.4841/AISI 314 kućište, W.Nr. 1.4301/AISI 304 inpeler, bez šamota, termobetona i izolacione opeke, izolacija su keramička vlakna u mehaničkoj zaštiti s vanjske strane primarne komore [3].

Sav mulj koji je ušao u proces dehidracije koristi se i nema nusprodukata ni pojava u postupanju tokom procesno-tehnološkog postupka čime su zadovoljena osnovna ekološka načela cirkularne ekonomije. Dehidrirana rashlađena frakcija mulja kao energent privremeno se skladišti u silosu prije korištenja u postrojenu na incineraciju. Prihvatni silos je i pufer (buffer) između dehidratora i incineratora, odnosa prihvaćenog mulja i potrebe za energetskim konzumom energije iz incineratora.

Solarna dehidracija nije ekološki prihvatljiva zbog širenja neugodnih mirisa i jer traje po nekoliko mjeseci što za posljedicu ima negativan utjecaj na okoliš. U solarnom dehidratornom mulju postoji mogućnost reverzibilne reakcije. Postoji mogućnost pojave korova, bakterija, virusa i patogenih organizama, zbog toga je preporuka da se ovakav mulj koristi u šumarstvu i hortikulturi.

Da bi se donijela konkretna odluka o postupanju sa muljem treba se napraviti analiza mulja.

Analiza mulja treba obuhvatiti slijedeće parametre:

- sadržaj suhe tvari, sadržaj organske tvari;
- pH;
- sadržaj dušika i fosfora;
- sadržaj kadmija, bakra, nikla, olova, cinka, žive i kroma.

Ukoliko su izmjerene vrijednosti u dozvoljenom veličinama iz mulja može se proizvoditi eko pelet kao fertilizator tla.

4. Incineracija

Kad se utvrdi struktura mulja postavlja se recept po kome se vrši optimalan i korektan termički tretman mulja u tehnološkom procesu i kako bi se maksimalno energetski iskoristio.

Korištenje mulja sa 25% SM (suhe materije) je snaga kombinacije u uređaju Vrtložna Incineracija sa Fluidiziranim slojem u Integralnom Ložištu VIFIL__M kao konverter mulja u toplinsku energiju – termovalorizacija kao inherentan proces sa PPOV-om i da bude koherentan proces korištenja energije u tehnološkom procesu PPOV-a.

U procesno – tehnološkom postrojenju VIFIL__M može se termički tretirati do 3 kompatibilne vrste mulja i flotata u različitim vremenskim terminima od 25 % do 75 % vlage.

Okolišna energetske efikasnost (Environment Energy Efficiency) program ENERGETIS^{ITG} nudi:

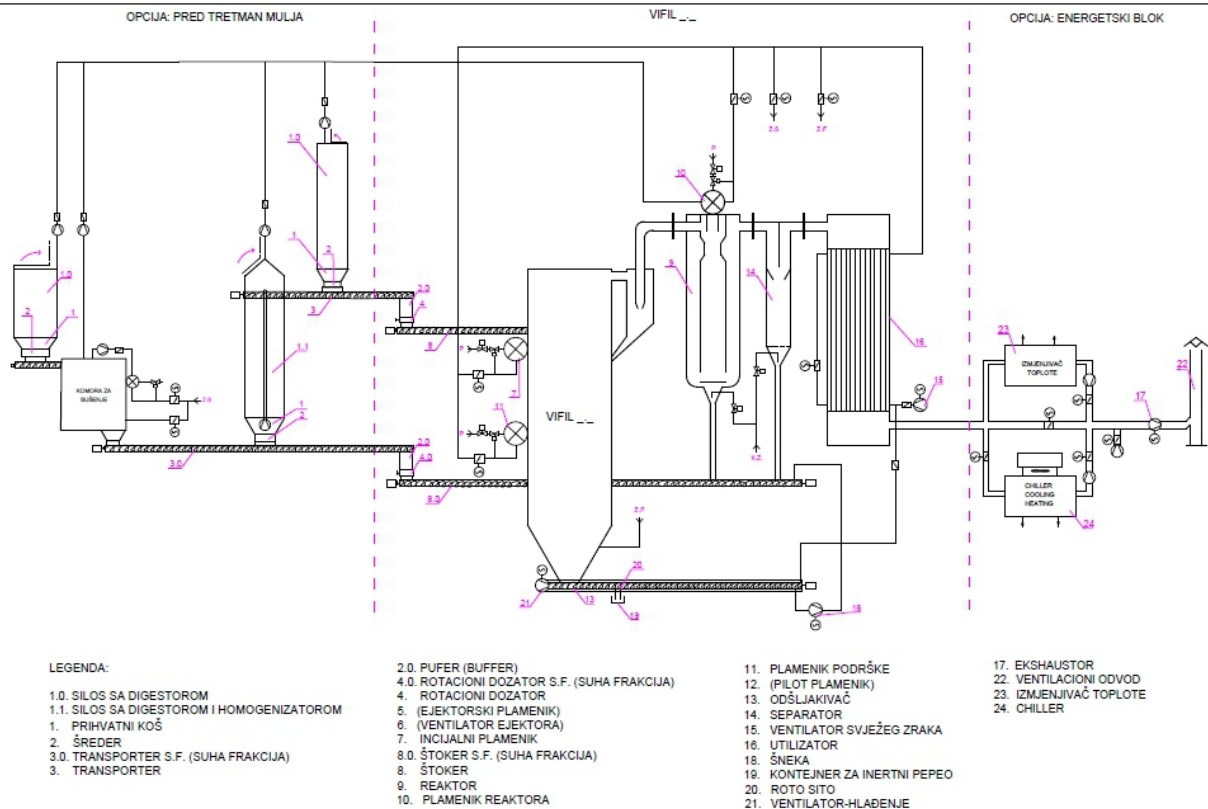
- mulj u energiju (Sludge to Energy StE);
- energija iz mulja (Energy from Sludge EfS);
- održivi razvoj i benefite sa "0" otpada, Zero Waste.

Zadovoljenje dijagrama cirkularne ekonomije, uravnoteženje troška i profita uz maksimalne mjere sigurnosti, pouzdanosti u eksploataciji koje omogućavaju fleksibilna i funkcionalna procesno tehnološka rješenja programa ENERGETIS^{ITG}.

Bitan faktor da se programom ENERGETIS^{ITG} u tretmanu mulja ne povećava naknada za otpadne vode, čime se zadovoljavaju socijalni, energetske, ekološki i ekonomski aspekti, a da se dobivena energija može koristiti termovalorizacijom u kogeneraciji CHP, trigeneraciji CHCP i poligeneraciji, a pepeo kao građevinska frakciji-agregat (engl. Incinerated sewage sludge ash) ISSA.

Optimalan kapacitet integralnog PET-TO-VIFIL__ uređaja je 50 kg/h do 2500 kg/h u 8 veličina, sa omjerom regulacije opterećenja 1 : 5 (100 kg/h do 500 kg/h) uz korektan stupanj iskorištenja energenta više od 99 %. Pomoćni energent za Start-up i podršku može se koristiti zemni plin ili LPG/UNP tlaka 0,1 bar. Utilizator kao sastavni dio VIFIL__M služi za rekuperaciju dimnih plinova sa svježim zrakom koji koristimo direktno za smanjenje pomoćnog energenta i efikasnu stehiometriju izgaranja sa vrelim zrakom temperature do 500 °C [4]. U separatoru se vrši izdvajanje lebdećih mikro čestica i vraćanje u ložište radi eliminacije. Funkcionalna shema takvog uređaja prikazana je na slici 1.

Cijeli program ENERGETIS^{ITG} zasniva se kroz Energetsku Efikasnost (EE) koristeći obnovljive izvore energije (OIE) i kroz zahtjeve cirkularne ekonomije sa ciljem "nula otpada", primjenom Autorizirane Virtualne Eko – Tehnologije AVE-Tech. Mulj se može iskoristiti skoro 95 % što naše tehnologije svrstava u vrh visokih tehnologija High Tech, kroz Know how napredne eko tehnologije AET[®], što se dokazuje kroz energetsku, ekološku i tehno-ekonomsku fizibiliti studiju. Odvijanje funkcija i vođenje procesno - tehnološkog postupka termičkog tretmana vodenog mulja može biti lokalno ili preko centralnog integralnog interaktivnog programa i *multivarijabilnog PLC sistema* (interface touch screen) uređaja za upravljanje i vizualizaciju aplikacije prema zadanom receptu – master, kontrola i monitoring procesa, podržan preko P&ID regulatora i PC za back up, trajni elektronski zapis rada postrojenja i on line konekciju prema centralnom SKADA sistemu.



Slika 1. Funkcionalna shema za tretman vodenog mulja

5. Zaključak

Kako gradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda danas ima tendenciju rasta, pojava sve veće količine mulja kao nusprodukta iz ovakvih tretmana postaje sve veći problem. Kako ga nije poželjno odlagati na deponije ostalog otpada, preostaje nam samo jedno. Promatrati vodeni mulj kao alternativni izvor energije.

Niz je prednosti i razloga za takvo što, upotreba mulja kao energenta ili pak kao fertilizatora. Na taj način su zadovoljena osnovna načela održivog razvoja i sve se lijepo zatvara u savršeni krug, koncept „zero waste“ i cirkularna ekonomija.

Ukoliko želimo da naredne generacije uživaju u prirodnom blagu planete Zemlje, vrijeme je da se osvjestimo i da na adekvatan način iskoristavamo ono što sami proizvodimo, te da na takve stvari ne gledamo kao na otpad već kao na resurs.

6. Literatura

- [1] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A31991L0271>
- [2] Edvina Kamenjašević, Tomislav Grizelj (2017), Procjedni sterilni mulj fertilizator tla, ZBORNİK RADOVA SVJETSKI DAN VODA
- [3] Ejub Džaferović, Tomislav Grizelj (2017), Idejno rješenje za humano, ekološko i energetsko postupanje sa muljem sa ppov butila.
- [4] J.H. Bajramović, T. Grizelj, (2016) Energetska učinkovitost iz obnovljivih izvora energije, kružna ekonomija "zero waste" kroz program: otpad u energiju (Waste to Energy) WtE i energija iz otpada (Energy from Waste) EfW.

Distributivna mreža vođena pomoću SCADA ***Management of the distribution network with SCADA***

F. Galović¹, S. Kaluđer^{1,*}, K. Fekete²

¹HEP-ODS, Elektroslavonija Osijek, Hrvatska

²Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: slaven.kaluder@hep.hr

Sažetak

U radu je prikazan sustav za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka (SCADA) te njegov povijesni razvoj. Opisana je struktura i integracija sustava te su prikazane njegove mogućnosti. Dat je opis funkcionalnog djelovanja vodnog polja koje je potrebno kako bi dijagnoza kvara bila razumljiva. Definiran je pojam dijagnoze kvara te najčešće korištena metoda u praksi. Metoda hipoteza je najčešće korištena metoda u praksi za sintezu alarma. U radu je prikazan stvarni primjer dijagnoze kvara u elektrodistribucijskom sustavu na koji je primijenjena metoda hipoteze. Razmotreni su trendovi za razvoj sustava SCADA u budućnosti.

Abstract

This paper presents a system for monitoring, control and data acquisition (SCADA) and its historical development. The paper describes the structure and integration of the SCADA system and shows its possibilities. Description of feeder functional operation is given to make fault diagnosis understandable. The term of fault diagnosis and most commonly used method in practice are defined. Hypothesis method is the most widely used method in practice for alarm synthesis. This paper presents a real example of application of hypothesis method for fault diagnosis in electrical distribution systems. A future trends of SCADA development are considered.

Ključne riječi: SCADA, hypothesis method, fault diagnosis, distribution system, DMS

1. Uvod

Automatizacija se koristi u cijelom svijetu, a svoju primjenu pronalazi u plinskoj, naftnoj industriji, sustavima vodoopskrbe i elektroenergetskim sustavima. SCADA se koristi kod procesa koji se trebaju kontrolirati po širokom zemljopisnom području [1,2]. Sustavi za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka (eng. Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA) su široko primijenjeni u automatizaciji elektroenergetskih sustava i predstavljaju područje istraživanja u kojem se svakodnevno razvijaju novi proizvodi i usluge. Kontrola je u početku bila ovisna o operatoru koji na temelju očitanih mjerenja ručno upravljao raznim

procesima. Prvi patenti za nadzor i kontrolu započeli su između 1890. i 1930, a izumili su ih inženjeri koji su radili u telekomunikacijskim industrijama. Gotovi svi patenti su uključivali daljinsko upravljanje koje je koristilo tehnologiju korištenu u prvoj automatskoj telefonskoj centrali instaliranu 1892. od strane Automatic Electric kompanije. Od 1900 do 1920 izumljeno je mnogo varijacija daljinskog upravljanja. Većina tih daljinskih upravljanja imala je mogućnost obavljanja samo jedne zadaće, da služi samo za kontrolu ili samo za nadzor. Jedan od najranijih prethodnika moderne SCADA izumio je 1921. John B. Harlow. Njegov sustav je automatski detektirao promjenu na udaljenom mjestu i slao informaciju do kontrolnog centra. John J. Bellamy i Rodney G. Richardson razvili su sustav daljinskog upravljanja 1923. godine koji koristi tehniku koja osigurava valjanost odabrane kontrolne točke prije stvarne uspostave kontrole (eng. check-before-operate). Operator je mogao zatražiti provjeru stanja odabrane kontrolne točke kako bi potvrdio njen status. Harry E. Hersey osmislio je 1927. godine prvi sustav za zapisivanje promjene stanja nadziranog sustava. Sustav prati podatke s udaljenog mjesta i ispisuje bilo kakve promjene stanja opreme zajedno s vremenom i datumom kada se promjena dogodila. U početku svi su sustavi su bili elektromehanički.

2. Komunikacija na razini trafostanice

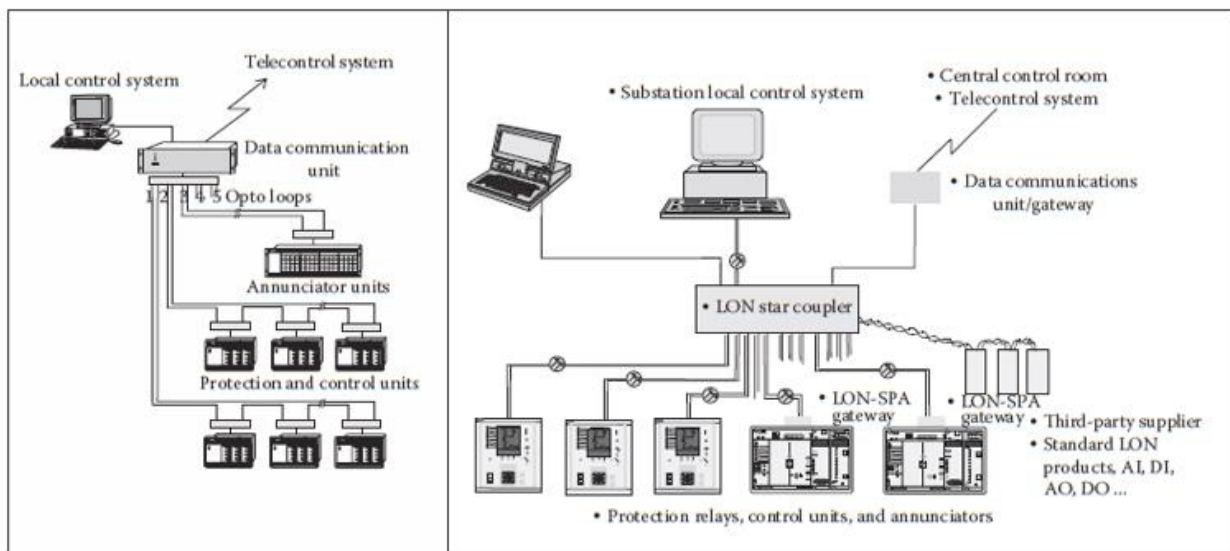
Releji bazirani na mikroprocesorima, kontrolne jedinice i električni indikatori komuniciraju jedni s drugima, tako da su podaci koji se odnose na te uređaje dostupni putem komunikacijske sabirnice drugim uređajima povezanim na taj sustav. Komunikacijska sabirnica u trafostanici međusobno povezuje sve uređaje na razini potrošača i alarmne jedinice te lokalni nadzor i praćenje sustava trafostanice. Jedinica za prikupljanje podataka spojena na komunikacijske sabirnice u trafostanici prikuplja podatke s uređaja povezanih na sabirnice te ih prenosi na sustav veće razine, kao što su telekontrola ili sustav procesnog nadgledanja (Slika 1a) [3].

Komunikacija od jedinice za prikupljanje podataka do sustava telekontrolne naziva se telekontrolna komunikacija. U najjednostavnijem slučaju, jedinica za prikupljanje podataka je prijemnik između trafostanice i telekontrolne komunikacije. Jedinica za prikupljanje podataka može funkcionirati i kao izvještajna jedinica, na koju je povezan pisač. U pretraživačkim sustavima (npr. one korištenjem SPA sabirnice) jedinica za prikupljanje podataka je središte komunikacijskog sustava u trafostanicama, dok je u spontanima

sustavima (npr. one koji koriste LON sabirnice), uređaji mogu slati podatke autonomno do sabirnice i tražiti podatke od drugih uređaja. U spontanom sustavu, podaci o događaju prenose se odmah prilikom njihove pojave, dok se u pretraživačkom sustavu, oni šalju samo na zahtjev. S druge strane, pretraživački sustav je jednostavniji za primjenu i upravljanje, jer glavni čvor može slobodno odrediti kada i iz kojeg čvora zatražiti podatke. Ranije razvijena sabirnica (kao SPA sabirnica) je bila komunikacijski standard za ABB SPACOM/ PIRAMIDA seriju releja razvijenih 1980-ih. Onda je evoluirala u sveopći komunikacijski standard na razini trafostanice. Zaštitni releji, kontrolne jedinice i alarmni

centri su povezani u jedan središnji uređaj putem opto petlje. Svi podređeni čvorovi imaju unikatne brojeve. Središnji uređaj šalje upit za svaki čvor u zamjenu za željene podatke, a čvor odgovara na taj upit. Vrijeme odziva sustava ovisi o broju uređaja i količini podataka. Važnijim podacima je dodijeljen veći prioritet u odnosu na ostale podatke. SPA je asinkrona sabirnica s maksimalnom brzinom od 9,6 kbit/s [3].

LON sabirnica je naširoko otvoren komunikacijski standard razvijen od strane ECHELON-a. Ona podržava razna komunikacijska sredstva od optičkih do distribucijskih vodova. Maksimalna brzina prijenosa podataka za optičku LON sabirnicu je 1,2 Mbit/s. U trafostanicama LON sabirnica je konfigurirana kao radijalni sustav sa zvjezdastim sprežnikom (eng. star coupler). LON sabirnica je spontani sustav u kojem svi uređaji (čvorovi) mogu ponoviti promjenu stanja (slika 1b) [3].



Slika 1. (a) Proprietary sabirnička konfiguracija, (b) LON sabirnička konfiguracija [3]

3. SCADA kao pomoć pri odlučivanju u kriznim situacijama

Analiziranje alarma podrazumijeva korištenje različitih tehnika, gdje svaka od njih obavlja istu zadaću: prikazati vremenski obrađenu i organiziranu informaciju operateru s obzirom na stanje i događaje u elektroenergetskom sustavu. Postoje inteligentne, moderne i

tradicionalne tehnike. Dijagnoza kvara obavlja se u upravljačkom centru od strane operatera, a provode ju i inženjeri koji se bave zaštitom. Analiza alarma se može provoditi u tri vremenska razdoblja: odmah, kratkoročno i dugoročno. Svaka promjena uklopnog stanja mreže vezana je za pogonski događaj koji izvršava operater radi određenih situacija prilikom vođenja mreže (npr. ubacivanje drugog transformatora). Također dolazi i do promjene uklopnog stanja prilikom odvajanja dijela elektroenergetskog sustava pogođenog kvarom i djelovanja sustava relejne zaštite. Dispečerska izvješća obuhvaćaju sve obavijesti o pogonskim događajima [7].

Uz pomoć izvješća i pogonskog događaja, analiziramo pristigle alarme i zaključujemo što se dogodilo. Ako je pogonski događaj isključen od strane zaštite radi se o kvaru. Nakon kratke ili duge pauze određena dionica mreže vraća se u početno stanje uz pomoć automatskog ponovnog uklopa ako je riječ o prolaznom kvaru. Poslije toga utvrđujemo ispravnost sustava relejne zaštite. U nekim situacijama se očekuje prorada sustava relejne zaštite kako bi se utvrdio smjer kvara. Prije same analize alarma prilikom njenog dolaska u dispečerski centar potrebno je poznavati princip funkcioniranja relejne zaštite, njena podešenja, tok energije kojim se napajaju određeni objekti i samu mrežu. Analizu čini nekoliko koraka: odabir metode, pravilan pristup, poznavanje prethodno nabrojanih stvari, iskustvo i logičko zaključivanje. Analiza možda na prvi pogled izgleda jednostavna, ali se u praksi ne pokazuje tako. Jedan složeni kvar u mreži čini nekoliko stotina do nekoliko tisuća alarma i to samo u nekoliko minuta. Kako bi analiza bila cjelovita potrebno je uzeti u obzir sve varijable, a to uključuje i telefonske dojave s terena te mogućnosti manjka ili viška pojedinih alarma [7]. Pored svih informacija koje možemo koristiti prilikom analiziranja kao što su lokalni signali zatečeni u TS, telefonske dojave s terena, najkompetentnijim dokaz je KRD. Svaka trafostanica s opremom za daljinsku komunikaciju preko koje se može vršiti daljinsko upravljanje, nadzor i mjerenje moguće je pregledati alarme na KRD-u koji se nalazi u SCADA sustavu. KRD bilježi razne vrste signala iz mreže, kako iz samog primarnog tako i iz sekundarnog postrojenja. Za vrijeme složenog događaja operater samo želi što prije vratiti sustav u početno stanje.

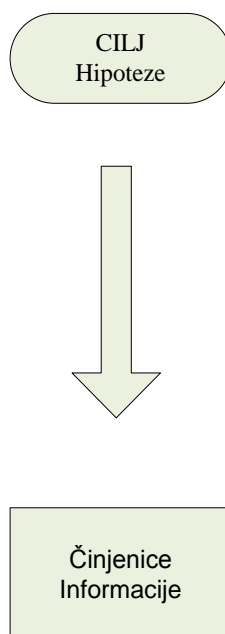
4. Dijagnoza kvara u distribuciji

Prilikom same aktivacije određenog sustava zaštite na KRD dolazi ogromna količina alarma koju operateri vrlo teško razumiju. Kod aktivacije zaštite svi alarmi releja i prekidača šalju se lokalno u trafostanicu i u dispečerski centar. Neovisno o složenim situacijama, moguće je utvrditi gdje se nalazi i o kojem je kvaru riječ iz aktivnosti releja i prekidača [8]. Dijagnoza kvara obuhvaća [8]: identifikaciju kvara, kvarove na prekidačima, kvarove na relejima i kvarove telemetrije.

Primarni zadatak operatera u dispečerskom centru je postavljanje dijagnoze kako bi se moglo uspostaviti najbolje moguće uklopno stanje (restauracija EES-a). Nakon kvara dolazi do odvajanja dijela elektroenergetske mreže, a nakon toga treba uslijediti identifikacija kako bi se mogla uspostaviti pravodobna i moguća restauracija EES-a. Svaki operater prije restauracije mora identificirati kvar kako bi uz odgovarajuću proceduru upravljanja omogućio proces restauracije EES-a. To je važno za velika područja koja su ostala bez napajanja zbog krivog ili uopće ne djelovanja releja i prekidača kako bi što manje kupaca ostalo bez električne energije i na taj način se smanjili financijski gubici. Alarmi odnosno signali koji dolaze od prekidača i releja predstavljaju vidljivi dokaz kvarova koje operater u dispečerskom centru fizički ne vidi. Isto tako podaci o mjerenju napona i struje također se pohranjuju u SCADA sustavu jer mogu koristiti kod dijagnoze kvara. Povezivanjem što većeg broja uređaja i razvojem SCADA sustava na ekranu se pojavljuje ogroman broj alarma koje operateri nisu u mogućnosti interpretirati, jer su došli do maksimuma svojih mogućnosti. Metoda hipoteza koristi alternativni pristup pri analiziranju

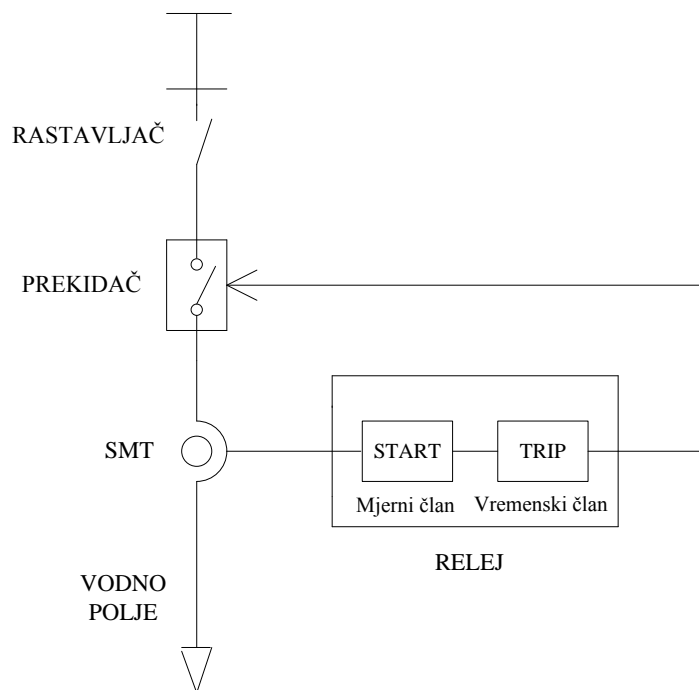


alarma koji se pojavljuju u postrojenju i mreži. Kada se radi o stotinjak alarma i kada je situacija donekle jasna koristi se metoda niza, a kada je situacija kompliciranija i kada broj alarma doseže brojku do nekoliko stotina ili tisuća alarma koristi se metoda hipoteza. Svako hipotezi se dodjeljuje mali dio vjerojatnosti tako da je na kraju suma 1. Na početku može se pojaviti i do 10 hipoteza. Prilikom pregleda KRD-a većina hipoteza otpadne tako da na kraju ostane 2 do 3. Ako čovjek analizira alarme ne formiraju se međuhipoteze zbog prevelikog rizika. Procesori alarma koji zamjenjuju čovjeka u složenim situacijama rade na principu metode hipoteza i baze znanja. Počeli su se pojavljivati krajem 80-tih godina 20. stoljeća i to najviše u Njemačkoj, SAD i Japanu. Idući problem se javlja kada ne poznajemo niti činjenice niti informacije pa krećemo od hipoteza koje je potrebno dokazati sakupljanjem informacija koje potvrđuju tu hipotezu. Ovo je prikazano slikom 2. Specijalizirani sustavi koriste ovakav način zaključivanja koji se još zove i zaključivanje unatrag. Kreće s ciljem kojeg treba dokazati [7].



Slika 2. Blok dijagram metode hipoteza

4.1 Funkcionalno djelovanje vodnog polja



Slika 3. Prikaz djelovanja vodnog polja

Slika 3. prikazuje shemu jednostavnog sustava djelovanja vodnog polja.

Vodno polje se sastoji od primarnog i sekundarnog dijela. Primarni dio obuhvaća rastavljač, prekidač i strujni mjerni transformator (SMT), a sekundarni dio relej unutar kojeg se nalaze mjerni član i vremenski član koji imaju mogućnost podešavanja. Ukoliko dođe do kvara na nekom dijelu vodnog polja, dispečer u dispečerskom centru dobit će povratnu informaciju u obliku alarma, koji se opisuje logičkom jednadžbom.

Prilikom kvara na vodnom polju, gdje je unutar releja, mjerni član podešen na 300 A, a vremenski član na 2 sekunde. Struja koja prođe kroz taj relej prijeđe podešene vrijednosti relej šalje impuls prekidaču za isključenje. Logička jednadžba za taj slučaj bi glasila (1).

$$F_L = R_{operate} \vee CB_{open} \quad (1)$$

gdje $R_{operate}$ znači da je relej proradio, a CB_{open} da je prekidač otvoren odnosno isključen. objašnjava alarm za kvar na releju unutar kojeg mjerni član uspijeva obaviti svoju zadaću dok vremenski član to ne uspijeva. Zbog ne obavlja zadaće vremenskog člana relej ne izvršava svoju funkciju to jest ne šalje impuls do prekidača za njegovo isključenje. Iskazano logičkom jednadžbom (2).

$$R_{FTO} = R_{start} \wedge N_oR_{trip} \quad (2)$$

R_{start} znači da je mjerni član izmjerio vrijednost struje dok N_oR_{trip} znači da vremenski član nije izmjerio vrijeme trajanja izmjerene struje.

Kvar prekidača, gdje relej u potpunosti izvršava svoju zadaću te šalje prekidaču impuls za isključenje, ali prekidač ne reagira na dolazeći impuls. Logička jednadžba je iskazana (3).

$$C_{BFTO} = R_{trip} \wedge N_oC_{Bopen} \quad (3)$$

gdje R_{trip} znači da je poslan impuls za isključenje, a N_oC_{Bopen} da se prekidač nije otvorio.

5. Rezultati

Dat je primjer za najčešće korištenu metodu u praksi, metodu hipoteze koju smo već ranije spomenuli. Primjer koji smo objasnili je događaj, točnije kvar koji se dogodio 7. travnja 2016. godine. na vodu koji napaja trafostanicu 35/10 kV Jug (slika 4). Uklopno stanje u trenutku kvara je da se iz TS 110/35/10 kV Osijek 1 napajaju TS 35/10 kV Čepin, Samatovci, Jug te Zapad koji napaja Retfalu. Prilikom kvara na vodu Jug 1 i Jug 2 automatski se isključio transformator broj 2. u trafostanici Osijek 1. To se dogodilo iz sigurnosnih razloga kako se kvar ne bi dalje proširio. Trafostanice koje se napajaju iz Osijek 1 ostale su bez napona. Princip rada prema kojem je SCADA detektirala i otklonila kvar je slijedeći. Svi alarmi iz trafostanica koji su obuhvaćeni kvarom pristižu u dispečerski centar što je vidljivo u [9].

Zatim dispečer formira hipoteze:

1. Kvar ZDV 1 35kV OS1 – Jug 1
2. Kvar ZDV 2 35kV OS1 – Jug 2
3. Kvar TP 2 OS1
4. Kvar prekidača VP 35kV Jug 1
5. Kvar releja VP 35kv Jug 2

Nakon toga slijedi pridruživanje odgovarajućih alarma pripadajućim hipotezama:

1. Kvar ZDV 1 35kV OS1 – Jug 1
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV JUG 1 PREKIDAČ ISKLJUČEN
2. Kvar ZDV 2 35kV OS1 – Jug 2
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV JUG 2 PREKIDAČ ISKLJUČEN
3. Kvar TP2 OS1
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV TP 2 PREKIDAČ ISKLJUČEN
4. Kvar prekidača VP 35kV Jug 1
5. Kvar releja VP 35kv Jug 2

Dispečer dalje radi po principu eliminacije hipoteza. Najprije eliminira hipotezu 5 i hipotezu 4 jer se iz pristiglih alarma za kratkospojnu zaštitu i alarma da su prekidači Jug 1 i Jug 2

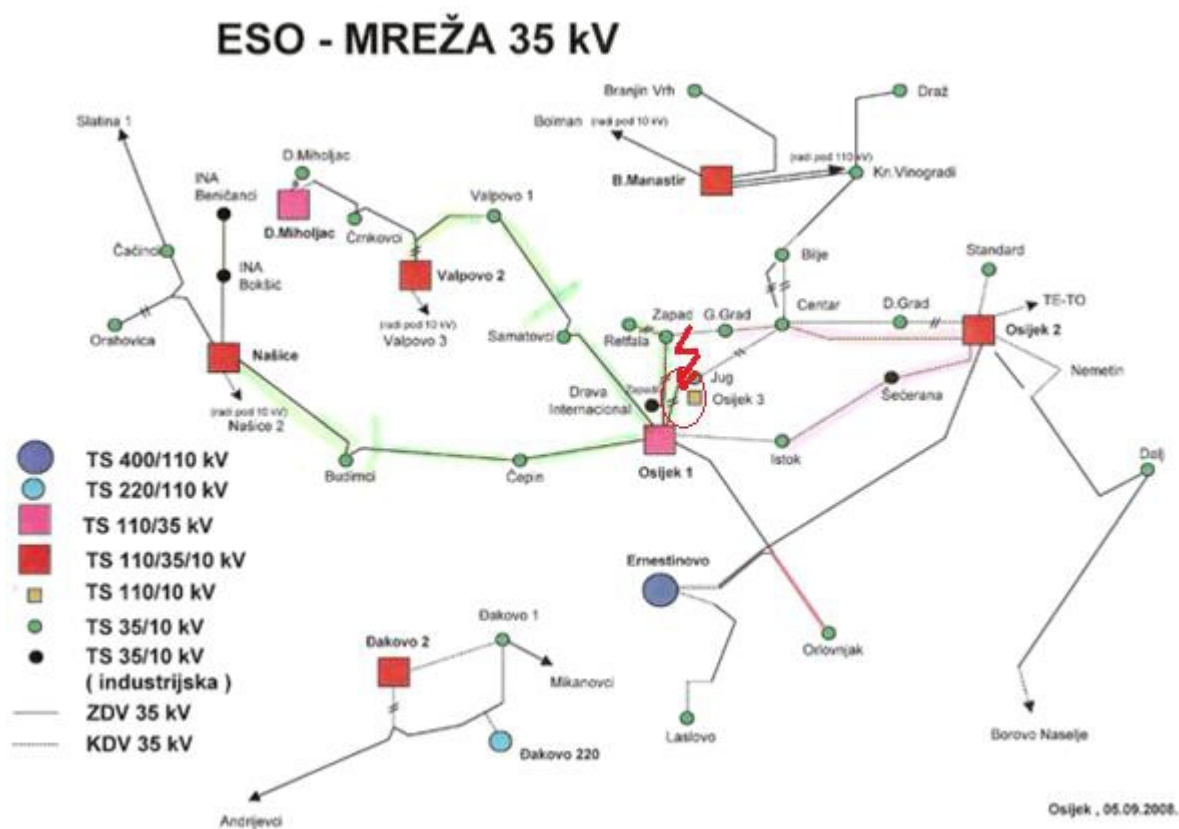
otvoreni dolazi do zaključka da su releji i prekidači uspješno izvršili svoju zadaću to jest da su ispravni. Nakon eliminacije ostale su nam 3 hipoteze, a to su:

1. Kvar ZDV 1 35kV OS1 – Jug 1
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV JUG 1 PREKIDAČ ISKLJUČEN
2. Kvar ZDV 2 35kV OS1 – Jug 2
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV JUG 2 PREKIDAČ ISKLJUČEN
3. Kvar TP2 OS1
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV TP 2 PREKIDAČ ISKLJUČEN

Slijedeći korak je eliminacija hipoteze 3 na temelju alarma 07.04.16. 22:36:47 OSK1 35kV TP 2 PREKIDAČ UKLJUČEN gdje se vidi da je transformator 2 ponovno uključen i nastavlja normalno raditi bez javljanja novih alarma. Iz preostale dvije hipoteze:

1. Kvar ZDV 1 35kV OS1 – Jug 1
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV JUG 1 PREKIDAČ ISKLJUČEN
2. Kvar ZDV 2 35kV OS1 – Jug 2
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV Z.KRATKOSPOJNA ISK
 - 07.04.2016. 22:33:16 OSK1 35kV JUG 2 PREKIDAČ ISKLJUČEN

Dolazi se do zaključka da je kvar identificiran na vodovima Jug 1 i Jug 2, a trafostanicama Čepin, Samatovci, Zapad i Retfala vraćen je napon prilikom uključivanja transformatora 2 u trafostanici Osijek 1. Zbog kvara na vodovima Jug 1 i Jug 2 trafostanica Jug se po novome napaja iz trafostanice Osijek 2, Centar (slika 4).



Slika 4. Distributivna mreža 35 kV Elektroslavonije Osijek

6. Zaključak

SCADA je sustav za nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka koji je primjenjiv u različitim granama industrije kao što su plinska i naftna industrija. Također je pronašao svoju primjenu u elektroenergetskim sustavima, sustavima vodoopskrbe, građevinarstvu te u nuklearnim elektranama. Pomoću navedenog sustava moguće je očitati fizikalne veličine poput struje, napona, snage transformatora i slično. Isto tako mogu se vidjeti statusi releja i prekidača iz evidentiranih alarma. S obzirom da je riječ o osnovnom tipu SCADA kojim upravlja čovjek to jest dispečer je dužan dijagnozu kvara provesti ručno na osnovu stečenog iskustva. Na temelju provedene dijagnoze kvara metodom hipoteze utvrđeno je da je kvar na vodu 35 kV Jug 1 i Jug 2. Daljnjim razvijanjem elektroenergetskog sustava pojavit će se potreba za uvođenjem novog, sofisticiranijeg sustava SCADA. Zbog prevelikog broja informacija dispečer više neće moći samostalno provoditi dijagnoze kvara te će se morati uvesti procesori alarma u sklopu sustava za pomoć pri upravljanju (eng. DMS) koji će sve to izvršavati automatski, bez čovjeka. Drugim riječima DMS je proširena SCADA.

7. Literatura

- [1] M.S. Thomas, J.D. McDonald, Power system SCADA and smart grids, CRC Press Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, 2015.
- [2] R.L. Krutz, Securing SCADA systems, Wiley Publishing, Inc, 10475 Crosspoint Boulevard Indianapolis, 2006.
- [3] J.Northcote-Green, R. Wilson, Control and automation of electrical power distribution systems, CRC Press Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, 2007.
- [4] D.Bailey, E.Wright, Practical SCADA for industry, Newnes, Great Britain, 2003.
- [5] E. Vaahedi, Practical power system operation, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 2014.
- [6] J.M. Gers, Distribution system analysis and automation, The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2014.
- [7] S.Kaluđer, S.Nikolovski, Lj.Majdandžić, Alarm processing in a power system by human expert, Tehnički vjesnik, Vol.20, pp. 343-349, February 2013.
- [8] J.R.McDonald, G.M.Burt, J.S.Zielinski, S.D.J.McArthur, Intelligent knowledge based systems in electrical power engineering, Springer Science+Business Media Dordrecht, London, United Kingdom, 1997.
- [9] F. Galović, Distributivna mreža vođena pomoću SCADe –Diplomski rad, 2016.

Parametri modeliranja oborinskog otjecanja sa zelenih urbanih površina

Parameters for Modeling Stormwater Runoff from Green Urban Areas

D. Obradović^{1*}

¹Građevinski fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: dobradovic@qfos.hr

Sažetak

U novije vrijeme svjedoci smo velikih klimatskih promjena. Klimatske promjene imaju velik utjecaj na hidrološki režim u smislu da se javlja višak vode onda kada je ne trebamo (zimski period), a manjak vode kada je trebamo (ljetni period). Sve navedeno dovodi do suša i poplava velikog intenziteta. Također, urbanizacija dovodi do promjena režima otjecanja s urbanih područja. Urbana sredina predstavlja područje koje je nepropusno za prolaz vode što onda dovodi do nemogućnosti procjeđivanja oborinskih voda u dublje slojeve tla, dok se istovremeno intenzitet otjecanja s takve površine povećava. Urbano područje svojim hidrološkim ciklusom transformira čistu vodu u zagađenu vodu s negativnim utjecajem na okoliš i vodne resurse. Urbano otjecanje predstavlja količinu oborine koja otječe (ne infiltrira se) s urbanog područja (ceste, parkirališta, općenito sva popločena i naseljena područja). Na količinu otjecanja s urbanog područja utječe propusnost površine na koju pada oborina (mogućnost infiltracije vode), intenzitet i trajanje oborina. Kako bi smanjili otjecanje i povećali infiltraciju, u urbanim sredinama se koriste zelene infrastrukture. Zelene infrastrukture se sastoje od prirodnih i umjetnih elemenata, poput zona pošumljavanja, zelenih krovova, zelenih gradskih područja i dr. Ovisno o vrsti zelene infrastrukture, njenim dimenzijama i mjestu postavljanja značajno se može utjecati na količinu urbanog otjecanja i kvalitetu vode i urbanog okoliša. U radu se nastoje objasniti osnovni parametri koji utječu na otjecanje, s naglaskom na otjecanje padalina sa zelenih urbanih površina.

Ključne riječi: otjecanje, padaline, parametri, urbana područja

Abstract

Recently, we have witnessed major climate changes. Climate changes have a great influence on the hydrological regime, which is evident in the appearance of the surplus of water when we do not need it (in the winter period) and the lack of water when we do need it (in the summer period). All of this results in high intensity droughts and floods. Also, urbanization leads to changes in the urban stormwater runoff regime. The urban

environment is an area that is impermeable to water infiltration, which then leads to the inability of stormwater to access the deeper layers of the soil, while at the same time the intensity of runoff from such surfaces increases. By its hydrological cycle, the urban area transforms clean water into polluted water, with a negative impact on the environment and the water resources. Urban runoff represents the amount of stormwater that flows off (does not infiltrate) from the urban area (roads, parking lots, generally all paved and populated areas). The amount of runoff from the urban area is affected by the permeability of the surface (the possibility of water infiltration), the intensity, and the duration of precipitation. Green infrastructure is used in urban environments to reduce runoff and increase infiltration. Green infrastructure consists of natural and artificial elements, such as reforestation zones, green roofs, green city areas, etc. Depending on the type of green infrastructure, its dimensions, and the location of its installation, we can significantly affect the amount of urban runoff and the quality of water and the urban environment. This paper will explain the basic parameters that influence the runoff, with an emphasis on stormwater runoff from green urban areas.

Keywords: runoff, stormwater, parameter, urban areas

1. Uvod

Ljudi i biljke ovise o dovoljnim zalihama čiste vode iz puno razloga kao što su proizvodnja hrane i održavanje života uopće [1]. Ljudi svojim djelovanjem imaju velik utjecaj na klimu na Zemlji pa tako i na hidrološki ciklus. Proces urbanizacije mijenja način korištenja zemljišta i na taj način uzrokuje ogromne promjene u okolišu [2, 3], što na kraju dovodi da područja koja su bila propusna (voda se mogla infiltrirati), postaju nepropusna za prolaz vode [4]. Klimatske promjene i sve veća gustoća urbanih područja dovode do učestalijih poplava [5]. Što je stupanj urbanizacije veći, to je veći i postotak izgrađenih, nepropusnih površina [6, 7] te je vidljivo da je količina nepropusnih površina u funkciji gustoće naseljenosti nekog područja [8] stoga se često stupanj urbanizacije mjeri količinom takvih površina. Takva nepropusna područja nepovoljno djeluju na okoliš grada i društvo u cjelini. Kad je propusnost tla manja ili su posrijedi površine poput prometnica, smanjena je mogućnost tokova vode koji lakše i brže odnose otpadne tvari s površine tla [9]. Ukupna količina onečišćenja u oborinskom otjecanju ovisi o početnoj količini onečišćenja površine na koju oborina pada i prethodnoj duljini sušnog perioda bez oborina [10].

Pojave negativnih posljedica porastom popločenih, nepropusnih površina i smanjenje zelenih površina, a time i promjena ekosustava, te štete uzrokovane tim promjenama, sve veće ekonomske potrebe za saniranjem takvih stanja uzrokuju značajne promjene i na život u urbanim sredinama [11]. Urbana sredina svojim hidrološkim/vodnim ciklusom vode najbolje kakvoće transformira u zagađene vode s negativnim utjecajem na okoliš i vodne resurse [12]. Što je neki grad veći i što se brže širi, promjene hidrološkog režima su veće, pritisci na okoliš i druge resurse veći, a time i potencijalna opasnost za čovjeka i okoliš [13]. Općenito, urbanizacija, mijenja hidrološki ciklus na način da povećava količinu otjecanja oborinskih voda i intenzitet oborinskog otjecanja jer je spriječena infiltracija vode



u dublje slojeve tla [14]. Iz prethodno navedenih razloga, upravljanje količinom i kvalitetom oborinskog otjecanja u urbanim područjima je složen ekološki problem koji je od velike važnosti [15]. Kako bi utjecali na količinu i kvalitetu oborinskog otjecanja u urbanim područjima, izvode se zelene infrastrukture. Zelene infrastrukture imaju za cilj poboljšati održivost i poboljšati način života u urbanim sredinama. Pokušaji da se gradovi učine zelenijim, održivim, kroz uporabu zelene infrastrukture čine urbanu hidrologiju složenijom. Zbog toga, stare općeprihvaćene pretpostavke koje su se koristile u modeliranju otjecanja moraju ponovno biti proučene te je potrebno dati više pažnje oborinskom otjecanju s takvih površina [16].

2. Zelene urbane površine – zelena infrastruktura

Klasične zelene površine u gradskim sredinama uobičajeno imaju nisku ekološku vrijednost u optici biološke raznolikosti. One se uobičajeno uređuju travnjakom i sezonskim cvijećem i ponekad sa stablašicama. Za razliku od njih, krajobrazne prostorne strukture u zelenim sustavima odvodnje, vegetacija ima važnu ulogu u upijanju vode i evapotranspiraciji, gdje nije dovoljan samo travnjak već se koriste razne ukrasne trave, trajnice, grmovi i stablašice [11].

Ekološke i društvene prednosti zelenih urbanih površina su poznate već otprije, budući da one imaju puno prednosti, a jedna od njih je da imaju važnu ulogu u kontroli oborinskog otjecanja [17]. Zelene urbane površine mogu biti u obliku zelene infrastrukture. Zelena infrastruktura pojam je koji se sve više rabi u literaturi. Njegova sve češća primjena vezana je i za stratešku politiku Europske unije kao dio razvoja strategije biološke raznolikosti, pri čemu je glavni cilj stvaranje, tj. zaštita mreže visokovrijednih zelenih prostora izvan i unutar naselja [18].



Slika 1. i 2. Primjeri zelene infrastrukture – bioretencijsko područje i močvara [19]

Ono što urbana zelena infrastruktura obuhvaća u gradu su javni parkovi i ostali zeleni prostori, zeleni krovovi, zeleni zidovi, drvoredi, avenije, urbane šume, tereni za golf, urbani vrtovi, urbane močvare, biofiltri i kišni vrtovi, zelena groblja, zeleni putovi, zeleni koridori i dr. [18, 20]. Zelena infrastruktura opisuje sve elemente međusobne mreže zelenih površina koje čuvaju vrijednosti prirodnih ekosustava i funkcije, te pružaju dodatne prednosti ljudskoj populaciji. Sastoji se od prirodnih i ljudskom rukom napravljenih

elemenata, poput zona pošumljavanja, zelenih mostova, zelenih gradskih područja, zelenih krovova i zelenih zidova, visokih prirodnih vrijednost poljoprivrednog zemljišta ili šumskih područja, što osigurava učinkovito i održivo korištenje zemljišta integrirajući interakcijske funkcije ili aktivnosti na istom komadu zemlje. Ona podržava gospodarstvo i društvo te čini značajan doprinos prirodnim ublažavanju i prilagodbi klimatskim promjenama [21]. Zelena infrastruktura može ublažiti lokalne urbane poplave [22] i njezinom upotrebom doprinosimo održivosti naselja.

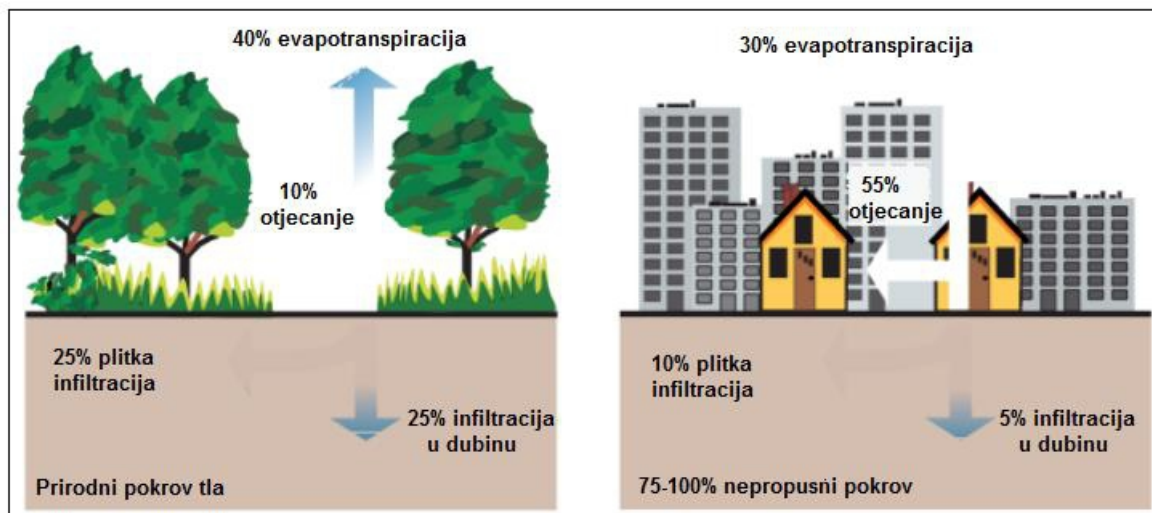
3. Proces oborinskog otjecanja

3.1. Oborine

Oborina ili padalina je tekući ili čvrsti proizvod kondenzacije vodene pare koji pada iz oblaka ili se iz zraka taloži na tlo [23, 24]. Prema tome, oborina je talog vode iz atmosfere koji se pojavljuje na površini Zemlje [25]. Oborine su uvjetno čiste vode, a onečišćene su još u atmosferi kada na sebe apsorbiraju u zraku raspršena onečišćenja. Daljnje značajno onečišćenje oborinskih voda nastaje otapanjem i pronosom površinskih onečišćenja na slivu. Oborine su vrlo promjenjive i po količini i periodičnosti [7].

3.2. Oborinsko otjecanje u urbanoj sredini

Odvodnja u urbanim sredinama postaje sve složeniji i zahtjevniji zadatak. Izgradnjom i uređenjem urbanih sredina mijenjaju se uvjeti tečenja i kvaliteta površinskih oborinskih voda. Zbog izgrađenosti (nepropusnosti) urbanih područja koeficijenti otjecanja su vrlo visoki, kao i brzina otjecanja, tako da se u kratkom vremenu prikupljaju velike količine oborinskih voda [7].



Slika 3. Odnos između propusnosti površine i površinskog otjecanja [22]

Slika 3. prikazuje odnos između propusnosti površine i površinskog otjecanja. Kod površine koja ima prirodni pokrov (travu, grmlje, drveće, općenito propusne površine) 50% oborine se infiltrira, a samo 10% otječe, dok kod slabo ili potpuno nepropusne površine udio infiltracije iznosi samo 15%, a otjecanje je znatno povećano i iznosi 55% količine oborine.

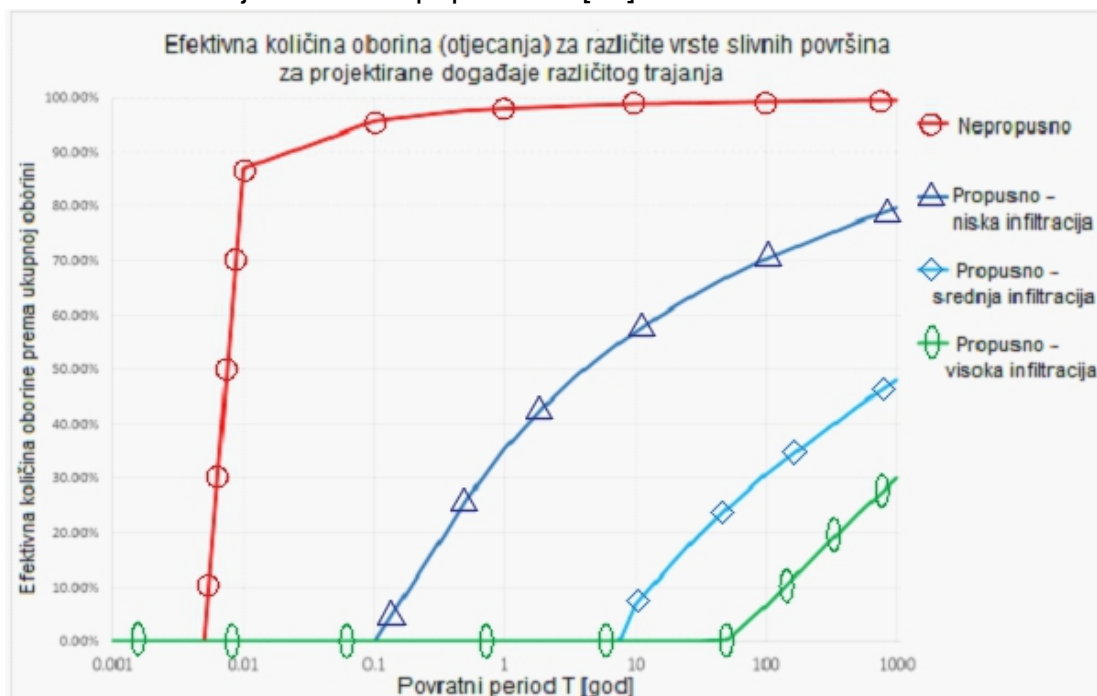
4. Modeliranje otjecanja

4.1. Općenito o modeliranju

Modeliranje u hidrotehnici je mlada znanstvena disciplina čiji je razvoj započeo 60-ih godina, a zasnovano je na načelima hidromehanike, hidrologije, ekonomije i teorije sustava, a opća načela na kojima se temelji je da razvoj i testiranje provode specijalizirane organizacije, a kvalificirani korisnici primjenjuju i dopunjuju te programe povratnom informacijom i ukazivanjem na probleme praktične primjene. Modeliranje se u hidrotehnici koristi pri projektiranju, planiranju i upravljanju, odnosno, uvijek kod složenih problema gdje matematički model predstavlja reduciran sustav [26].

4.2. Modeliranje otjecanja sa zelenih površina

Modeliranje otjecanja sa zelenih površina u urbanom slivu je usko povezano s analizom sustava urbane odvodnje i urbanim poplavama [16].



Slika 4. Relativni odnos otjecanja za različite vrste površina kao funkcija količine oborine i povratnog perioda T, za projektirane događaje istog trajanja [16]

Otjecanje s potpuno nepropusnih površina (**crvena linija** na grafu na slici 4) smanjuje se samo zbog početnih gubitaka povezanih s vlagom i površinskom pohranom. Obično su ti gubici ograničeni, što znači da već za vrlo male oborine s kratkim vremenskim intervalima ponavljanja, otjecanje poprima 90% volumena oborina. Porastom povratnog perioda (tj. povećanjem projektirane količine oborina), relativna važnost ovog gubitka je smanjena i otjecanje iznosi 100% za rijetke događaje. Ova situacija, koju karakterizira potpuna nepropusnost promatrane površine, je obično uključena u analizu sustava odvodnje kada je opterećen s projektiranom količinom oborine.

Otjecanje s propusnih površina ovisi o veličini početnog gubitka (pokrivenost vegetacijom i površinske nepravilnosti), početnom sadržaju vlage u tlu i kapacitetu infiltracije tla. Graf na

slici 4 sadrži krivulje odgovora za tri različita tipa površine i tla: niski kapacitet infiltracije bez vegetacijskog pokrova (**tamno plava**), srednji kapacitet infiltracije s normalnom količinom vegetacije (**svijetlo plava**) i visoki kapacitet infiltracije s gustim vegetacijskim pokrovom (**zelena**). Prema grafu, površine različite propusnosti počnu stvarati otjecanje za događaje s različitim povratnim periodima T , u rasponu od 0,1 do 50 godina. Jedan od ekstrema je gola neasfaltirana površina sa zbijenim glinenim tlom koja stvara otjecanje već na manjoj kiši s povratnim razdobljem od 1 mjeseca. S druge strane, pješčana površina prekrivena gustom vegetacijom (visoka stabla s gustim grmljem) započela bi stvaranje površinskog otjecanja za kišu s povratnim periodom od 50 godina ili čak i više.

Između te dvije krajnosti nalaze se stvarne urbane propusne površine - parkovi, vrtovi i sl. koji će stvoriti značajnu količinu površinskog otjecanja u uvjetima oborina i dosta unutar raspona uključenog u analizu urbanih poplava, tj. povratnih perioda između jedne i 1000 godina. Međutim, ovo otjecanje mora biti uključeno u modeliranje analiza poplava, iako se obično ne uključuje u uobičajene projektne događaje urbane oborinske odvodnje. To je osobito važno za slivove koji sadrže značajne dijelove zelenih površina [16]. Različiti kišni događaji - projektni ili povijesni - rezultiraju različitim količinama otjecanja i različitom dinamikom otjecanja. Odabir odgovarajuće oborine za analizu, u smislu vršnog intenziteta, trajanja, ukupne količine i vremenske varijacije, je prvi važan zadatak u procesu modeliranja. Ovaj izbor postaje složeniji kada se u model uključi otjecanje sa zelenih površina [16]. Rezultat proračuna otjecanja površinskih oborinskih voda su uobičajeno intenziteti oborina iskazani kroz ITP krivulje različitih povratnih perioda [7].

4.3. Parametri modeliranja

4.3.1. Propusnost površine

Određivanje propusnosti je bitno jer su rezultati mnogo modela za proračun oborinskog otjecanja osjetljivi na vrijednost propusnosti površine [4]. Količina otjecanja ovisi o propusnosti površine na koju oborina pada. Što je propusnost veća to će manji dio oborine otjecati i obrnuto. Također, voda s nepropusne glatke površine otječe puno brže, nego s prirodne, hrapave, propusne površine [3] te je vrijeme koncentracije, odnosno vrijeme zakašnjenja veće, povećan je vršni dotok i volumen otjecanja [27].

Općenito, kod kiše kratkog trajanja, otjecanje se stvara samo s nepropusnih površina jer se kiša koja pada na propusnu površinu infiltrira i ne stvara otjecanje. Međutim, za vrijeme dugotrajne kiše, propusne površine također doprinose otjecanju, uz dodatno otjecanje s nepropusnih površina [28]. Početna procjena nepropusnosti se obično određuje pomoću GIS podataka o analizi korištenja zemljišta, odnosno pokrova tla [29].

Metoda za proračun infiltracije ima nekoliko, i to su:

- Infiltracija kao dio početnog gubitka,
- Infiltracija kao konstantni gubitak,
- Infiltracija kao proporcionalni gubitak [16],
- Metoda SCS (Soil Conservation Service),
- Metoda Green-Ampt,
- Hortonova jednadžba [11, 16].



Prve tri metode nisu namijenjene posebno za infiltraciju, ali se naveliko koriste kao (grube) aproksimacije procesa infiltracije zbog povijesnog razvoja. Te se metode mogu upotrijebiti u nekim od MIKE URBAN modela oborinskog otjecanja [16].

Metoda SCS je razvijena od strane američkog Ministarstva za poljoprivredu u okviru Službe za očuvanje zemljišta. Bazira se na pretpostavci da su efektivne padaline (tj. sloj direktnog otjecanja P_e) uvijek manje ili jednake ukupnoj visini padalina P . Također, nakon početka otjecanja vode, dodatna količina vode zadržana u slivu F (dominantna je infiltracija), je manja ili jednaka nekom maksimalnom retencijskom kapacitetu tla [11].

Metoda Green-Ampt se zasniva na proračunu intenziteta upijanja (infiltracije) tla pod pretpostavkama da će se tijekom procesa formirati strmi vlažni front i da se proces odvija u polubeskonačnoj sredini.

Jedna od najstarijih i najviše upotrebljivanih jednadžbi za proračun infiltracije je Hortonova jednadžba [30]. Hortonovom jednadžbom proračun infiltracijskog kapaciteta zemljišta definira se na sljedeći način:

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c) * e^{-k*t}$$

Gdje su : f_p = infiltracijski kapacitet zemljišta, f_c = minimalna vrijednost infiltracijskog kapaciteta, f_0 = početna (maksimalna) vrijednost infiltracijskog kapaciteta, t = vrijeme od početka padalina i k = koeficijent oblika Hortonove krivulje [11, 16, 30].

Tablica 1. Vrijednosti parametara u Hortonovoj jednadžbi za neke vrste tla [16, 30]

Vrsta tla	f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	k (1/min)
Suhi pijesak	127	7,6-11,4	0,069
Pjeskovita ilovača	76,2	3,8-7,6	0,069
Ilovača	51	1,3-3,8	0,069
Glina	18	0-1,3	0,069

4.3.2. Intenzitet oborine

Intenzitet oborine (i) definira se kao omjer visine oborine (P) izražene najčešće u mm i intervala vremena (t) izraženog najčešće u min u kojem je ta ista oborina pala, što je prikazano sljedećom jednadžbom: $i=P/t$. Jedinica intenziteta oborine najčešće je izražena u mm/min. Što je vremensko trajanje za istu količinu oborine kraće, intenzitet oborine će biti veći. Pri tome treba ostati poštovan princip da ukupna količina palih oborina s produljivanjem vremena raste [25]. Za inženjersku praksu, od interesa su oborine jakog intenziteta, koje obično izazivaju poplave i zasićenja kanalskih kolektora namijenjenih odvodnji oborinskih voda [31].

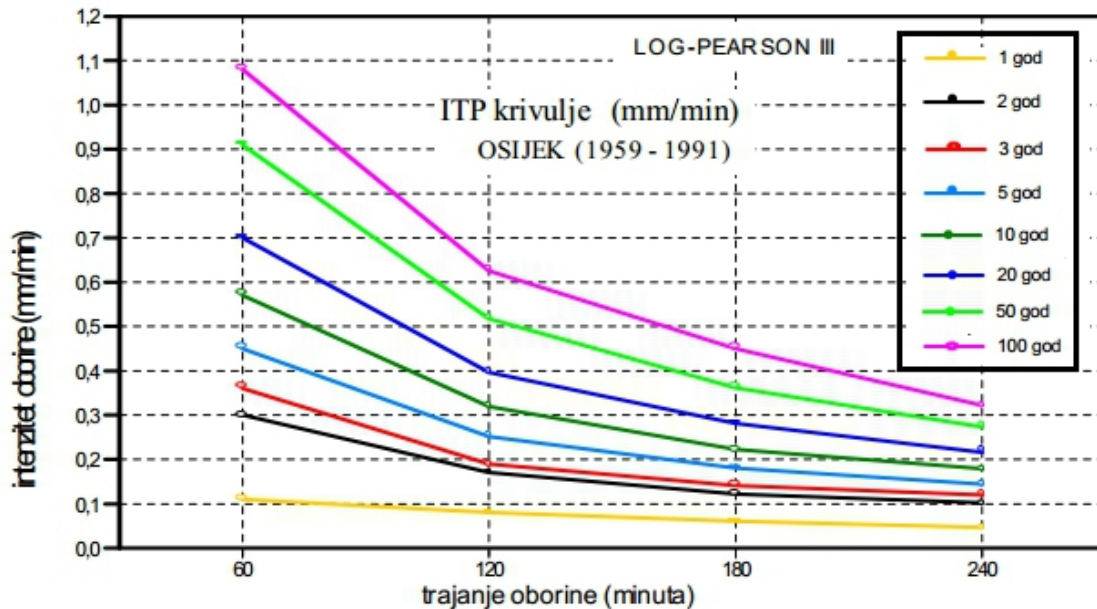
4.3.3. Trajanje oborine

Trajanje oborina je razdoblje početka i kraja padanja oborina, sveukupnih i onih koje prelaze određeni prag [32].

4.4. ITP krivulje

ITP krivulja (intenzitet oborine - trajanje oborine - ponavljanje oborine) je krivulja koja prikazuje vjerojatnost pojavljivanja različitih kratkotrajnih intenziteta oborine za različita

trajanja oborina na danoj lokaciji. ITP krivulje predstavljaju familiju krivulja u kojoj svaka krivulja ima odgovarajuće povratno razdoblje, na apscisi je trajanje kiše (redovito je skala od 5 min do 24 sata), a na ordinati intenzitet kiše. Zbog dimenzija trajanja i intenziteta kiše pri crtanju ITP krivulja za osi koordinatnog sustava pogodno je koristiti logaritamsko mjerilo [23, 24].



Slika 5. Primjer ITP krivulja za Osijek - trajanja kiše 60 do 240 minuta [33]

5. Zaključak

Klimatske promjene su vidljive u svakodnevnom životu. Poplave i suše su sve češće. Kako bi umanjili utjecaj klimatskih promjena i išli putem održivog razvoja, o kojem se govori u svim područjima života, trebamo u gradu imati što više zelenih urbanih površina, odnosno graditi zelene infrastrukture. Zelene urbane površine poboljšavaju kvalitetu života i također, što je jako važno, smanjuju količinu oborinskog otjecanja, tako sprječavajući urbane poplave.

Međutim, zelene površine dosta otežavaju postupak proračuna količine oborinskog otjecanja jer otjecanje ovisi i o propusnosti površine, a one su propusne. Ta propusnost, naravno ovisi o vrsti biljnog pokrivača, te je važno voditi brigu o tome. Vidjeli smo da se otjecanje s propusne površine ne smije zanemariti, posebno u slučaju dugotrajne kiše. Osnovni parametri koji utječu na otjecanje su propusnost površine, intenzitet i trajanje oborina. Parametar koji je najteže odrediti je propusnost površine, odnosno mogućnost infiltracije jer ovisi o vrsti tla, o biljnom pokrivaču i izgrađenosti površine (količini propusnih i nepropusnih površina). Jednadžba za određivanje infiltracije koja je u najširoj primjeni je Hortonova jednadžba. Poznavanje ITP krivulja je važno kod dimenzioniranja objekata odvodnje.

6. Literatura

[1] Virginia Cooperative Extension. Virginia Tech, Virginia State University. Decreasing Runoff and Increasing Infiltration, Publication 426-046, 2015.

-
- [2] Fleischmann, Marie Corinna. Evaluating Management Strategies for Urban Stormwater Runoff. Doctoral Disertations. 620. University of Connecticut, 2014.
- [3] Jacobson, R. Carol. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review // *Journal of Environmental Management*, 92 (2011), 6; 1438-1448. (ISSN 0301-4797)
- [4] Alley, W. William; Veenhuis, E. Jack. Effective impervious area in urban runoff modeling // *Journal of Hydraulic Engineering*, 109 (1983), 2; 313-319. (ISSN 0733-9429)
- [5] Blanksby, J; Kluck, J; Boogaard, F. C; Simpson, S; Shepherd, W; Doncaster, S. Modelling and mapping storm water flooding – Using simple approaches in a process of Triage, 2011.
- [6] Hilten, Norris Roger; Lawrence, Mark Thomas; Tollner, William Earnest. Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D // *Journal of Hydrology*, (2008), 358; 288-293. (ISSN 0022-1694)
- [7] Babić, Sergije; Ožanić, Nevenka. Proračun oborinske odvodnje u urbanim područjima - Retencijska metoda // *Zbornik radova Sveučilišta u Rijeci / Ožanić, Nevenka (gl. ur.)*. (ISBN 987-953-6953-14-1). Knjiga XI, Rijeka, 2008. s. 9-29.
- [8] Lee, Gwang Joong; Heaney, P. James. Estimation of Urban Imperviousness and its Impacts on Storm Water Systems // *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129 (2003), 5; 419-426. (ISSN 0733-9496)
- [9] Margeta, Jure; Fistanić, Ivana; Šarić, Marija. Procjena zagađenja od oborinskih voda u krškim područjima // *Građevinar*, 54 (2002), 5; 265-274. (ISSN 1330-3651)
- [10] Avelleneda, Pedro; Ballester, P. Thomas; Roseen, M. Robert; Houle, J. James. On Parameter Estimation of Urban Storm-Water Runoff Model // *Journal of Environmental Engineering*, 135 (2009), 8; 595-608. (ISSN 0733-9372)
- [11] Starum d.o.o. u suradnji sa Studio za krajobraznu arhitekturu, prostorno planiranje, okoliš, d.o.o., voditelj: Tatjana Uzelac. Idejni koncept oborinske odvodnje grada Pule. Pula, 2011.
- [12] Rozić, Željko; Margeta, Jure; Knezić, Snježana. Modeliranje urbanog vodnog sustava // *Građevinar*, 59 (2007), 2; 93-102. (ISSN 1330-3651)
- [13] Margeta, Jure. Promjene u svijetu i gospodarenje urbanim vodnim sustavom // *Građevinar*, 63 (2011), 12; 1069-1077. (ISSN 1333-9095)
- [14] Han, Suk Woo; Burian, J. Steven. Determining Effective Impervious Area for Urban Hydrologic Modeling // *Journal of Hydrologic Engineering*, 14 (2009), 2; 111-120. (ISSN 1084-0699)
- [15] Choi, Kyung-sook; Ball, E. James. Parameter estimation for urban runoff modelling // *Urban Water*, 4 (2002), 1; 31-41. (ISSN 1462-0758)
- [16] DHI. Danish Hydraulic Institute. Storm Water Runoff from Green Urban Areas. Modellers' Guideline. Report, 2015.
- [17] Irvine, Kim. N; Chua, H. C. Lloyd. Modeling Stormwater Runoff from an Urban Park, Singapore Using PCSWMM // *Journal of Water Management Modeling*, (2016), 1-8. (ISSN 2292-6062)
-

- [18] Hrdalo, Ines. Regeneracija grada zelenom urbanom infrastrukturom // *Zbornik radova Strategije urbane regeneracije* / Korlaet, Ariana (ur.). (ISBN 978-953-59089-1-3). Zagreb, Hrvatski zavod za prostorni razvoj, 2016. s. 116-123.
- [19] Graham, Andi; Day, John; Bray, Bob; Mackenzie, Sally. Sustainable drainage systems, Maximising the potential for people and wildlife. A guide for local authorities and developers. 2012.
- [20] Foster, Josh; Lowe, Ashley; Winkelman, Steve. The value of green infrastructure for urban climate adaptation. The Center for Clean Air Policy. Washington D.C., 2011.
- [21] Čosić - Flajsig, Gorana. Zelena infrastruktura u Europskoj uniji i izazovi/mogućnosti primjene u Hrvatskoj
- [22] Copeland, Claudia. Green Infrastructure and Issues in Managing Urban Stormwater. Congressional Research Service, 2016.
- [23] Žugaj, Ranko. Hidrologija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2000. (ISBN 953-96303-7-1)
- [24] Žugaj, Ranko. Hidrologija za agroekologe. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet Zagreb, Zagreb, 2009.
- [25] Bonacci, Ognjen. Oborine glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus. Split, 1994. (ISBN 953-96059-1-1)
- [26] Ištuk, Lucija. Matematički model kanalizacijskog sustava naselja Privlaka. Diplomski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, Osijek, 2016.
- [27] Maharjan, Bharat; Pachel, Karin; Loigu, Enn. Modelling stormwater runoff, quality, and pollutant loads in a large urban catchment // *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 66 (2017), 3; 225-242.
- [28] Siriwardene, Nilmini Rukma. Parameter estimation of urban drainage models. Thesis. School of Arcitectural, Civil and Mechanical Engineering Victoria University, Australia, 2003.
- [29] San Francisco Estuary Institute. GreenPlan Modeling Tool User Guidance. Richmond, dostupno na: <http://greenplanit.sfei.org/sites/default/files/Modeling%20Tool%20User%20Manual.pdf> (23.06.2017.)
- [30] U. S. EPA, United States Environmental Protection Agency. Infiltration Through Disturbed Urban Soils and Compost - Amended Soil Effects on Runoff Quality and Quantity, Research Report, EPA/600/R-00/016, 1999.
- [31] Patrčević, Vladimir; Đurin, Bojan; Kuharić, Ivan. Analiza intenziteta oborina za dimenzioniranje objekata odvodnje oborinskih voda prostora grada Daruvara // *Inženjerstvo okoliša*, 2 (2015), 2; 103-110. (ISSN 1849-4714)
- [32] Goranc, Nina. Izdelava in primerjava ITP krivulj z različno izbiro porazdelitev. Diplomaska naloga št: 186/VKI. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, 2012.
- [33] Krsnik, Hrvoje. Oborinske vode u kanalizacijskom sustavu odvodnje. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin, Varaždin, 2011.

O razvoju tehničkih sustava na primjeru vodne regulacije Pobosuća

Development of technical systems: Pobosuće water regulation

S. Maričić

Građevinski fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska

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

Sažetak

Tehnički sustavi imaju dosta sličnosti, a osnova im je povezivanje prirode i ljudskih potreba. Hidrotehnički sustav čini više vodograđevina uklopljenih u prirodnu sredinu s ciljem upravljanja vodom. Osim prirodnih predispozicija na razvoj takvog sustava utječu i mnoge društvene odrednice.

Vodno reguliranje Pobosuća dobar je primjer za uočavanje razvojnih momenata postignutog, današnjeg hidrotehničkog sustava. Može se zapaziti dosta neobičnosti u njemu: rijeka bez izvora i s čudnim razvojem, zbunjujuće osobine vode i hidrografije te neuobičajena koncepcija vodograđevina u uspostavljenom sustavu. Analiza ovog sustava, u vremenskom kontekstu i raščlanjenjem prisutnih uvjeta, pojašnjava njihov nastanak. Zaključno se konstatira međuodnos i zavisnost razvoja tehničkog sustava i prisutnih, kako prirodnih tako i društvenih, glavnih uvjeta.

Abstract

Technical systems have numerous similarities but their basis is integration of the nature and human needs. Hydrotechnical system is made of several water structures incorporated in the natural environment in order to attain water management. Apart from natural predispositions, social determinants also have impact on development of this system.

Water regulation of Pobosuće is good example of developmental moments of the achieved, current hydrotechnical system. Considerable peculiarities could be observed in it: river without well spring and with odd development, perplexing water and hydrography properties, as well as unusual water structure concept in the system. Analysis of this system, in the time context as well as existing conditions, explains their origin.

In conclusion we can notice interrelation and correlation between the technical system and main present natural and social conditions.

Ključne riječi: tehnički sustav, hidrotehnika, vodna regulacija, Pobosuće

Raspadom rimskog carstva stvara se niz manjih feudalnih posjeda, na kojima se polaže pravo na vodu. Tako na vodotocima ima mnoštvo gospodara, koje nije moguće ujediniti niti silom u održavanju i korištenju voda. To dovodi do propadanja prvobitnih složenih hidrotehničkih sustava i postupnog nestajanja dijela tih građevina. Također, pojava ljudi (seobe) koji nisu imali iskustva s tim složenim sustavima i hidrotehničkim građevinama pogodovala je zaostajanju odnosa prema vodi. U to vrijeme (srednji vijek) u muslimanskom svijetu voda je i dalje imala poseban značaj, o čemu svjedoče i brojni objekti u našim i okolnim krajevima. Današnji hidrotehnički sustavi su višenamjenski i vrlo složeni, a na njihov razvoj odrazili su se brojni prirodni i društveni utjecaji (Najjednostavniji prikaz dosta kompleksnih odnosa donosi slika 1.). Zato ih je prosječnom čovjeku teško razumjeti i opisati jer su specifično dograđivani, a ponekad i netipično. [2, 3]

Na narednom primjeru (hidrotehnički sustav Biđ-Bosutskog polja) pokušat će se ukazati na neke razvojne momente, koji su presudno utjecali na današnje stanje sustava, a slične okolnosti prate razvoj svakog tehničkog sustava.

2. Prirodne osobine Pobosuća

Pobosuće ili Bosutska nizina je geografska cjelina na području Savske ravnice između Slavenskog Broda na zapadu, rijeke Save na jugu, obronaka Dilja i Fruške gore na sjeveru te Sremske Mitrovice na istoku. Okosnicu joj čini interesantna rijeka po kojoj nosi naziv.

Ova nizina sastavljena je od mladih kvartarnih sedimenata među kojima su najraširenije naslage močvarnog i pretaloženog prapora. Na takvoj, uglavnom naplavnoj osnovi, egzogenim modeliranjem stvoren je specifičan reljef. Iako je nizinski (pretežno je to ravničarsko područje s visinama od 85-90 m n.m.), nije monoton (mjestimično se izdvajaju nešto viši predjeli, ali i terenske depresije). Posljedica je to kombiniranog djelovanja vode i vjetra uslijed čega su nastali viši, ocjeditiji i sušiji predjeli, tzv. praporne grede ili terase, dok su uz rijeku Spačvu i na sutoku vodotoka, koji se ujedinjaju u Bosut, oblikovane izrazite terenske depresije. Istočna, Spačvanska udolina je znatno prostranija, pravilnijeg oblika i izraženije niža (77 m), dok je zapadna, Biđska udolina, plića (80 m), zatvorenija i jače raščlanjenog dna. Između ta dva prirodna uleknuća prostire se reljefni, lesni prag koji dostiže i 103 m nadnorske visine. Tla površine iznad 95 m nadmorske visine, čije se vlaženje uglavnom osigurava od oborinske vode, a podzemna voda ne dolazi do aktivnog profila tla, pedološki pripada poljoprivredno kvalitetnim automorfnim tlima. Na ostaloj površini ove regije, dakle značajno, prisutna su hidromorfna tla, na čiji razvoj i procese znatno utječe i dopunsko (prekomjerno, podzemno) vlaženje. [4, 5]

Prirodnu hidrografsku mrežu Posavine pobosuća čine uglavnom plitke i krivudave nizinske rijeke te brdski potoci. Osnovni sakupljač voda Pobosuća je znatno vijugava (s dosta meandara), hirovita i ćudljiva, a ponekad i vrlo opasna, rijeka Sava. Ona se nizvodno, kod Beograda ulijeva u Dunav, glavnu rijeku crnomorskog slijeva. Rijeka Bosut, kao pritoka rijeke Save ima gravitacijsku odvodnju koja dolazi pod usporni utjecaj za vrijeme viših vodostaja rijeke Save. Po povlačenju Panonskog mora Sava sa pritocima dugo je oblikovala ovaj prostor. S njene desne strane bosanske planine doprinosile su tome velikom količinom vode te se smatra da je Bosut nastao iz jedne savske račve, kojoj je

kasnije nanosom rijeke Bosne zatrpan ulazni dio. To objašnjava i neke specifične osobine vodotoka Pobosuća. [5, 6].

Bosut ima neprimjereno veliko korito dubine 5-8 m i širine u razini terena 50-60 m. Dubina vode u njemu varira od 2 do 4 m što ovisi o godišnjem dobu, tj. vlastitim (oborinskim) vodama i utjecaju savskih vodostaja. Duljina korita Bosuta iznosi nešto preko 130 km, a ukupni uzdužni pad mu je nešto preko 10 m pa se radi o rijeci sa ekstremno malim padom (često i oko 0,065 ‰). Tečenje je tako često neprimjetno pa se govori i o povremenoj promjeni smjera toka. [4, 7].

Svojevrsan hidrografski fenomen u obliku izdužene, uglavnom stajaće vode predstavljaju Virovi ili Vjerovi. Za njih je teško ustvrditi što su: vodotok, riječno jezerce ili izdužena bara. Dobrim dijelom godine imaju odlike močvare što dokazuje močvarna vegetacija u priobalnom pojasu. Za vrijeme velikih oborina (u proljeće i jesen) vodostaj im se znatno podigne pa uspostavljaju protočnu vezu s rijekom Spačvom, a preko nje s Bosutom i Savom, ponašajući se kao sporotekuća rječica. Smješteni su južno od naselja Otoka, a sjeverno od Bošnjaka uz okolne šuma iz kojih skupljaju vodu. Dugi su 18,4 km, široki oko 60 m, a dubina im je 2-7 m. [7]

Drugi glavni tok je Biđ, koji se spaja sa Bosutom u onoj višoj zapadnoj depresiji prema kojoj i drugi tokovi radijalno pritječu. Interesantno je da, do spoja, Biđ ima dulje korito i donosi više vode od Bosuta, a ipak je nadalje prihvaćeno ime Bosuta. Ušće Bosuta u Savu nalazi se kraj naselja Bosut u Vojvodini. Rijeka Bosuta prima vode 6-7 pritoka s obje strane. Svi ti vodotoci čine slivno područje veličine oko 2900 km², od čega se nešto preko 80% nalazi u Hrvatskoj dok je preostali dio slivnog područja Biđ-Bosuta u Srbiji. [8]

Pobosuće ima odlike umjereno tople vlažne klime s vrućim ljetima. Potvrđuju to podatci dviju meteoroloških postaja DHMZ-a (razdoblje 1983.-1992. god.). Srednja godišnja temperatura zraka za postaju Vinkovci iznosi 11,5° C, a za Gradište 11,1° C. Najtopliji mjesec je srpanj, dok je siječanj najhladniji mjesec, sa srednjim temperaturama za Vinkovce 21,6° C i 0,3° C, te za Gradište 21,5° i 0,5° C. Vrlo niske zimske temperature (zbog izloženosti prodorima hladnog zraka) pokazuju jak kontinentalni karakter klime ovoga područja, [6]. Utjecaj kontinentalnosti na Biđ-bosutsku nizinu posebno se očituje u količini i rasporedu padalina. Njen jugo-zapadni dio, zbog utjecaja bosanskog planinskog područja te Spačvanskog šumskog bazena, prima godišnje i više od 800 mm padalina, dok krajnji istočni dio prima godišnje znatno manju količinu. Tako godišnja suma oborina u višegodišnjem prosjeku (1971.-2000.) za Vukovarsko-srijemsku županiju (ovdje dominantnu) iznosi gotovo 680 mm. Srednje mjesečne količine padalina imaju dva maksimuma. Prvi se pojavljuje krajem proljeća i početkom ljeta, a drugi u jesen. Takav raspored padalina je povoljan za poljoprivrednu proizvodnju jer u vegetacijskom razdoblju padne preko 50% padalina. Za primijetiti je da su oscilacije u pojedinim godinama znatne. Tako je primjerice 2010. godine na području Županje palo 1165 mm oborine, a 2011. je bila vrlo sušna godina sa svega 393,6 mm oborina u obližnjem Gradištu. [4, 5, 8]

Od nekadašnjeg prirodno močvarnog, livadskog i šumskog (sa prašumama) krajolika danas prevladava poljoprivredno zemljište (oko 60%), a dosta je preostalo i, nekad znatno bogatijeg, šumskog fonda (oko 30%). [8]

Prirodne osobine koje u Pobosuću izazivaju probleme stanovništvu proizlaze iz viška i manjka vode u određenim okolnostima. Intenzivne oborine uzrokuju bujice sa brdskih terena, sporo otjecanje krivudavim koritima s blagim padom ne omogućuju pravovremenu i dostatnu odvodnju, a visoka Sava ugrožava okolne niske površine i onemogućuje otjecanje pritocima. Kod malovodnih perioda ugrožena je poljoprivredna proizvodnja, ali i životni uvjeti u površinskim vodama i njihovom priobalju.

3. Vodograđevine uspostavljenog hidrotehničkog sustava

U daljoj prošlosti Pobosuća vladali su teške uvjete za život ljudi u tadašnjim prašumama i močvarama, s brojnim insektima i pratećim zarazama. Velik broj generacija stanovništva Pobosuća suočavao se s problemima vezanim uz vodu i radio je na njihovom otklanjanju. Rezultat tih nastojanja, čiji obim i intenzitet su varirali u vremenu, je današnji hidrotehnički sustav. Ukratko i pojednostavljeno dat je na slici 2. i može se predstaviti nabrojanjem njegovih osnovnih vodograđevina i njihovih osobina.



Slika 2. Shema hidrotehničkog sustava Pobosuća, [12]

Najdulje se ostavarivao protupoplavni nasip uz lijevu obalu Save, koji se proteže duž cijelog razmatranog područja. Naime, u prirodnom stanju ovaj prostor je bio izložen stalnom poplavnom djelovanju voda rijeke Save. Postupna gradnja sustava zaštite od velikih voda se odvijala isprva kroz lokalnu zaštitu nasipima naseljenih mjesta uz rijeku Savu koja su u kasnijem razdoblju spajana u jedinstven linijski obrambeni sustav cijele nizine. Stalnim održavanjem i dogradnjom postignut je sustav zaštite od 100-godišnjih voda s nadvišenjem od 120 cm. [9, 10]

Nakon prioritetne uspostave obrane od Save započele su aktivnosti na zaštiti od bujičnih poplava uzrokovanih jakim kišama. Kod njih su se formirali veliki vodni valovi u brdskom dijelu sliva, a vrlo mali padovi i krivudavi tokovi u ravničarskom dijelu su uzrokovali površinsko poplavljanje i dugotrajno zadržavanje vode. Tako je došlo do izgradnje

obodnih (lateralnih) kanala. Vode s obronaka Dilj gore preuzima Zapadni lateralni kanal (ZLK), a vode s Fruške gore odstranjuje Istočni obodni kanal (IOK), provodeći ih do Save. Time je ostvarena zaštita od tzv. „vanjskih voda“ ove nizine kao jedan od preduvjeta za intenzivniju poljoprivrednu proizvodnju. [10]

Rezultat provedenih zahvata je promjena vodnog režima - znatno smanjena učestalost i intenzitet plavljenja. No, odvajanjem brdskih voda pridonijelo se problemu deficita vode koja je osnova poljoprivredne proizvodnje. Problem je složeniji jer promjene režima površinskih voda, utječu i na režim podzemnih voda, a velike površine visokovrijednih šuma hrasta lužnjaka tim su procesom postale ugrožene.

Postojeća hidrografska mreže je oslonjena na centralni recipijent i provodnik, koji po dimenzijama ima najizraženije korito, a to je rijeka Bosut. Okosnicu odvodnje u gornjem dijelu sliva predstavlja, regulacijskim radovima nešto prekrojena, rijeka Biđ, duga 57,4 km, koja u zajedničkom toku s Bosutom čine najduži (preko 175 km) lijevi pritok Save. Odvodnja cjelokupnog područje je usmjerena u rijeku Savu.

Po izgradnji lijevoobalnog savskog nasipa, na ušću Bosuta je izveden hidrotehnički čvor (ustava s crpnom stanicom). Gravitacijski tok se odvija, pri nižim vodostajima Save, otvorenom ustavom kapaciteta 120 m³/s, a kada to nije odgovarajuće prelazi se na mehaničku odvodnju, korištenjem blisko locirane crpne stanice kapaciteta 30 m³/s. Jako velika količina vode može se razliti i zadržati u, nešto uzvodnijoj, prirodnoj retenciji, onoj drugoj nižoj depresiji, šumskom spačvansko-studvanskom bazenu (SSB).

Uz postignute pozitivne efekte osjetili su se i negativni vezani uz smanjene dotoke zbog odsijecanja brdskog dijela sliva. Da bi se zadržala potrebna vodna razina i količina vode za potrebe grada Vinkovaca, prvo je izgrađen prag u gradu, a kasnijim osebujnim razvojem sustava došlo se do nasute pregrade izvan grada (koja osigurava potrebno nadvišenje vode u gradu) te svojevrsnog preljevnog praga još nizvodnije. Za smanjenje poplavnog rizika izveden je prespojni rasteretni kanal Bazjaš s preljevnom građevinom na uzvodnom dijelu, kojima se velikoj vodi skraćuje put za oko 25 kilometara. Iako dislociran od brane ovaj objekt predstavlja njezin sigurnosni preljev. Kako je brana izvedena s preljevnim cijevnim propustima, kao takva pospješuje procese eutrofikacije jer je protočnost na dobrom dijelu toka uzvodno od pregrade postala ograničena samo na površinski dio korita. Zato je naknadno izveden još jedan prokop, koji počinje oko 1 km uzvodno od brane, presijeca veliku nizvodnu krivinu i završava sa ustavom manjeg kapaciteta („mala ustava Trbušanci“). Ovim svojevrsnim temeljnim ispustom nastoji se poboljšati stanje kvalitete vode u Bosutu, na dijelu koji prolazi kroz Vinkovce, povremenim povećanjem njegove protočnosti i zahvaćanjem donjih vodnih slojeva. [11, 12]

Ogromna je i hidrografska promjena – od nekadašnjih (prije 200-300 godina) prirodnih vodotoka (ukupne dužine nešto preko 900 km) do današnje guste kanalske mreže (oko 7500 km) s glavnim provodnicima (oko 1300 km). Rezultat je to brojnih hidromelioracijskih i regulacijskih radova tako da se ovo područje kvalificira kao „melioracijski najizgrađenije“ (s najviše objekata) u državi pa i u regiji. [8]

U namjeri da se zadrži viša razina vode uzvodno i poboljša režim podzemnih voda šuma SSB građene su riječne preljevne pregrade (pragovi). Prvo na Virovima te rijeci Spačvi, a

kasnije (2007.) i na samom Bosutu pred granicom sa Srbijom (pregrada Lipovac). Uz ovu posljednju pregradu izgrađen je u lijevom boku i temeljni ispušni sustav. Ona umanjuje ovisnost o upravljanju ispušnim građevinama u Srbiji. Funkcionalno je zamijenila djelovanje pregrade na Spačvi pa je ista uklonjena. [11]

Dogradnjom sustava sve se više utječe na promjenu vodnog režima, a posljednje razdoblje ukazuje na to da je djelovanje čovjeka na ovom prostoru dominantno u njegovu oblikovanju, no i da postoji potreba za daljnjim zahvatima kojima bi se ublažile posljedice prethodnih aktivnosti, a dakako i zadovoljile nove potrebe (prvenstveno za navodnjavanje). Prilikom njihovog rješavanja treba se usuglasiti i s drugim interesnim područjima. Posljednja dogradnja je bila izvedba hidromelioracijskog odvodno-dovodnog kanala Jaruge-Cerna, koji ide, kao i kanal Bazjaš, dijelom trase višenamjenskog kanala Sava-Dunav i spaja Savu sa Bosutom. [11]

4. Okolnosti i hidrotehnički radovi na području

Nastanak današnjeg hidrotehničkog sustava Pobosuća započinje u Austro-Ugarskoj Monarhiji. S obzirom da je carska vlast organizirala i nadzirala hidrotehničke radove u svojim pokrajinama bila je svjesna njihovog gospodarskog značaja. No, zbog posebne teritorijalne organizacije područja, u Slavoniji i Srijemu se nije gotovo ništa poduzimalo. Razlog je podjela na dva dijela: civilno područje, koje su činili Srijemska, Virovitička i Požeška županija te područje Vojne krajine, u kojoj su stvorene tri pukovnije (Petrovaradinska, Brodska i Gradiška). Civilni dio je bio kraljevski posjed pod izravnom upravom Beča, planski je koloniziran, i raspodijeljen magnatima (veleposjednicima), uglavnom Nijemcima. Granična je crta tekla po dužini područja tako da je savski sliv bio u Vojnoj krajini, dakle i cijelo Pobosuće. Prvenstveni zadatak Vojne krajine bio je obrana granice od turskih provala i stvaranje vojnih potencijala za potrebe carskih ratovanja na bojištima Europe. Zbog čestih poplava, pa i sušnih ljeta, često je bilo nerodnih godina, što je prisiljavalo vojnu vlast da pomaže poljoprivredu pa i gradi ambare (spremišta) i iz njih u krizi dijeli žito gladnom stanovništvu. Godine 1873. uslijedilo je ukidanje Vojne krajine, a 1881. njezino priključenje Banskoj Hrvatskoj. [13]

Prvi organizirani radovi su izvođeni za vrijeme Vojne krajine. Brodska pukovnija je već tri godine nakon ustroja pokrenula gradnju nasipa. 1751. sagrađen je veliki nasip što su ga besplatno (kulukom) podigli krajišnici duž rijeke Save od Rušćice do pred Županju. Potom je 1763. naređena gradnja (popravak/povisivanje?) nasipa od Rušćice do Orljaka pri čemu su rad graničara (da se ne ugrađuje drvo u nasip) trebali nadzirali časnici. Iz 1786. je naredba o zatvaranju vodenica čije su brane pridonosile poplavama, ali su bile i izdvojena mjesta zgodna za krijumčare. 1832. je izvršeno spajanje Save i Bosuta kanalom od 3 km sa ustavom što je trebalo omogućiti plovidbu, ali pokazalo se da su pragovi ustave izvedeni previsoko te je porušena, a spoj je neko vrijeme opstao. Sve su to bile sporadične akcije koje su se mogle provesti zbog prisustva specifične vojne uprave i organizacije. [13] Početkom XIX. stoljeća, jezik uprave i školstva u Vojnoj krajini bio je njemački, dok se u ostalim hrvatskim dijelovima koristio latinski i talijanski. Općenito se nametala germanizacija, ali i mađarizacija. Pripadnici hrvatskog plemstva i građanstva stjecali su

visoku naobrazbu u Beču i Pešti te su potpadali pod utjecaj strane kulture. Ipak, buđenjem narodne samosvijesti, 30-tih godina dolazi do tzv. hrvatskog narodnog preporoda, nakon čega hrvatski jezik ulazi u službenu upotrebu. Tada se hrvatska javnost polarizira oko nacionalno-kulturnih pitanja, tj. dolazi do pojave suprotstavljenih političkih stranaka. U tom povijesnom razdoblju dogodio se i niz tehničkih i znanstvenih postignuća: pojava parnog stroja, njegova primjena u raznim proizvodnim granama, izvedba parne lokomotive i razvoj željezničke mreže, izvedba parobroda i gradnja plovnih kanala, proizvodnja čelika i njegova raznovrsna primjena, korištenje električne struje i fosilnih goriva za motore s unutarnjim sagorijevanjem, razvoj telekomunikacija i kemijske industrije, medicine i drugo. Mogu se spomenuti i: veliki financijski slom Austrijske Carevine pred 1860. te jačanje radničkog pokreta, zatim 1873. slom bečke burze i zastoj gospodarstva, ali i pad cijena zemljišta i namirnica što uzrokuje doseljavanje te rast populacije i gradova, a to potiče novi razvoj, 1878. godine zauzimanje Bosne i Hercegovine (gospodarska kolonija Carstva), agrarna kriza u kojoj seljaci gube zemlju te ukidanje Vojne krajine.

Rascjepkanost područja na posjede i kmetska (bez cijene) radna snaga nisu izdizali probleme poljoprivrede s pojedinaca na višu (državnu) razinu. Kasnije, nakon nemira uslijed lošeg uroda i gospodarske krize te ukidanjem feudalnih odnosa (1848.) zemljoposjednici (bivši feudalci) moraju plaćati radnike i nije im svejedno hoće li jednogodišnji trud uništiti poplava. Zato dolazi do organiziranja vodnogospodarskih aktivnosti. Pri tom je bila nužna pomoć države jer su hidrotehnički pothvati nadilazili mogućnosti i najbogatijih pojedinaca. Uvažavajući gospodarske potrebe većine, na državnoj razini se donose zakoni kojima se nastoji uvesti red i u ovo područje. Zakon iz 1853. definira vlasništvo nad vodotocima, a Zakon o vodnom pravu regulira cjelokupne odnose vezane uz vode. Tako je definirano osnivanje vodnih zadruga za obranu od poplave, a financiranje je ostavljeno pojedinačnom interesu.

Do izražaja su došle gospodarske i društvene razlike prouzročene podjelom na civilno i vojno područje. Civilno je imalo dosta veleposjeda i njihovi su vlasnici bili glavni nositelji organiziranja vodnih zadruga. Za razliku od svih drugih, nekadašnje područja Vojne krajine karakterizirao je sitan posjed čiji vlasnici nisu mogli prihvatiti dodatni (vodni) prinos. Tako su probleme plavljenja (gradnje nasipa, iskopa kanala, reguliranje rijeka i njihovo održavanje) na sebe morale preuzeti županije i općine. No, tada prirodne vrijednosti pokazuju svoj značaj. Razvojačenjem je došlo do razdiobe šuma nekadašnjim krajišnicima (kolektivno vlasništvo). Radilo se o velikom šumskom fondu (oko 50% površina je bio pod šumama) bogatom starom hrastovinom velike tržišne cijene. Tada su nastale Brodska imovna općina i Krajiška imovinska zaklada, koje su prodajom šumskih resursa raspolagale velikim svotama novca. Ulagale su ga u gradnju pruga, cesta, ali i u vodoprivredne zahvate. Tako su realizirani brojni radovi: izgradnja nasipa kod Županje (1874.-1884.), kod Mitrovice (1878.-1880.), kod Dubočice i Štitara (1882.-1884.), kod sela Bosut (1887.-1889.); održavanje rijeke Save za plovidbu; uređenje potoka u Srijemu; rekonstrukciju (preloženje) nasipa od Rušćice do Rajevog Sela (1878.-1880.), od Babine Grede do Štitara (1883.), od Županje do Nemojkova (1889.), od Špilje do Topole ((1882.-1886.); iskop kanala za isušivanje bara oko Županje i Bošnjaka; reguliran ja Biđ i Jošava

(1882.-1890.), Kaluđer kanal, skinuti mlinovi kod Šiškovaca, sagrađeni mostovi kod Sredanaca i Divoševaca, iskopan Jelisavetin (Arčanjski) kanal (1889.), na ušću Bosuta sagrađena je ustava; popravak nasipa od Račinovaca do Jamene (1891.), od Babine Grede do Klakara, pojačavanje nasipa između Poljanaca i Novigrada, između Županje i Orašja (1892.); gradnja nasipa između Broda i Županje (1894.), popravak nasipa kod Račinovaca (1896.); održavanje savskog nasipa Brod-Jaruge (1909.); kopanje odvodnog kanala iz Fabričkog gaja (1889.), kopanje i čišćenje kanala u općinama Otok, Račinovci, Laze, Novi Jankovci, Mirkovci i Cerna (1890.), pa kopanje kanala u općinama Drenovci i Vrbanja (1904.); Beravci (1905.), Gornja Bebrina i Gundinci (1906.), Štitar (1907.). Na slivnom području Biđa i Bosuta do 1926. godine iskopano je 640 km melioracijskih kanala za odvodnju suvišnih voda s poljoprivrednih i ostalih površina. [13]

Početak XX. stoljeća županijska i kotarska vlast je nastojala da se ustroji zadruga, ali u tome nije uspijevala zbog još uvijek velikog otpora seljaka. U novoj državi (Kraljevina Jugoslavija) nakon 1918. godine i dalje je vrijedio austrougarski Zakon o vodama iz 1891. godine. Desetak godina pripremano je osnivanje vodne zadruge koja je osnovana u Šidu, 7. rujna 1924. kao „Vodna zadruga za obranu od poplava Save i za isušenje bosutskog područja“, sa sjedištem u Vinkovcima. Od 1926. nazivu se domeće, a kasnije koristi kao jedini naziv „Vodna zadruga Gunja – Mitrovica“, što se neznatno mijenja 1928. (... Županja – Mitrovica). Jedini prihod Zadruge je vodni doprinos, a najveći nositelji novčanih obveza su imovne općine (Brodsko i Petrovaradinska) te Uprava državnih šuma, a njihove odluke je odobravalo Ministarstvo šuma (državna vlast). Preko financiranja moglo se utjecati na rad Zadruge što je iskoristila politika i spletkari te su hidrotehnička struka i korisnici (vlasnici zemlje) imali probleme. Utjecalo se na kadroviranje Zadruge, da bi 1928. započeli i stručni poslovi. Radilo se na zadružnom katastru, a do kraja godine izrađeno je 9 km nasipa kod Županje i 5 km prema Mitrovici. Nešto poslije osnivačke skupštine za bosutsko područje zbio se pokušaj osnivanja zadruge za biđsko područje, u Vrpolju 25. veljače 1926. godine. Državne strukture su nastojale ujediniti ova dva područja jer su i prirodna cjelina pa tada nisu potvrdile osnivanje. 1929. ističe se problem Biđ polja i mišljenje Upravnog odbora vinkovačke vodne zajednice da se trebaju spojiti. Istovremeno se provode ozbiljne vodograđevne aktivnosti: izgrađeni su nasipi kod Rajevog Sela 14 km, izvođena su povišenja nasipa kod Gunje 14 km, Mitrovice – 3 km; korišteni su bageri - jedan na potezu od Županje do Bošnjaka, dva kod Račinovaca i Bošnjaka, četiri kod Mitrovice (kupljeni u Americi, prvi u Europi sa 2 i 3 vagoneta i traktorom za prijevoz iskopane zemlje, vrši i nabijanje zemlje); djelomično je iskopan kanal Istočna Berava, kanalizirana je Zob bara, zasijava se trava po nasipima; izvlašćuju se zemljišta za savski nasip, kompletira se dokumentacija i izrađuju projekti kanalizacijske mreže i crpnih stanica. Centralna vlast je ipak uspjela udružiti dva područja i na skupštini 5. listopada 1930. (18. ožujka) u Vinkovcima je osnovana „Biđ-bosutska vodna zadruga“. [13, 14]

Do 1934. bilo je izgrađeno 70 km novog obrambenog savskog nasipa te je rekonstruirano 33 km nasipa od Gunje do Županje; od 1932.-1935. godine radilo se na pojačanju nasipa od S. Šamca do Županje (25 km), izgrađen je nasip s novom ustavom na ušću Bosuta u Savu; do 1935. izgrađene su crpne stanice Bosut, Lipac, Teča, Konjuša i Kupina,

kapaciteta 21,93 m³/s (CS Bosut od 12,5 m³/s je uništena u ratu 1944.). Izgradnjom novog dijela nasipa te ustave i crpne stanice na ušću Bosuta u Savu, ali i rekonstrukcijom, odnosno dogradnjom, spomenutih dionica savskog nasipa, Biđ-bosutska vodna zadruga je uglavnom riješila problem obrane od poplavnih voda rijeke Save. Radovi su financirani iz sredstava vodnog doprinosa, kredita i plaćanja unaprijed vodnog doprinosa Brodske imovne općine kao najvećeg vlasnika šumskih površina na slivu. I dalje je ostao problem odvodnje suvišnih voda s brdskog dijela sliva Biđa, padina Dilj gore. Radi rješenja zaštite od brdskih poplavnih voda, još 1931. godine, izrađena je prva osnova lateralnog (obodnog) kanala Biđ polja, čija trasa presijeca brdske pritoke Biđa (Beravac, Breznu, Breznicu, Duboki, Gordon, Kaznicu i Svržnicu). Takav kanal omogućuje gravitacijsku odvodnju bujičnih brdskih voda direktno u Savu, bitno rasterećujući nizinske vodotoke slivnog područja Biđa i Bosuta.

Privreda tzv. prve Jugoslavije bazirala se na poljoprivrednoj proizvodnji (90%) te se pratilo stanje u ovom dijelu Posavine. Do 1934. izgrađena je i detaljna kanalska mreža za odvodnju 36 000 ha nizinskih poljoprivrednih zemljišta. U nastavku do 1946. godine vršena je dogradnja postojećih i izgradnja novih melioracijskih kanala za odvodnju 62 000 ha poljoprivrednih, ali i ostalih zemljišta (pod naseljima, prometnicama). Tada se melioracijskim kanalima obavljala odvodnja sa 74 % oraničnih površina sliva Biđa i Bosuta. Nakon završetka Drugog svjetskog rata i nastanka nove Jugoslavije, 1946. godine, za slivnu površinu Biđa i Bosuta na području NR Hrvatske osnovana je *Biđ-bosutska vodna zajednica* sa sjedištem u Vinkovcima, a na području SAP Vojvodine *Bosutska vodna zajednica* sa sjedištem u Sremskoj Mitrovici. Godine 1948. dio poslova preuzelo je hidrograđevinsko poduzeće Jelas iz Sl. Broda. Naravno, prvi zadatci su bili obnova ratom oštećenih i nedovoljno održavanih zaštitnih i odvodnih objekata na slivnom području, a sve se odvijalo u strogim državno planskim okvirima. 1952. godine donesena je Opća uredba o vodnim zajednicama, koju je donijela Savezna vlada, a ubrzo je uslijedilo osnivanje *Vodne zajednice Biđ-Bosut*, sa sjedištem u Vinkovcima. [14]

Za višenamjensko reguliranje vodnog režima u Bosutu te dijelu njegovih pritoka posebno značenje imala je izgradnja betonske brane (tzv. Nove brane) na 80,5 rkm, koja je završena 1953. godine. U sklopu brane su izvedeni: ustava s tri zapornice i dva slobodna bočna preljeva. Objektom je bilo moguće akumulirati 9,6 milijuna m³ vode na uzvodnom dijelu, što je od velikog hidrološkog, ekološkog, urbanog i komunalnog značaja za gravitirajuća naselja. Ovisno o raspoloživim financijskim sredstvima, regulirane su pojedine dionice glavnih vodotoka.

Od 1954. godine nastavljeni su radovi na lateralnom kanalu Biđ polja, koji je dužine 31 km i maksimalnog protoka 117 m³/s, a odvodnjava 427 km² slivne površine. Radovi su provedeni vlastitim sredstvima VZ Biđ - Bosut, Fonda vlade NR Hrvatske i kreditima, a završeni su 1959. godine.

Nakon stradavanja u ratu, izgrađena je nova crpna stanica Bosut. Projektirana je na 30 m³/s, no 1960. ugrađena su četiri agregata po 5,0 m³/s, odnosno ukupno 20,0 m³/s. Preostala dva agregata ugrađena su 1974. godine tako da je kapacitet crpne stanice Bosut ukupno 30,0 m³/s, a ukupna snaga 1800 kW. [15]

1965. godine donesen je *Zakona o vodnom pravu* - prvi cjelovit zakon kojim se pravno uređuje područje voda i vodnoga gospodarstva nakon onog iz 1891. godine. Iste godine donesen je *Zakon o vodama SR Hrvatske*, temeljem kojega je 1967. godine donesena Odluka o utvrđivanju vodnih područja. Za svako vodno područje osniva se opće vodoprivredno poduzeće, koje je odgovorno za održavanje režima voda i organizator je svih radova građenja i održavanja vodnih sustava, što se financiraju sredstvima na republičkoj razini. Vodne zadruge pretvaraju se u vodne zajednice, koje dobivaju status poduzeća i osnivaju se za pojedina melioracijska područja.

Zakonom o vodama iz 1974. godine osnivaju se samoupravne vodoprivredne interesne zajednice (SVIZ) koje su nositelji poslova planiranja i financiranja u vodnom gospodarstvu. Prema promjenama zakonskih okvira od 1975. uskladila se organizacija ovdašnje vodne zajednice. Za izvršavanje zadataka utvrđenih programom i planovima, tadašnja Vodna zajednica (SVIZ-a Biđ-Bosut) osigurala je sredstva za financiranje radova iz naknade za odvodnjavanje, uređenje manjih vodotoka, zaštitu zemljišta od erozije i uređenje manjih bujica, koju su plaćali svi vlasnici odnosno korisnici zemljišta na području sliva. [15]

Temeljni iznos naknade određivao se na osnovi novčanog ekvivalenta za 100 kg pšenice po hektaru poljoprivrednog zemljišta. Za šumska zemljišta plaćala se četvrtina tog iznosa, dok je za građevinsko zemljište i za zemljište pod prometnicama, uključujući i željeznicu, naknada bila deseterostruko veća. Društveni sektor je u prvom srednjoročnom razdoblju (1976.-1980.) izvršavao svoje obveze u 100% - tnom, dok se kod privatnog sektora naknada naplaćivala u 96% - tnom iznosu u odnosu na razrezanu. Zamjetan je velik porast naknade u novčanom obliku, a gotovo nikakav ako se promatra naturalno (tablica 1.).

Tablica 1. Financijski iskaz za prvo 5-godišnje razdoblje, [15]

Opis	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.
Naknada u 000 din.	48,951	56,195	60,758	70,148	84,904
Cijena 100 kg pšenice	250	260	270	300	440
Naknada u t pšenice	19,580	21,613	22,503	23,382	19,296

Uočavajući raskorak između potreba i realnih mogućnosti financiranja radova iz naknade temeljene na 100 kg/ha pšenice, Skupština SVIZ-a Biđ-Bosut je, za srednjoročno razdoblje 1986.-1990. godina, usvojila plaćanje naknade bazirano na novčanom ekvivalentu za 150 kg pšenice po hektaru poljoprivrednog zemljišta. Iz tablice 2. vidljiv je poguban utjecaj inflacije na vrijednost vodoprivredne naknade. To najbolje ilustrira odnos cijena pšenice žetva-sjetva tijekom poslovne godine. Vrijednost ubrane naknade je od 70-75% pala na 50-55% u odnosu na razrezanu. Uglavnom se u tim relacijama kretala i realizacija predviđenih radova. Uz to vidljivo je da je unatoč nominalnom povećanju naknade (sa 100 na 150 kg/ ha pšenice), došlo do opadanja ukupne naknade izražene u tonama pšenice.



Tablica 2. Financijski iskaz za godine nakon prvog 5-godišnjeg razdoblja, [15]

Opis	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.	1988.
Naknada 000 din	139,913	198,486	256,166	392,720	587,875	1,345,022	2,815,870	5,633,282
Cijena 100 kg pšenice kod razreza	600	920	1,200	1,600	2,900	4,600	8,500	18,480
Cijena 100 kg pšenice kod uplate	820	1,260	1,580	2,330	3,900	7,040	15,800	38,500
Odnos cijena sjetva/žetva	70	73	76	69	74	65	54	48
Naknada t pšenice kod razreza	23,318	21,574	21,340	24,545	20,271	29,239	33,128	30,483
Naknada t pšenice kod uplate	16,269	15,753	16,213	16,855	15,074	19,105	17,822	14,632

Nepovoljno stanje se i nadalje zadržalo, a u 1991. i 1992. godini poduzeće radi u ratnim uvjetima. Tada je slivno područje bilo izloženo razaranjima, velik dio radnika i strojeva je mobiliziran, a dio područja okupiran, što se vrlo negativno odrazilo na poslovanje u narednim godinama.

Iz tablice 3. vidljivo je da naplativost slivne vodne naknade na prijelazu stoljeća bila izrazito niska. To je osobito izraženo kod privatnog sektora. Uspoređujući podatke za prirodno izraženu naknadu u tonama pšenice u zadnjem desetljeću u odnosu na prijeratno razdoblje, uočava se drastičan pad vrijednosti ubrane naknade (Rast razreza i naplate naknade u 2001. g. u odnosu na prethodne rezultat je uključivanja u sustav naplate područja koje je bilo okupirano.) To se naravno odražava na opseg izvršenih radova, što će tijekom godina imati za posljedicu sve lošije stanje odvodnog sustava, napose kanalske mreže. [15]

Tablica 3. Financijski iskaz nakon promjena na prijelazu stoljeća, [15]

Opis	1993.	1994.	1995.	1996.	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.
Razrez	2976	3350	12210	13000	13000	16196	17560	18423	21723	22000	22000
Naplata	1995	1835	7009	5555	6749	7948	8195	7915	9624	12959	9462
% naplate	67.0	54.8	57.4	42.7	51.9	49.1	46.7	43.0	44.3	58.9	43.0
Naplata t pšenice	7980	7340	7009	5555	6749	7948	8195	7915	9624	12959	9462

Za vrijeme rata uništena je betonska protočna brana (ustava) *Nova brana* koja je od sredine stoljeća održavala razinu vode u profilu vodotoka Bosut u gradu Vinkovcima i uzvodno. U užoj zoni ratnih djelovanja bio je izvedeni dio objekta uređaja za pročišćavanje otpadnih voda grada Vinkovaca, koji je također uništen. Devastirana je u potpunosti i zgrada Centra za obranu od poplava u, ratom otcijerpljenim, Nijemcima. Na slivnom području Biđ-Bosuta uništeno je ili znatno oštećeno ukupno 14 mostova, od čega 3 na Savi, te velik broj propusta na kanalskoj mreži. Na sjevero-istoku područja uništen je sustav za navodnjavanje *Grabovo*, a oprema pokradena. Na vodotocima i kanalima, čestim dijelovima linije razdvajanja, postavljena su minsko-eksplozivna sredstva, koja negdje i danas predstavljaju opasnost. Samo poduzeće je pretrpjelo velike štete. Procijenjeno je da su najveće (gotovo polovina) bile na strojevima i opremi, a zajedno sa štetama na građevinskim objektima, sitnom inventaru te troškovima opsluživanja Hrvatske vojske radi se o iznosu od znatno preko 5 milijuna DEM. Aktivno je u obrani sudjelovalo preko polovice (154) tada zaposlenih radnika, a kako se radi o neposrednom ratnom

području može se reći da su svi bili aktivni u ratu. Nažalost, osim izloženosti fizičkim i psihičkim ratnim stradanjima, 6 djelatnika JVP-a Biđ-Bosut izgubilo je život. [14]

Rušenjem Nove brane (1991.) izgubljena je mogućnost reguliranja režima vode Bosuta i akumuliranje vode u gradskoj zoni kojoj je to bio recipijent otpadnih voda. Još pod ratnim aktivnostima interventno je, od zatečenog materijala, na lokaciji bližoj gradu, izvedena zemljana *Privremena brana* s cijevnim propustima da bi se spriječili mogući veći ekološki problemi u Vinkovcima. Tako je u specifičnim ratnim okolnostima nastalo inženjersko rješenje koje i danas funkcionira. Rasteretni kanal (dug blizu 3,5 km) i bočni preljev Bazjaš (izvedeni 1985.-90.) poprimili su značajniju ulogu, postali su sigurnosni preljev ove brane. Naknadno (1998.) je izveden spojni kanal (prokop) i ustava Trbušanci, koji su svojevrsni temeljni ispušt akumulacije. Ostatci porušene betonske brane dosta kasnije (2011.) su otklonjeni iz korita te je preostao njezin temelj, koji tako predstavlja čvrsti prag vodotoku. Dakle, glavna okosnica hidrotehničkog sustava (brana i evakuacijski objekti) nastala je spletom različitih okolnosti zbog čega se ovaj koncept razlikuje od klasičnog i inženjerski je interesantan.

Nakon rata društveni preustroj i gospodarski problemi ometaju vodno gospodarstvo. Dolazi do zapuštanja i propadanja sustava, naročito kanalske mreže. U poslijeratnom razdoblju, sredstvima iz državnog proračuna, kroz tzv. Program državnih voda, ulagali su se veliki naponi za sanaciju ratnih šteta i unapređenje vodnogospodarskog sustava područja. Negdje od 2006. intenzivira se revitalizacija melioracijskog sustava odvodnje i uređenje korita osnovne odvodnje. U suvremenosti su građeni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda i radilo se na uspostavi sustava poljoprivrednog navodnjavanja.

5. Zaključak

Tehničke sustave, kao i hidrotehnički sustav Pobosuća, prvenstveno uvjetuju prirodni elementi. Sustavi proizlaze iz ljudskih potreba, a one se vremenom mijenjaju, dopunjuju. Sustavi su rezultat mogućnosti društva, ali i raznih okolnosti u kojima se realiziraju.

U radu su istaknute neke okolnosti u nastajanju današnjeg hidrotehničkog sustava regulacije režima voda Pobosuća. Područje je prirodna cjelina (sliv) koje je tijekom povijesti često bilo granica različitih svjetova (država, religija, kultura, naroda). Postojanje Vojne krajine, eksploatacija šumskih resursa, nacionalna previranja, državni preustroji, ratna stradanja, ekonomske krize te valutne promjene i drugo odrazili su se na razvoj hidrotehničkog sustava. Tek sagledavanjem okolnosti u kojima je nešto nastalo može se shvatiti zašto je nešto takvo kakvo je, naprimjer zašto se za Bosut često kaže da je „čudna rijeka“, velikog korita, promjenljivog sporog toka i netipičnih vodograđevina.

Za razumijevanje današnjeg stanja sustava dobro je znati kako se odvijao njegov nastanak, a to može doprinijeti i kvalitetnijem sagledavanju razvoja u budućnosti.

6. Literatura

- [1] Roje-Bonacci, Tanja; Bonacci, Ognjen. Višenamenski hidrotehnički sistemi. *Vodoprivreda* 0350-0519, Vol. 48 (2016) No. 279-281 p. 75-85
- [2] Brilly, Mitja. Upravljanje vodama u državama u tranziciji. *Vodoprivreda* 0350-0519, Vol. 48 (2016) No. 279-281 p. 107-113
- [3] Đorđević, Branislav. Vodoprivredni sistemi. Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [4] Pokos, Nenad; Turk, Ivo. Geografska obilježja Vukovarsko-srijemske županije. Monografija „Vukovarsko-srijemska županija – prostor, ljudi i identitet“. urednik: Živić, Dražen. Institut društvenih znanosti „Ivo Pilar“ i Vukovarsko-srijemska županija. Zagreb – Vukovar, 2012.
- [5] Bognar, Andrija. Istočna Hrvatska, (Geografija SR Hrvatske, ur. Cvitanović, Alfonso). knjiga 3. Školska knjiga, Zagreb. 1975.
- [6] Iskra-Janošić, Ivana. Vodene komunikacije u rimsko doba na prostoru Vukovarsko - srijemske županije. *Urbanizam, turizam, zdravlje*, god. I, dvobroj 2 i 3; Grad Vinkovci, Vinkovci, 2009., str. 12-17
- [7] Ćirić, V.: *View of Vinkovci = Vinkovci, grad na dlanu*, Grad Vinkovci, Vinkovci, 2013.
- [8] Maričić, Siniša; Mijušković-Svetinović, Tatjana. Geographical changes of the Bosut river basin. *Proceedings of 4th R.-B.-H.-S. Conference: Geographical Research and Cross-Border Cooperation within the Lower Basin of the Danube*; Vidin – Bulgaria, september 2016.
- [9] Kratofil, Lidija; Tusić, Vesna; Budišić, Dražen; Senić, Arijana; Barbalić, Marina. Zaštita od poplava na slivu Save - stanje i razvojni projekti. *Okrugli stol Zaštita od poplava u Hrvatskoj*, Vukovar 18. - 19. listopada 2012. godine
- [10] Marušić, Josip. Pedeset i pet godina Vodoprivredne radne organizacije "Biđ - Bosut", Vinkovci (1924.-1979.). *Vodoprivreda*, br 62, Zagreb, 1975., str. 80-99
- [11] Vodoprivredno-projektni biro d.d., Zagreb. *Elaborat zaštite okoliša, Nacionalni pilot projekt navodnjavanja Biđ - Bosutskog polja; Sustavi navodnjavanja poljoprivrednih površina na području Biđ - Bosutskog polja*; Zagreb, veljača 2016. god.
- [12] Maričić, Siniša, Šreng, Željko. Velike vode Pobosuća. *Zbornik radova: Prvi kongres o vodama*, Sarajevo, Bosna i Hercegovina, 27.-28. oktobar 2016., ur. Mehić, A., Jašarević, E.; Udruženje konzultanata inženjera Bosne i Hercegovine, 2016., str. 56;
- [13] Marušić, Josip. Rijeka Sava, obrana od poplava i isušenje bosutskog područja; *Hrvatska vodoprivreda*, god. XIII., br. 141; Zagreb, rujan 2004., str. 17-24
- [14] Virč, Zlatko. Vodno gospodarstvo od antike do 1945. godine; *Hrvatska vodoprivreda*, god. XIII., br. 141; Zagreb, rujan 2004., str. 3-16
- [15] Luburić, Zvonimir. Interesno organiziranje vodnoga gospodarstva; *Hrvatska vodoprivreda*, god. XIII., br. 141; Zagreb, rujan 2004., str. 25-31



Voda nakon pranja vune – otpad i sirovina *Water after wool scouring - waste and raw material*

A. Tarbuk, B. Vojnović, A. Sutlović*

Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet

*Autor za korespondenciju. E-mail: ana.sutlovic@tff.hr

Sažetak

Budući da ekologija poprima sve veći utjecaj u društvu, pa time i u industriji, uvode se novi proizvodi i tehnologije i u tekstilstvu. Obzirom da vuna diljem svijeta predstavlja važan proizvod ovčarstva i važnu sirovinu u tekstilnoj industriji, posebna se pažnja posvećuje očuvanju okoliša pri pranju, obradi i doradi vune. Pranje vune najčešće se provodi pranjem u različitim kupeljima, ekstrakcijom ili smrzavanjem, a otpadne vode su jako zagađene i heterogenog su sastava. Otpadne vode nakon pranja vune osim ekološkog problema mogu predstavljati izvor korisne sirovine npr. nusproizvod pri pranju vune je lanolin važna sirovina za farmaceutsku i kozmetičku industriju, a mulj koji nastaje pranjem, može se koristiti kao gnojivo ili kao sirovina u proizvodnji građevinskog materijala i ogrijeva.

Abstract

Since ecology is gaining ever greater influence in society and therefore in the industry, new products and technologies are introduced and in textiles. Given that wool around the world is an important product of sheep farming and important raw materials in the textile industry, special attention is paid to the preservation of the environment when scouring, processing and finishing wool. Scouring wool is usually carried out by washing in various baths, by extraction or freezing, and wastewater is highly polluted and heterogeneous. Waste water after washing wool apart from ecological problems can be a source of useful raw materials e.g. woollen by-product wool is lanolin an important raw material for the pharmaceutical and cosmetic industry and the sludge that is formed by the precipitation can be used as a fertilizer or as a raw material in the production of construction materials and firewood.

Ključne riječi: pranje vune, pročišćavanje otpadnih voda, tekstilna industrija, lanolin

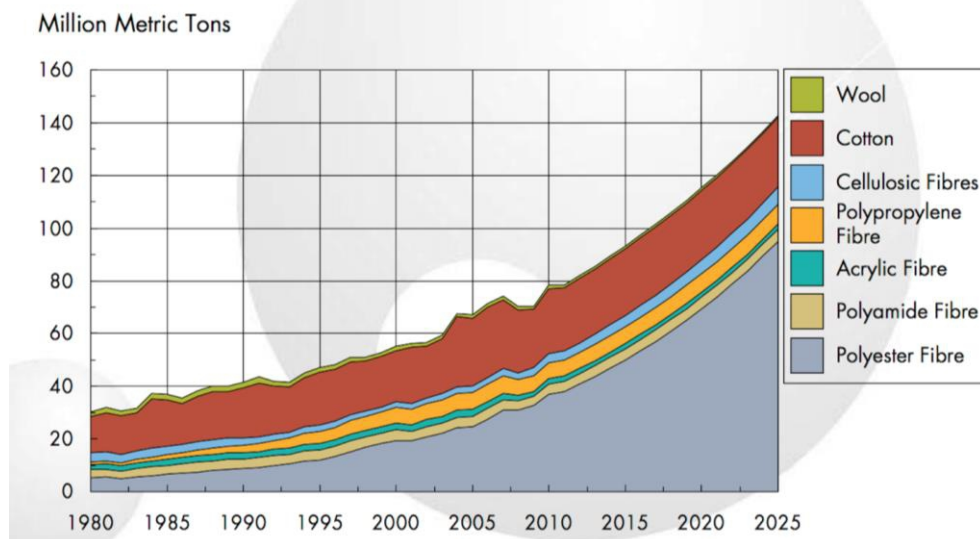
1. Uvod

Razvoj globalne svijesti o međusobnoj ovisnosti zaštite okoliša i razvoja društva rezultirao je intenzivnim razvojem ekologije kao znanosti i ostvarenjem programa održivog razvoja. Snaga ovakvog pristupa je u zajedničkom cilju ekoloških, ekonomskih, društvenih, kulturnih, znanstvenih i dr. djelatnosti. Znanstveni doprinos održivom razvoju usmjeren je na neograničenu podršku u smislu orijentacije temeljnih, razvojnih i primijenjenih

istraživanja. Obzirom na opravdani strah za očuvanje izvora čiste vode, bitan element programa održivog razvoja je zaštita vode u svim fazama kružnog toka u prirodi. Pri tome je poseban naglasak dan na industriju i potrebu recikliranja vode tj. realizaciju kružnog toka vode unutar tvornice s ciljem smanjenja potrošnje i onečišćenja vode. Voda je u industriji oplemenjivanja tekstila važan i nezamjenjiv medij i energent te je jedino sustavnim pristupom i to u području industrije, ali i znanstveno-istraživačkog rada, moguće riješiti problem smanjenja otpadnih voda [1-4]. Potrebno je naglasiti da vuna i otpadne vode od pranja vune mogu biti korisna tehnološka sirovina ali i veliki ekološki problem. Ukoliko se vuna nekontrolirano pere ispuštene otpadne vode mogu ugroziti prirodnu ekološku stabilnost vodenih sustava. Obzirom da je u posljednje vrijeme povećano zanimanje za preradu domaće vune, time se povećava i opasnost od onečišćenja voda zbog nestručnog pranja vune i nekontroliranog ispuštanja otpadne vode od pranja vune u prirodne vodotokove [5-7].

2. Pranje vune

Vuna je najznačajnije prirodno proteinsko vlakno, u skupini keratinskih vlakana, te je ujedno i prva tekstilna sirovina koja se koristila za odjevne predmete, od samih početaka čovječanstva vuna je bila cijenjeni materijal. Danas vuna zauzima istaknuto mjesto u industriji odijevanja, a time i u svjetskoj industriji proizvodnje vlakana (sl. 1) bez obzira na razvoj i svojstva suvremenih umjetnih vlakana [8].



Slika 1. Proizvodnja tekstilnih vlakana [8]

Sirova vuna naziv je za vunu dobivenu neposredno striženjem živih ovaca ili skidanjem s mrtvih ovaca (sl. 2). Da bi se mogla koristiti, potrebno je prvo ukloniti nečistoće iz runa kao što su znoj, masnoća (lanolin), urin, biljne nečistoće (čičci, zemlja i dr.) (sl. 3) [1-4].



Slika 2. Dobivanje vune striženjem ovaca

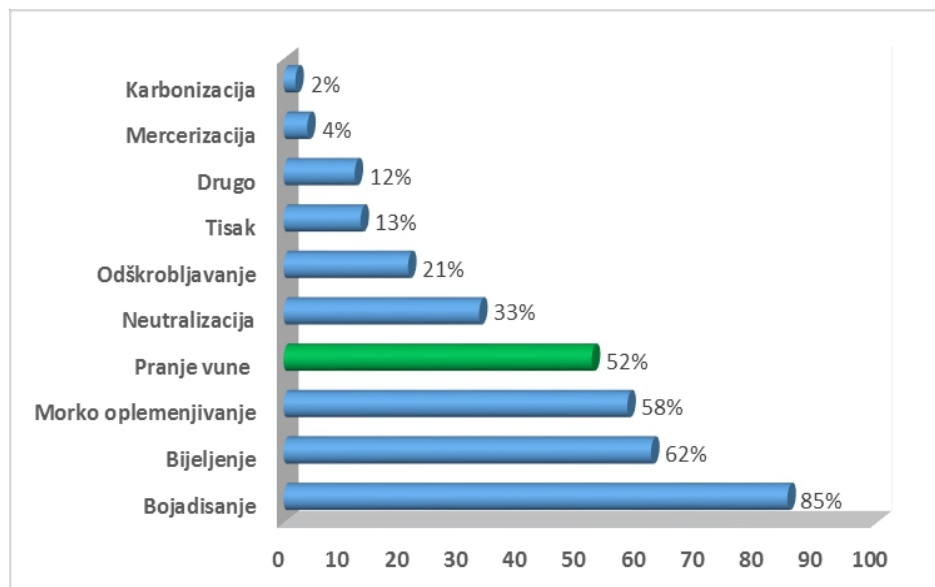


Slika 3. Vuna prije i nakon pranja

Pranje vune ekološki je vrlo zahtjevan postupak i mora se voditi računa da se otpadne vode pročišćavaju i ponovno koriste. Farmaceutska industrija koristi pojedine sastojke nečistoća poput lanolina i kolesterina. Za uklanjanje nekih primjesa potrebno je dodatno obraditi vunu s razrijeđenom otopinom sumporne kiseline pri povišenoj temperaturi (karbonizacija).

3. Voda nakon pranja vune – otpad

Procesi pranja i karbonizacije vune zauzimanju 54% onečišćenja voda tekstilne industrije (sl. 4) te je rješavanje problema pranja vune ekološki povoljnim postupcima prioritet u vunarskoj industriji [9].



Slika 4. Zagađivači otpadnih voda u tekstilnoj industriji [9]

Zagađenje vode u tekstilnoj industriji prvenstveno je uzrokovano nečistoćama koje se kod oplemenjivanja tekstila izdvajaju iz tekstilija i kemijskim sredstvima koja se upotrebljavaju u tehnološkim postupcima te se nakon oplemenjivanja i ispiranja ispuštaju kao otpadne

vode. Zagađenje voda u oplemenjivanju tekstila znatno varira ovisno o fazi oplemenjivanja i materijalu koji se obrađuje. U tablici 1 prikazana je karakterizacija uzorka otpadne vode u vunarskoj industriji [10]. Rezultati analize odraz su velike količine organske komponente koja zaostaje u vodi nakon pranja vune kao otpad. Ovakve vode predstavljaju veliko opterećenje i na sustave za pročišćavanje, uzrokuju brzo zasićenje, potrebu za čestim održavanjem što svakako iziskuje dodatna financijska ulaganja.

Tablica 1. Karakterizacija tipične otpadne vune vunarske industrije [10]

Parametar	Vrijednost
pH	9,8 – 11,8
ukupni alkalitet	17,35 mg/l CaCO ₃
BPK	760 mg/l
KPK	1418 mg/l
isparni ostatak	6170 mg/l
ukupni ugljik	12,5 mg/l

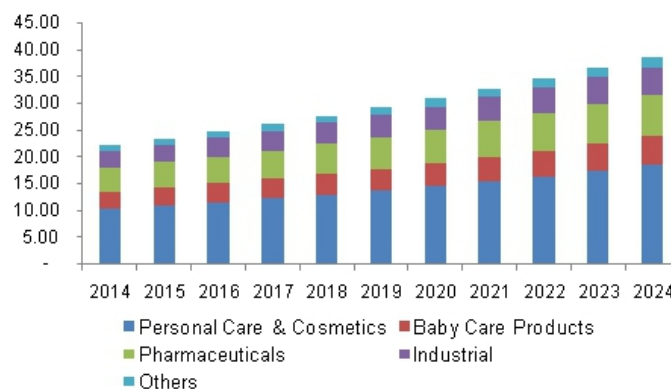
Međutim, obzirom na stanje vunarske industrije u Republici Hrvatskoj otpadne vode od pranja vune postaju sekundarni problem. Nekada vrlo popularno i korisno bogatstvo iz prirode – vuna, na našim područjima je dospjela na vrh ljestvice nepoželjnih sirovina. Naglašeno na hrvatskim otocima, vuna je postala veliki teret cijele zajednice. Ovce kojih je prije na otoku bilo mnogo više, danas daju oko 20 do 25 tona vune godišnje. Nekada se taj važan domaći izvor tekstilne sirovine naveliko koristio u odjevne i druge svrhe, te se ujedno vuna i otkupljivala i slala na preradu u domaće i inozemne tvornice tekstila. Zadnjih dvadesetak godina, ovčarima nije omogućen zadovoljavajući otkup vune te je nakon šišanja uglavnom ostavljaju u prirodi, po gromačama, jamama i livadama, gdje osim estetskog, vuna je i ozbiljno ekološko zagađenje (sl. 5). Vuna se u prirodi ne razgrađuje, ne gori, pa se ne može ni spaljivati. Na mjestima gdje je ostavljena ništa ne raste, pa se time smanjuju pašnjačke površine. Osim toga vuna zaudara i postaje pogodno mjesto za razvoj bakterija i glodavaca [1-7].



Slika 5. Divlje odlagalište vune

3. Voda nakon pranja vune – sirovina

Pranje vune je skupo, iziskuje velike količine vode i deterdženata te je ekološki neprihvatljivo. Međutim, dobro je poznato da se pri pranju vune relativno lako može izdvojiti lanolin, iznimno važna sirovina u farmaceutskoj industriji. Također, zaostali mulj kvalitetno se može koristiti kao gnojivo ili u proizvodnji građevinskog materijala i ogrijeva [1-7]. Ovi proizvodi na svjetskom tržištu ostvaruju velike profite na industrijskoj razini ali, također, predstavljaju veliki udio u razvoju malog poduzetništva. Na slici 6 prikazan je profit od lanolina na tržištu Sjedinjenih Američkih Država i procjena rasta do 2024. godine. Obzirom na dobro stanje farmaceutske industrije u Republici Hrvatskoj bilo bi nužno da se iskorištava domaća sirovina, a ne kupuje uvozna [11].



Slika 6. Tržište lanolina u SAD od 2014. do 2024. (u milionima SAD \$) [11]

Osim vode i vuna nakon pranja je iznimno kvalitetna sirovina. Činjenica je da se u komercijalnoj tekstilnoj proizvodnji zamjenjuje jeftinijim umjetnim materijalima, međutim, visoko vrijedni proizvodi i nadalje se izrađuju od vune. Bez obzira na potencijal vune kao sirovine, u suvremenoj Hrvatskoj vuna je postala otpad, potencijalno opasan otpad, čija količina se mjeri u stotinama tona. Ono što se u Republici Hrvatskoj ostavlja da trune i predstavlja potencijalu opasnost za izvore pitke vode u razvijenim zemljama je postala dragocjeni ekološki materijal u građevinskoj industriji. Ovčja vuna prepoznata je kao izvanredan toplinski izolator, od krovova, preko zidova do podova. Kvaliteta vune kao izolatora proizlazi iz toga što je ona prirodni materijal, daleko je bolje od stiropora, kamene vune i sličnih materijala [12].

Obzirom na situaciju sa otpadnom vunom u Republici Hrvatskoj, najvažnije je istaknuti primjere dobre prakse u našoj domovini [12, 13]. Nažalost, ovakve inicijative najčešće ostaju na razini malih poduzetnika i teško nalaze put do kvalitetnog, zadovoljavajućeg financiranja.

- Gospodin Damir Remenar iz Iloka vlasnik je patenta za ekološko pranje vune bez deterdženata (slika 7). Ova inovacija rješava ekološki, ali i financijski problem iskorištavanja vune kao vrijednog i rentabilnog resursa. Cilj mu je potaknuti organizirani otkup i na svjetsko tržište poslati konkurentan hrvatski proizvod. Svoju inovaciju predstavio je u 2013. godina Biogradu na Moru na 6. Međunarodnom sajmu inovacija, eko ideja, proizvoda i tehnologija iz poljoprivrede i prehrambene industrije. Inovator je napravio stroj

za ekološko pranje ovčje vune, a istu i prerađuje u izolacijski materijal (slika 8). Inovacija ovog iločkog inovatora, stroj za pranje ovčje vune riješio bi problem zagađivanja, ali i problem skupoće korištenja vune kao vrijednog resursa. Standardnim načinom pranja vune potroši se oko 120 L vode po kilogramu, a rezultat je zagađena voda. Remenarovom inovacijom troši se tek 5 do 6 litara po kilogramu, a proces pranja u potpunosti je ekološki jer koristi samo vodu, a ne i kemikalije pa se i nakon pranja ostaci mogu koristiti za proizvodnju prirodnog gnojiva. Za osobite zasluge u inovativnom poduzetništvu i gospodarstvu te njihovom promicanju u Republici Hrvatskoj i u svijetu, gospodin Remenar je odlikovan Redom Danice hrvatske s likom Nikole Tesle [12].



Slika 7. Stroj za pranje vune bez kemikalija [12]



Slika 8. Izolacija od ovčje vune i celuloze [12]

Gospodin Dragan Tutić, vlasnik zagrebačke tvrtke Monole otkupljuje ovčju vunu creskih i lošinjskih ovaca, kao i onih s krka i Paga, s Labinsštine u Istri i iz gotovo cijele Slavonije te izvozi u Indiju kao sirovinu. S ovčarima u Lici i na dalmatinskim otocima, na žalost, nije uspio dogovoriti suradnju jer ne pristaju na zbrinjavanje, no i bez toga je tvrtka monole u 2016. godini na svjetsko tržište plasirala 600 tona ovčje vune, dvostruko više nego u 2015. Vuna naših ovaca, većinom vrste pramenka, gruba je i odlične kvalitete upravo za preradu i izradu tepiha. Sabiralište se nalazi u Končanici kraj Daruvara. Ondje se vuna dovozi, čisti, sortira i svrstava po kategorijama priprema za krajnjeg kupca [13].

5. Zaključak

Osnovna pogreška modernih tehnologija je da se ne vodi dovoljno računa o sustavu kao cjelini, nego samo o pojedinim procesima. Time se narušava povezanost procesa i ravnoteža cijelog sustava. Jedna od bitnih karakteristika suvremenog industrijskog društva je zanimanje za prirodu kao izvor sirovina, to jest kao materiju koja ulazi u proizvodni proces, a prestaje ga zanimati nakon korištenja i pretvaranja u otpad. Nakon dugogodišnjeg izbjegavanja ekoloških problema u industriji pa tako i u tekstilnoj industriji, sve se više pažnje posvećuje zaštiti okoliša i iskorištavanju otpada te otpad postaje financijski visokovrijedna sirovina. Na svjetskoj razini u području vunarske industrije različitim tehničkim i tehnološkim rješenjima postignuti su značajni napreci u industriji sa ekonomskog i ekološkog aspekta.

Međutim, u Republici Hrvatskoj projekti pretvaranja otpada vunarske industrije u vrijednu sirovinu i veliki financijski potencijal slabo su prepoznati za financiranje, a borba sa

birokracijom dovodi do gubitka entuzijazma za prijavu financiranja iz EU fondova, za što je također potrebna veća stručna podrška i poticaj na državnoj razini.

6. Literatura

- [1] Parac-Osterman, Đurđica; Sutlović, Ana; Soljačić, Ivo. Voda u oplemenjivanju tekstila-sirovina i otpad. // Tekstil. 52 (2003) , 2; 55-62
- [2] Raffaelli, Dubravka; Došen-Šver, Dubravka; Vujasinović, Edita. Domaća vuna i pročišćavanje otpadnih voda nakon pranja sirove vune. // Kemija u industriji. 48 (1999), 5; 189-195
- [3] Andrassy, Maja; Vujasinović, Edita; Horvat, Anita. Sorption Properties of Medullated Wool // Magic world of textiles: book of proceedings of the 1st International Textile, Clothing and Design Conferenc / Dragčević, Zvonko (ur.). Zagreb : Faculty of Textile Technology, 2002. 25-30
- [4] Šmelcerović, Miodrag; Đorđević, Dragan; Grancarić, Anamarija; Tarbuk, Anita. Ecological Finishing of Woolen Fabric with Extracts of Marigold, St.-John' s- Wart and Hibiscus Plants // Book of Proceedings of 2nd Scientific-Professional Symposium Textile Science & Economy, 2009. 163-166
- [5] Vujasinović, Edita; Pavunc, Marijana. Croatian Wool – “Pro et Contra” // 14th AUTEX, World Textile Conference 2014, Bursa, Turkey, 2014.
- [6] Vujasinović, Edita; Anić Vučinić, Aleksandra; Ljubas, Davor. Scouring of Domestic Wool in Croatia and its Impacts on the Environment. // Kemija u industriji : časopis kemicara i tehnologa Hrvatske. 56 (2007.) , 11; 569-574
- [7] Pavunc, Marijana; Vujasinović, Edita. Coarse wool as biodegradable insulation material // Book of Proceedings of the 7th International Textile, Clothing & Design Conference Magic World of Textiles, Dubrovnik, 2014. 98-103
- [8] Wisniowski, M. T.: Natural versus Syntehtetic Fibres and Dyes Opinion Piece; <http://artquill.blogspot.hr/2014/12/>, 13. 7. 2017.
- [9] Byadgi, S. A.: Decololorization of Textile Dye Effluents; https://www.slideshare.net/Shameem_Byadgi/decolourization-of-textile-dye-effluents, 13. 7. 2017.
- [10] Singh, R., Yadav, Y.: Effluents Quality of Woolen Industrial Units and Efficiency of Wastewater Treatment Plant at Jorbir, Bikaner, Rajasthan (India); Oriental jurnal of Chemistry, ISSN 0970-020; 30 (20104) 1, 49-56
- [11] Market Research Report: Lanolin Market Analysis by Application; 2016; <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/lanolin-market>, 14. 7. 2017.
- [12] <http://vijesti.hrt.hr/262844/ovcja-vuna-bioloski-otpad-ili-vrijedan-graevinski-materijal>; 18. 11. 2014.
- [13] <http://www.poslovni.hr/hrvatska/vuna-hrvatskih-ovaca-zavrsit-ce-u-indiji-294447>; 21. 4. 2016.

Optimizacija vodoopskrbe viših zona *Optimization of water supply of higher zones*

Em.Trožić^{1*}, E. Smajić², En.Trožić³

¹Vodovod Sanski Most, BiH,

²Općina Hadžići, BiH,

³Škola Vrhpolje, Sanski Most, BiH

*Autor za korespondenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak

Scenarij koji je podrazumijevao rješenje cjelovite vodoopskrbe konzumenata perifernih naselja podrazumijevao je i vodoopskrbu konzumenata i viših zona. Kod ovog scenarija voda iz centralnog sustava se jednom ili više puta podiže sustavima buster ili pumpnih postaja sa spremnicima. Drugi scenarij koji nudi rješavanje vodoopskrbe, iznad druge visinske zone, podrazumijeva uključivanje vode iz izvora s više nadmorske visine. Ovaj scenarij podrazumijeva jedno podizanje vode do rezervoara a zatim gravitacijski transport prema konzumnim područjima. Kod ovog rješenja se javlja povećanje tlaka proporcionalno visinskoj razlici, koji bi se smanjivao sustavima rasteretnih komora ili smanjivače tlaka. Analizom rješenja koji se nude ovim scenarijima vodi do optimiziranog koncepta vodoopskrbe viših zona.

Abstract

The scenario, which implied a complete solution for the supply of peripheral villagers, also implied the water supply of consumers and higher zones. In this scenario, the water from the central system is raised once or more by buster or pump station systems with tanks. The second scenario that offers water supply solutions above the other altitude zone implies the inclusion of water from a higher altitude source. This scenario implies one raising of water to a container and then gravitational transport to consumable areas. In this solution, the increase in pressure is proportional to the height difference, which would be reduced by the raster chambers or the decreasing pressure. By analyzing the solutions offered by these scenarios, it leads to an optimized concept of water supply for higher zones.

Ključne riječi: vodoopskrba, viša zona, centralni sustav, smanjivač tlaka.

1. Uvod

Konzumno područje, iznad II visinske zone, obuhvaća periferna naselja s ukupno 10.000 stanovnika za plansko razdoblje do 2025. godine. [1] Vodoopskrba kompletnog područja je bilo planirano s izvora centralnog vodovodnog sustava. Iz ovog konzumnog područja će se

isključiti 30% konzumenata koji su iznad II visinske zone snabdijevanja a prema izmijenjenoj koncepciji. Nakon izgradnje vodovodnih sustava Sl. vrelo - Vodostan "R. brdo", pored vodoopskrbe tri naselja III visinske zone, došlo je do promjene u koncepciji vodoopskrbe, tako da se "scenarij I - s centralnog sustava", iznad II visinske zone zamjenjuje s "scenarijem II - s lokalnog sustava". S obzirom na to da Sl. vrelo je uzlazno i nalazi se u prirodnom okruženju s udaljenim i razućenim naseljima na susjednim padinama, ne očekuje se kontaminacija vode od prisustva naselja ili poljoprivrede. I pored ove konstatacije kod eksploatacije je potrebno kontinuirano pratiti kvalitetu izvorske vode jer njeno prirodno podrijetlo nije poznato. I pored koncepcijskog isključivanja 30% konzumenata sa središnjeg izvora vodoopskrbe, treba provesti hidrauličku provjeru mogućnosti uključivanja (podizanja) vode iz I u II visinsku zonu.

2. Pumpne, buster stanice i spremnici II i III visinske zone vodoopskrbe

U dosadašnjoj vodoopskrbi s lokalnih izvorišta korišteni su:

- PS De., (44.783524, 16.614597,)
- Vodostan De., (44.788160, 16.610339,)
- PS Gr.-K-g., (44.781200, 16.567007,)
- Vodostan Gr.-K-g., (44.780607, 16.564520,)

Ovi vodni objekti se prema potrebi mogu uključiti u novi sustav uz potrebne tehničke prilagodbe ("Opcija I"). Povezivanjem ovih vodnih objekata mora biti ostvareno preko automatskih zatvarača koji će spriječiti prelijevanja vode iz sustava.

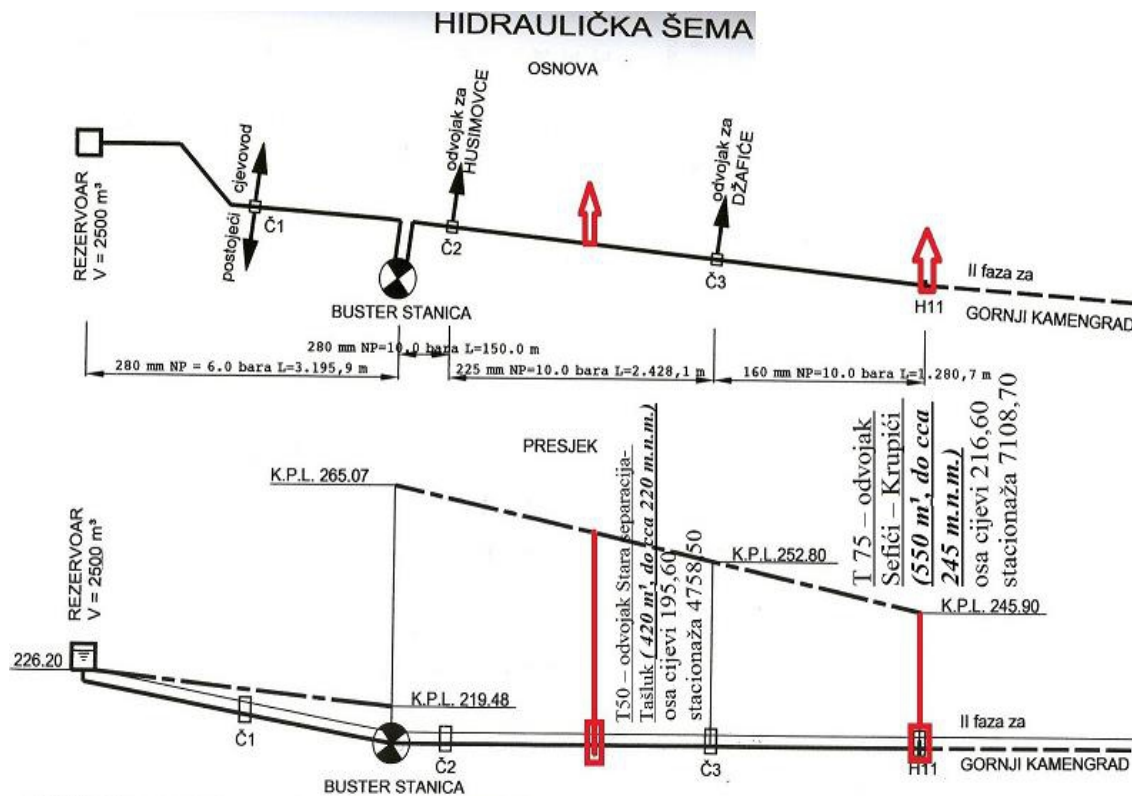
Na lokalitetu G. K-g. i F. postoje objekti lokalnih vodovoda čiji se vodni objekti mogu uključiti u sustav vodoopskrbe "Sl. vrelo" (" Opcija II "):

- Vodostan Ze. I, (44.795176, 16.542741,)
- Vodostan Ze. II, (44.795568, 16.542395,)
- PS Do., (44.805614, 16.528306,)
- Vodostan Do., (44.799256, 16.529135,)
- PS Ha. - Ok., (44.825785, 16.514101,)
- Vodovodni sustav Sl. vrelo, Čvor Brist, (44.823384, 16.508604)
- PS Ok., (44.820790, 16.536945,)
- Vodostan Ok., (44.819688, 16.533564,)
- PS Ći., (44.830521, 16.508686,)
- Vodostan Ći., (44.831660, 16.511640,)
- PS Ki., (44.793515, 16.534870,)
- Vodostan Ki., (44.790594, 16.530542,)
- PS Pećina-Fa., (44.779662, 16.490418,)
- Vodostan Fa.-Na. (44.777245, 16.502559,)

Povezivanje i ovih vodnih objekata mora biti ostvareno preko automatskih zatvarača koji će spriječiti prelijevanja vode iz sustava.

3. Scenarij I

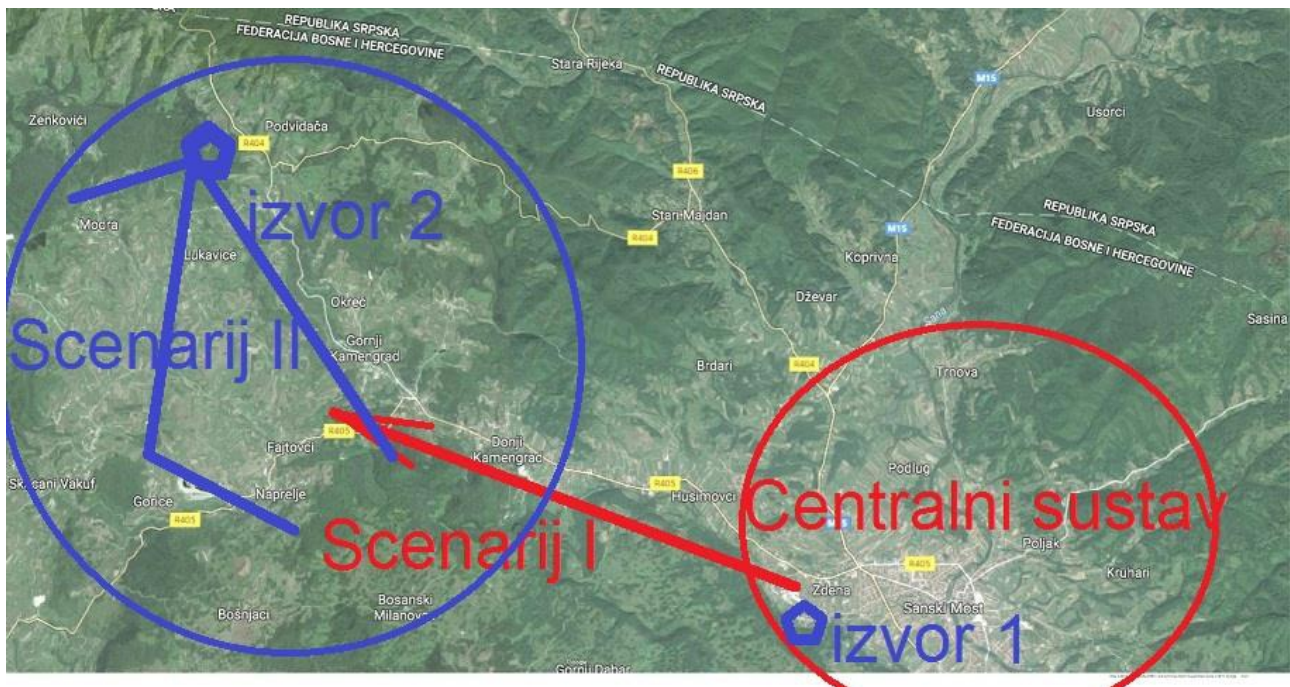
Prema Scenariju I obuhvat je rješenje cjelovite vodoopskrbe konzumenata u perifernim naseljima. Ovaj scenarij je podrazumijevao i vodoopskrbu konzumenata i iznad II visinske zone. Međutim, prema scenariju I voda iz centralnog sustava se jednom ili više puta podiže sustavima buster ili pumpnih stanica prema spremnicima. Na slici 1. je rikazana hidraulična shema za scenarij I, s ključnim čvorištima i promjenom piezometarske linije.



Slika 1. Hidraulička shema scenarija I. [2]

4. Scenarij II

Prema drugom scenariju rješavanje vodoopskrbe, iznad druge visinske zone, podrazumijeva uključivanje vode iz izvora s više nadmorske visine. Prema ovom scenariju podrazumijeva se jedno podizanje vode do vodostana a zatim gravitacijski transport prema konzumnim područjima. Kod ovog rješenja se javlja povećanje tlaka proporcionalno visinskoj razlici, koji bi se smanjivao sustavima rasteretnih komora ili opremom za smanjenje tlaka. Na slici 2. je prostorna dispozicija dva vodoopskrbna sustava. Ovdje se uočava međuovisnost konzumnih područja i pripadajućih sustava.



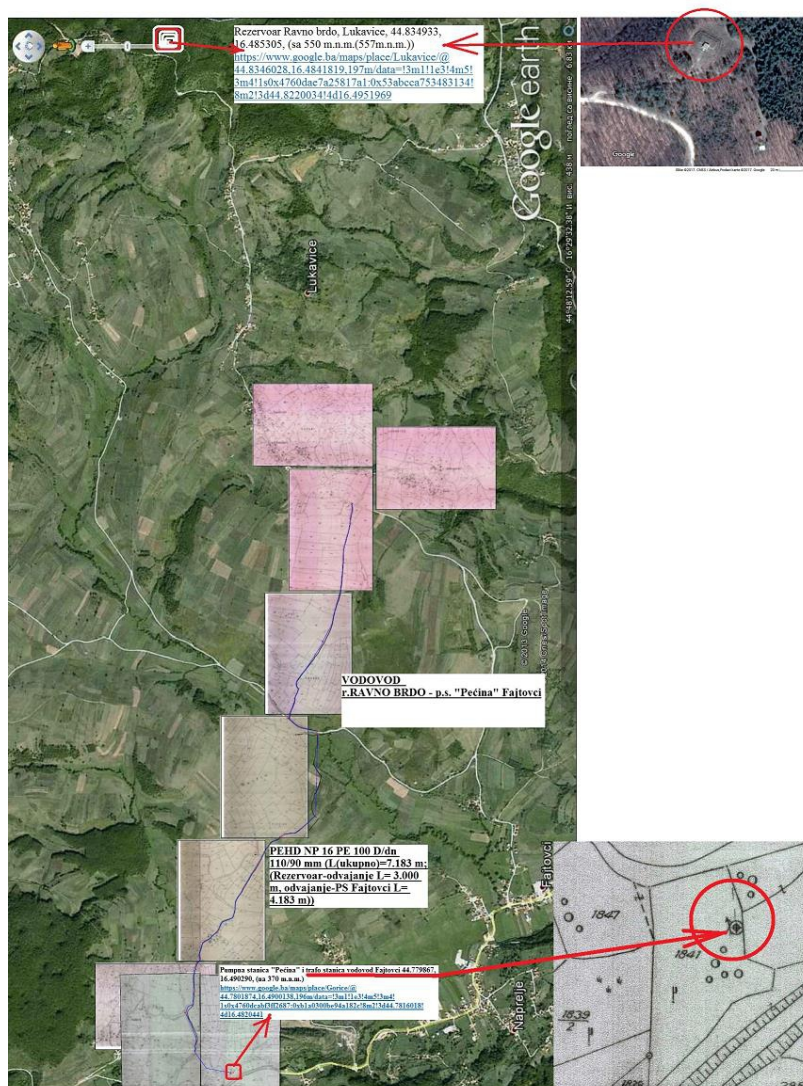
Slika 2. Dispozicija vodoopskrbnih sustava, [3]

5. Analiza rješenja

Centralni Vodostan „Zd“ je maksimalne zapremine 2.500 m³ s planiranom gradnjom još jedne vodne komore. Parametri za hidraulički izračun: kota vrha vode u vodostanu je 229,00 m, kota dna gravitacionog odvoda je 225,63 m, dužina gravitacionog voda je 91,10 m, materijal je LŽ cijev, promjera DN 600 mm, s poticajem $Q_{\text{prosj}}=100$ l/s. Kota dna cijevi na kraju voda je 181,68 m.

Podaci o lokaciji objekata u sustavu;

Vodostan Rv-bd, 44.834933, 16.485305, s 550 m.n.m.(557m.n.m.), mjerač zahvaćene izvorske vode „Zd“, 44.762573, 16.629369., pumpna stanica "Pć" i trafo stanica vodovod „Ft“ 44.779867, 16.490290, s 370 m.n.m., cjevovod je od PEHD NP 16 PE 100 D/dn 110/90 mm (L(ukupno)=7.183 m; (Vodostan-odvajanje L= 3.000 m, odvajanje-PS Ft L= 4.183 m)), „Sl“ vrelo je na 328 m.n.m., Vodostan „Rv-bd“ je na 550 m.n.m., pumpna stanica "Pć" je na 370 m.n.m. Na slici 3 je prostorna distribucija objekata na dijelu transportnog voda vodovodnog sustava „Sl“ vrelo.



Slika 3. Dio transportnog voda sustava viših zona [2-3]

U hidrauličkom smislu ova dva sustava zadovoljavaju potrebe svojih konzumnih područja. Kao alternativna mogućnost daje se izvesti spoj ova dva sustava s automatskom regulacijom, tako da će biti moguća opskrba konzumenata jednog sustava s drugog.

6. Zaključak

Prema provedenoj analizi mogućnosti proširenja obuhvata lokalnog vodovodnog sustava, niže, do II visinske zone centralnog sustava, postoje više elemenata koji je garant održivost ovog rješenja. S obzirom na kontinuitet razvoja urbanog dijela naselja i privrede, postoji mogućnost ugroženosti EPP vodotoka s kog se zahvata voda za piće centralnog sustava. Vodoopskrbom, perifernih naselja viših zona, iz izvorišta lokalnog sustava, isključivanjem do 30 % konzumenata, garant je zaštita EPP-a vodotoka izvorišta centralnog sustava. Iako se troškovno i izvođački rješenja ne razlikuju u značajnijem obimu, efekti koji se postižu idu u prilog proširenja obuhvata lokalnog vodovodnog

sustava. S obzirom na uvjete nadziranja sustava prednost bi bila na strani jednog cjelovitog rješenja. Ali razvojem modula za daljinski nadzor i regulaciju moguće je s jednog mjesta nadzirati više sustava.

7. Literatura

- [1] Strateški plan za vode i okolišnu sanitaciju, S. Most, 2010. godine,
- [2] Izvedbena dokumentacija, Vodovodni sustav "Zd.-Ka-gr.", Sl. Vrelo-R. R.B-Mo.-Lu., Sl. Vrelo-R. R.B-Fa., 2005-2014.,
- [3] Google map



Mogućnosti korištenja obnovljivih izvora u vodovodnim sustavima

Possibilities of using renewable sources In water supply systems

E. Smajić¹, Em.Trožić^{2*}, En.Trožić³

¹Općina Hadžići, BiH,

²Vodovod Sanski Most, BiH,

³Škola Vrhpolje, Sanski Most, BiH

*Autor za korespondenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak

Vodovodni sustavi godišnje potroše značajnu količinu električne energije. Pored središnjih pumpnih i postrojenja za tretman u sustavima vodoopskrbe postoje i više buster postaja. Ova postrojenja su smještena u objektima s dobrim, osunčanja, i mogućnostima postavljanja fotonaponskih modula. Neki od vodovodni sustava imaju cjevovode s povećanim pritiskom i potrebno je urađivati smanjivače pritiska. Na ovim cjevovodima moguće je ugradnjom turbine s generatorom proizvesti manje količine energije obnovljivih izvora. Analizirane su mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije.

Abstract

Plumbing systems spend a significant amount of electricity annually. In addition to central pumping and treatment plants in water supply systems, there are more buster stations. These facilities are housed in good-looking, sun-drenched facilities and photovoltaic modules. Some of the plumbing systems have high pressure pipelines and need to redesign pressure reducers. On these pipes, it is possible to produce smaller amounts of renewable energy sources by installing the turbine with the generator. Analyzed, Possibilities of using renewable sources energy.

Ključne riječi: vodovodni sustav, obnovljivi izvor energije, fotonaponski modul, turbina s generatorom.

1. Uvod

U cilju osiguravanja energije za manipulaciju transportiranom vodom za piće (iz izvora, preko postrojenja za tretman i podizanje do vodostaja) neophodno je obezvjertiti dodatne količine električne energije. U ovu svrhu je predviđeno ispitati mogućnosti korištenja obnovljivih izvora: sunca, vjetra i snage vode u vodovodnom sustavu.

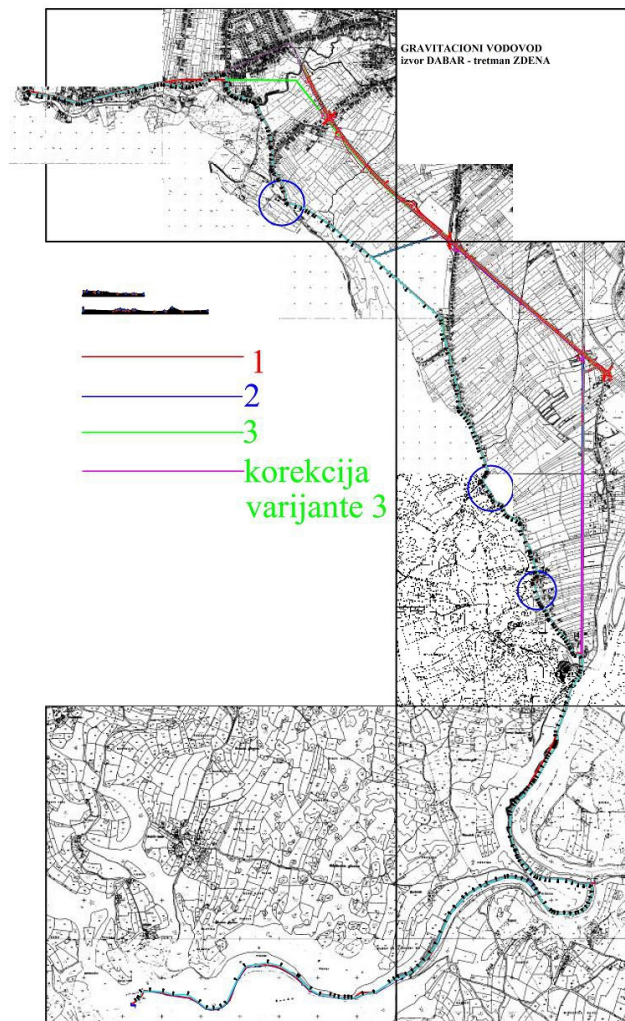
Planirano je istražiti mogućnost korištenja obnovljivih izvora:

- Fotonaponskih modula na krovu: građevinsko-montažni, fotonaponski moduli, elektro-energetski,
- Cijevne turbine [4-6], u vodovodnom sustavu: arhitektonsko-građevinski i elektro-energetski.

Kvaliteta opreme, proizvoda i usluga mora da zadovolji: Opšte uvjete za isporuku električne energije, Regulatorne komisije za električnu energiju u Federaciji Bosne i Hercegovine - F E R K, (na osnovu članova 14. i 52. Zakona o električnoj energiji ("Službene novine Federacije BiH" broj 41/02, 24/05 i 38/05), i člana 5. Statuta Regulatorne komisije za električnu energiju Federacije Bosne i Hercegovine ("Službene novine Federacije BiH", broj 13/04))

2. Prostorna distribucija postrojenja

Preuzimanje električne energije iz javne elektro mreže pored redovnog snabdijevanja postoje i slabosti koje u financijskom smislu mogu značajno ugroziti održivost vodovodnih sustava. Ne zadržavajući se na detaljnijoj analizi dovoljno je pomenuti „vršno opterećenje“ koje ponekad može da financijski prelazi iznos računa za aktivnu energiju. Kod korištenja obnovljivih izvora energije prednost je i u lociranju tih postrojenja uz konzumenta, tako da transportne troškove i „mrežne“ gubitke svodimo na minimum. Samo radi ilustracije ovdje su navedene neke lokacije vodnih objekata, koji su konzumenti električne energije a gdje se radi analiza mogućnosti instaliranja postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije: trafo stanica Zd, TS 10(20)/0,4kV, 630kVA, u www.google ima coordinate 44.762457, 16.630132, krovni fotonaponski paneli S-M, Zd 44.762627, 16.629708, Vodostan R-B, Lk, 44.834933, 16.485305, (s 550 m.n.m.(557 m.n.m.)), pumpna stanica "Pć" i trafo stanica vodovod Ft 44.779867, 16.490290, (na 370 m.n.m.) [1-2]. Na slici 1. prikazana je dionica transportnog vodovoda za koji se radi analiza održivosti gradnje cijevne turbine.



Slika 1. Vodovod DN 400 mm za transport 100 l/s, analiza održivosti gradnje turbine

3. Proceduralni zahtjevi

Kod ishođenja dokumentacije, neophodno je proći procedure do odobravanja od strane nadležnih tijela lokalne vlasti i tijela saveznih ili federalnih Ministarstava:

- 1- Predstudije izvodljivosti i prostorno planska dokumentacija (Predstudiju izvodljivosti, na zahtijevanom nivou na osnovu koje se može popuniti IP obrazac (Uredba o načinu i kriterijima za pripremu, izradu i praćenje realizacije programa javnih investicija (Sl.nov.FBiH br. 106/2014)), za unos projekta u PIMIS (uključivanje projekta u program javnih investicija koje se financiraju iz sredstava koja se osiguravaju u budžetima Federacije, donacijama, zaduživanjem, vlastitim sredstvima, te drugim izvorima financiranja),)
- 2- Elaborat za rješavanje imovinsko – pravni odnosi
- 3- Studije izvodljivosti
- 4- Elaborat za ocjenu o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš,
- 5- Studije za izdavanje prethodne vodne suglasnosti, u skladu s Pravilnikom o uvjetima i kriterijima koje mora ispunjavati pravno lice za izradu dokumentacije na osnovu

koje se izdaju vodni akti («Službene novine Federacije BiH», broj 17/08). Od «Agencije za vodno područje rijeke Save» Sarajevo, po zahtjevu JP «Elektroprivreda» za izgradnju male elektrane, na osnovu člana 139. stav 1. tačke 7 i 8. Zakona o vodama («Službene novine Federacije BiH», broj 70/06) i člana 200. Zakona o upravnom postupku («Službene novine Federacije BiH», broj 2/98 i 49/98),

6- Studija energetskeg iskorištenja (hidro za rijeku ili solarnog za FNC), koja se prilaže uz zahtjev za izdavanje prethodne vodne suglasnosti,

7- Elaborat za pribavljanje "prethodne dozvole za izgradnju proizvodnog objekta male elektrane (solarne i hidro), kod Regulatorne komisije za električnu energiju u Federaciji Bosne i Hercegovine (FERK), a u skladu s Pravilnikom za izdavanje dozvola-licenci ("Službene novine Federacije BiH", broj 29/05), Zakonu o električnoj energiji ("Službene novine Federacije BiH", broj 41/02, 24/05, 38/05 i 61/09), kao i u pravilima i propisima FERK-a.

8- Elaborat (elaborate - zahtjev) za pribavljanje "prethodne elektroenergetske suglasnosti," kod Ministarstva energije, rudarstva i industrije, Federacije Bosne i Hercegovine (za pribavljanje urbanističke suglasnosti za izgradnju proizvodnih objekata,

9- Idejni, glavni i izvedbeni projekti malih elektrana (hidro i solarne),

10- Dokument prijedloga za koncesiju (za koju nije raspisan javni tender), sa svim karakterističnim elementima (podacima), mjesto, namjenom i vremenski period korištenja koncesije, za upućivanje nadležnom Ministarstvu,

11- Studija ili elaborat o ekonomskoj opravdanosti koncesije, a koja sadrži i program korištenja koncesije (s podacima o lokalitetu, namjeni, ulaganjima i efektima koncesije, eventualno vlasništvu na nekretninama), podatke i dokumentaciju o istražnim radovima, ako su ovi prethodno vršeni, podatke i dokumentaciju o izrađenoj investiciono-tehničkoj dokumentaciji za objekte i opremu koja će se koristiti za ostvarivanje koncesije, opis tehničko-tehnološkog postupka korištenja prirodnog bogatstva ili dobra u općoj upotrebi i eventualno uvjete pod kojima interesent za korištenje koncesije prihvata dodjelu koncesije.

12- Tenderska dokumentacija (usklađeno s FIDIC „crvena“ knjiga),

13- Elaborat (zahtjev) za pribavljanje "energetske dozvole" kod Ministarstva energije, rudarstva i industrije, Federacije Bosne i Hercegovine (www.fmeri.gov.ba/izdate-energetske-dozvole.aspx), na osnovu: člana 3., 4., 5., 19., 22., 24. i 38. Uredbe o postupku, kriterijima, formi i sadržaju zahtjeva za izdavanje energetske dozvole za izgradnju novih i rekonstrukciju postojećih postrojenja ("Službene novine Federacije BiH", broj: 27/14), člana 78. stav (4) Zakona o električnoj energiji u Federaciji Bosne i Hercegovine ("Službene novine Federacije BiH", broj: 66/13), člana 23. stav (5) i (6), člana 31. i člana 39. stav (8), Zakona o korištenju obnovljivih izvora energije i efikasne kogeneracije ("Službene novine Federacije BiH", broj: 70/13 i 5/14), i člana 200. Zakona o upravnom postupku ("Službene novine Federacije BiH", broj: 2/98 i 48/99),

14- Elaborat (zahtjev) za pribavljanje "dozvole za rad-licence" za djelatnost proizvodnja električne energije, kod Regulatorne komisije za električnu energiju u Federaciji Bosne i Hercegovine (FERK), a nakon izgradnje proizvodnog objekta i obavljenom tehničkom



prijemu i dobivanju upotrebne dozvole, (tehničke parametre elektrane usuglasiti s Ugovorom o koncesiji, kao i svim pribavljenim odobrenjima),

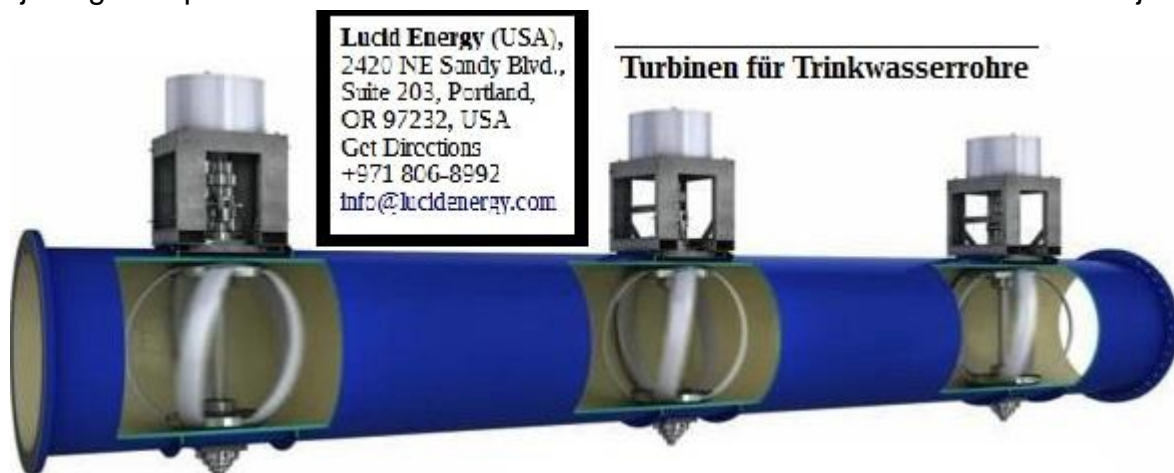
4. Fotonaponski moduli

Prema podacima koje nalazimo u tehničkim karakteristikama, potrebna površina za proizvodnju energije iz fotonaponskih sustava, ovisno o tome kakvi su fotonaponski moduli, odnosno jesu li izrađeni od monokristalnih ili polikristalnih ćelija ili su moduli od tankog filma (CIS), (CIGSS) (CdTe) ili amornog silicija, bit će potrebna i različita površina za određenu snagu pojedinog modula: [3]

- monokristalne ćelije 7 m² – 9 m², za smještaj fotonaponskih modula snage 1 kWp,
- ćelije visokog stupnja djelovanja 6 m² – 7 m², za fotonaponski modul snage 1 kWp,
- polikristalne ćelije 7,5 m² – 10 m², za smještaj fotonaponskih modula snage 1 kWp,
- bakar-indij-diselenid (CIS) 9 m² – 11 m², za smještaj fotonaponskih modula snage 1 kWp,
- kadmijev telurid (CdTe) 12 m² – 17 m², za smještaj fotonaponskih modula snage 1 kWp,
- amorfni silicij 14 m² – 20 m², za smještaj fotonaponskih modula snage 1 kWp,

5. Turbine u vodovodnim cijevima

Pored do sada poznatih tehnoloških rješenja kod gradnje mHE na vodotoku, poznata su i načini gradnje takvih postrojenja u vodovodnim sustavima na mjestu prekidnih komora. U tim slučajevima standardne turbine se montiraju na izljevnoj cijevi u vodnu komoru. U posljednjoj deceniji razvilo se tehnološko rješenje s turbinskim propelerima unutar zatvorene cijevi. , [4] , [5] , [6] Ovakva postrojenja se ugrađuju u cjevovodu gdje se ne zahtijeva graditi prekidna komora. Na slici 2. vide se tri turbine u nizu na vodovodnoj cijevi.



Slika 2. Turbine za vodovodne cijevi [6]

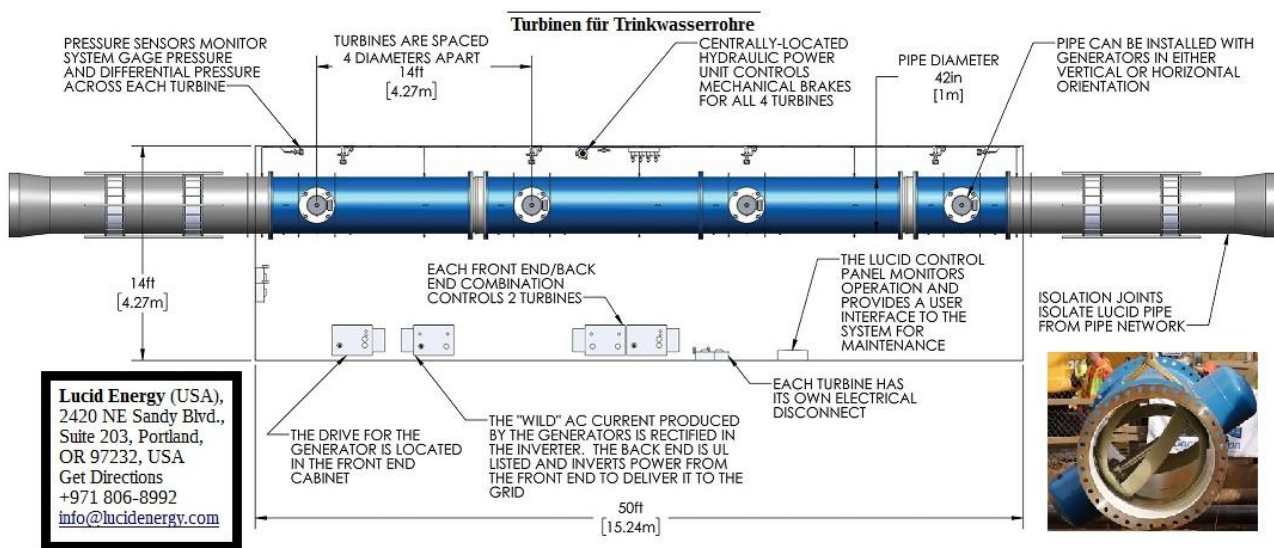


Prema obliku ove turbine podsjećaju na propelerne vodomjere. Na slici 3. vidimo raspored i oblik funkcionalnih cjelina, kao što su generator, spiralni propeler i način veze s sljedećim cijevnim segmentom u nizu.



Slika 3. Detalji turbine za vodovodne cijevi [6]

Za funkcionalnost i optimalni rad postrojenje obavezno je ispoštovati tehničke zahtjeve za montažu. Posebno se moraju ispoštovati uvjeti uzajamnih razdaljina, kao i vertikalnosti osovine turbinskog propelera. Na slici 4. dati su tehnički uvjeti za uzajamne razdaljine i druge detalje montaže.



Slika 4. Specifični zahtjevi za montažu turbine u vodovode [6]

Radi postizanja optimalnih uvjeta iskorištenja unutrašnjost cijevi tijela turbine je idealno zaglađena a spiralni propeleri izvedeni s aerodinamičnim oblikom. Na slici 5. se vide spiralni propeleri i unutrašnjost cijevnog tijela turbine.



Slika 5. Pogled u unutrašnjost cijevnog tijela turbine [6]

5. Zaključak

S obzirom na financijska opterećenja vodovodnih sustava prouzročena „vršnim opterećenjem“, nemogućnosti usklađenosti potreba za vodom s ugovornim obavezama isporučioaca električne energije, opravdani su razlozi za analizom alternativnih rješenja. S obzirom i na prostornu distribuciju konzumenata električne energije u vodovodnom sustavu analizirane su moguće lokacije za gradnju postrojenja za iskorištenje obnovljivih izvora energije. S obzirom na trenutnu moguću potporu kod gradnje postrojenja obnovljivih izvora, kao i dosegnuti nivo tehničkih rješenja postoji opravdanost instaliranja ovakvih postrojenja u vodovodne sustave.

6. Literatura

- [1] Studija izvorišta sirove vode u Sanskom Mostu, Phare Environment Consortium EU OSS No: 98-5110.00 (1998.),
- [2] Strateški plan za vode i okolišnu sanitaciju općine Sanski Most, 2010.
- [3] Modul 12 – Upravljanje potrošnjom, štednja energije i obnovljivi izvori energije, Studija energetskeg sektora u BiH, BHP3-EES-TEPRP-Q-04/05 WB, Konzorcij: 2008., [www.mvteo.gov.ba/docs/ESSBIH_Modul_12_\(3\).pdf](http://www.mvteo.gov.ba/docs/ESSBIH_Modul_12_(3).pdf),
- [4] Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale, Marco Casini, <http://www.ijsgce.com/uploadfile/2015/0929/20150929103416700.pdf>
- [5] Power turbines for drinking water pipes, <http://lucidenergy.com/>
- [6] Lucid Energy (USA), Corporate Headquarters, <http://lucidenergy.com/contact>



Efekti uspostave daljinskog nadzora u vodovodnom sustavu ***Effects of establishing remote control in the water supply system***

En.Trožić¹, B. Jakovac², Em.Trožić^{3*}, E. Smajić⁴,

¹Škola Vrhpolje, Sanski Most, BiH

²Control Engineering d.o.o. Rijeka,

³Vodovod Sanski Most, BiH

⁴Općina Hadžići, BiH

*Autor za korespondenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak

Daljinski nadzor je uspostaviti kao pilot zona unutar centralnog i dislociranog sustava javnog vodovoda. U prvoj zoni snabdijevanja, centralnog vodovodnog sustava, protok vode se mjeri na 9 zonskih lokacija. Protok i tlak vode se mjere na 2 strateška čvorišta. Razina vode se mjeri na jednom mjestu u vodostana druge zone snabdijevanja. U dislociranom sustavu javne vodoopskrbe, razina vode se mjeri u dva vodostana na početku i kraju, transportnog voda. Daljinski nadzor koristi GPRS kanal lokalnog telekom operatora i specifičnu softversku podršku. Podaci mjerenja se prikazuju skupnim grafom i Interaktivnom mapom. Kroz analizu podataka mjerenja došlo je do značajnog poboljšanja u nadzoru i održavanju javnog vodovodnog sustava.

Abstract

The remote control is set up as a pilot zone in the central and dislocated the public water supply system. In the first zone of supply, the central water supply system, water flow is measured at 9 zonal location. The flow and water pressure is measured at two strategic hubs. The water level is measured at one point in the second zone of the surge tank supply. The dislocated the public water supply, the water level is measured in two surge at the beginning and end, transportog water. Remote monitoring using the GPRS channel of the local telecom operators and specific software support. The readings are displayed common graph and an interactive map. Through the analysis of measurement data, there was a significant improvement in the control and maintenance of public water supply system

Ključne riječi: prikaz podataka, skupni graf, Interaktivna mapa, DMA zone.

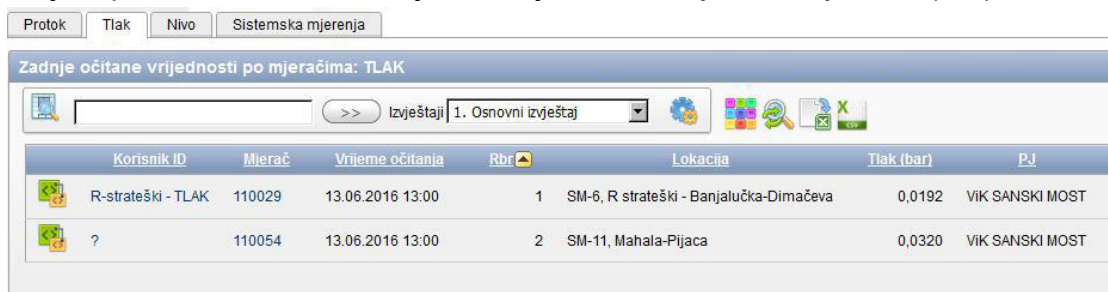
1. Uvod

Unutar centralnog sustava vodoopskrbe određene su pilot zone za uspostavu daljinskog nadzora i to za devet mjerenja protoka vode, dva mjerenja protoka i tlaka, dok se razina mjeri na jednom mjestu u vodostanu druge zone snabdijevanja centralnog sustava i u dislociranom sustavu, razina vode se mjeri u dva vodostana jednog cjevovoda..

2. Radno okruženje

2.1. Prikaz podataka (tlak)

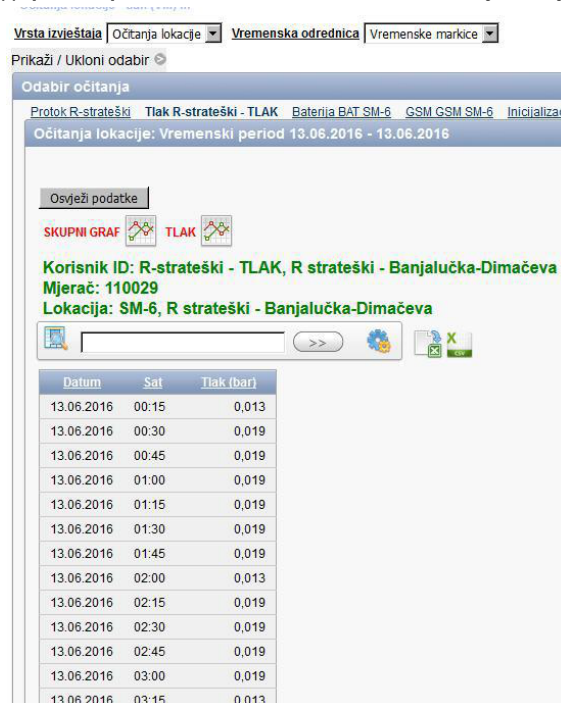
Prema trenutačnoj potrebi na displeju odabiremo podatke za: protok, tlak, nivo i sistemska mjerenja. Nakon što smo se pozicionirali na karticu mjerača tlaka, mogu se odabirati konkretne lokacije mjerenja. Pogled na displej, mjerenja tlaka, u 1. Osnovnom izvještaju su predstavljeni podaci: korisnik ID, mjerač, vrijeme očitavanja, lokacija, tlak (bar) i PJ.



Korisnik ID	Mjerač	Vrijeme očitavanja	Rbr	Lokacija	Tlak (bar)	PJ
R-strateški - TLAK	110029	13.06.2016 13:00	1	SM-6, R strateški - Banjalučka-Dimačeva	0,0192	VIK SANSKI MOST
?	110054	13.06.2016 13:00	2	SM-11, Mahala-Pijaca	0,0320	VIK SANSKI MOST

Slika 1. Pozicioniranje na karticu mjerača tlaka

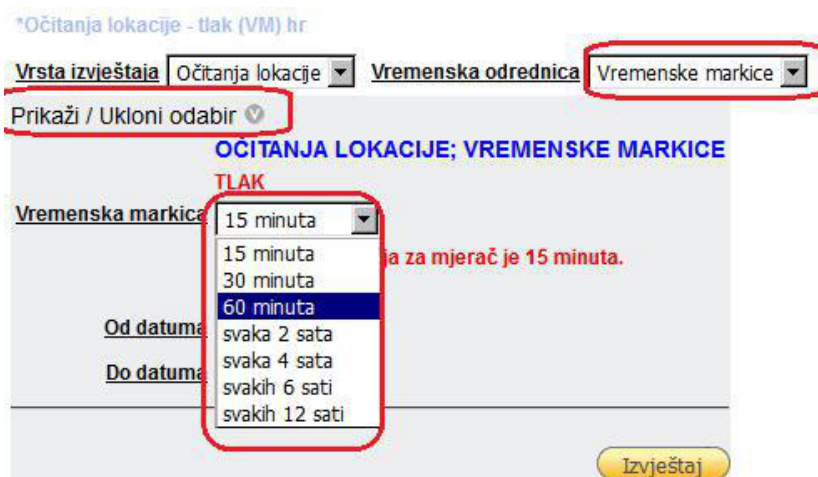
Brzi pristup analitici mjerenja omogućen je desnim klikom na zeleno-žutu ikonu bilo kojeg mjerača. Time se otvara skočni prozor s opcijama analitičkih obrazaca. Izborom opcije (02.Prikaz podataka (tlak)) pristupa se izborniku analitike mjerenja tlaka kako slijedi:



Datum	Sat	Tlak (bar)
13.06.2016	00:15	0,013
13.06.2016	00:30	0,019
13.06.2016	00:45	0,019
13.06.2016	01:00	0,019
13.06.2016	01:15	0,019
13.06.2016	01:30	0,019
13.06.2016	01:45	0,019
13.06.2016	02:00	0,013
13.06.2016	02:15	0,019
13.06.2016	02:30	0,019
13.06.2016	02:45	0,019
13.06.2016	03:00	0,019
13.06.2016	03:15	0,013

Slika 2. Pristup izborniku analitike mjerenja tlaka

Izmjena rezolucije mjerenja moguća je kroz opcije izbornika PRIKAŽI/UKLONI ODABIR u rasponu od 15 min do 12 h. Izbornikom VREMENSKA ODREDNICA moguće je dodatno mijenjati rezoluciju mjerenja i tako zahvatiti podatke u dnevnoj, mjesečnoj i /ili godišnjoj rezoluciji.



Slika 3. Izbornik VREMENSKA ODREDNICA

3. Nadogradnja sustava

Instalacija novog mjerača nivoa i poticaja na vodostanu D/b (44.751171, 16.699616) , Pumpna stanica Vh (44.685671, 16.735194) i vodostanu Vh (44.669215, 16.753254) i vodostanu Hu (44.665073, 16.711345). (voda ovih dionice prolazi kroz mjerenje cjevovodom Klj (44.760981, 16.669414). Pod pretpostavkom da se mjerači protoka instaliraju na sve nove lokacije. Uzeto je u obzir da se radi o mjeračima DN150 mm, nadalje, da vodostan Vh ima napajanje iz PS Vh, a da vodostan Hu i D/r nemaju električno napajanje. Za PS Vh ugrađuje se uređaj MT-151, koji u 3. fazi može preuzeti upravljanje pumpnom stanicom (lokalno i daljinski) kao i mjerač tlaka na tlačnom vodu prema vodostanu Vh i lokalni pokazni instrument koji će prikazati stanje tlaka. Za sve vodostane, predvidjeti mjerače protoka, hidrostatske potopne sonde, plovke min. i max. te lokalni pokazni instrument za prikaz razine vode. Unutrašnjost elektroormara IMG 5044 u pumpnoj stanici, i IMG 4747 vanjski izgled elektroormara vodostana, prikazani su na slici broj 4.



Slika 4. Elektroormarice IMG 5044 (pumpna stanica), i IMG 4747 (vodostan)

Pumpna stanica: PS Vh

Mjerna jedinica opremljena s programabilnim logičkim kontrolerom tip MT-151 HMI "Inventia" komplet s GSM/GPRS radijalnom antenom 5 dBi, za prijenos podataka u centar nadzora i integraciju u postojeći web bazirani nadzorni sustav AMR.control. Kapacitet: 16 xDI, 12 xDO (konfigurabilni kao DI), 4 xAI (4-20 mA), 2 xAI (0-10V) Ethernet port 10Base-T/100Base-TX, RS-232/485 serijski port (galvanski izoliran), RS-232 port s 5 V napajanjem za operatorski panel, integriran OLED grafički display (128x64 pix), integrirani GSM/GPRS modem, dual SIM modem, prijenos podataka prema prozivu iz centra nadzora, alarmu i/ili konfiguriranom vremenskom intervalu, napajanje: 10,8-36 Vdc, integrirano napajanje za SLA bateriju, napojni modul 230 Vac/24 Vdc s prigradenim UPS uređajem i aku-baterijom 12 Vdc 6,5 Ah. Limeni plastificirani elektroormari dimenzija 500x400x210 mm za smještaj PLC jedinice. Mjerna jedinica s spajanjem mjerača protoka, tip Promag 10L, DN150 mm, kompaktna verzija, IP67, klasa točnosti 0,5 %, strujni izlaz 4-20 mA, digitalni izlaz za sumarni protok. Mjerna jedinica s mjerjačem tlaka, tip PCE-28/0-16bar/4-20mA/PD "Aplisens" za mjerni opseg 0-16 bar, klase točnosti 0,2 %, opremljen strujnim mjernim izlazom 4-20 mA, procesni priključak G1/2"B, u zaštiti IP65, komplet s manometarskim ventilom G1/2"B za odzračivanje. Mjerač tlaka se ugrađuje na pripremljeni priključak G1/2"B. U mjerne jedinice ugrađuju se i parametrirani digitalni pokazni instrument, kao tip PMS-920 /E "Aplisens" sljedećih karakteristika: električni ulaz 4-20 mA/0-10V, napajanje: 24 Vac/dc, integrirano napajanje za mjerni transmiter: 100 mA, 24 Vdc. Pokazivač se ugrađuje na vrata elektroormara. Kabliranje opreme (kabeli tip FG7OR, YSLY, LiYCY položeni u PVC instalacijske kanale i PNT cijevi), sitni montažni, spojni i ostali nespecificirani materijal, označavanje opreme i sl.

Vodostani s postojećim mrežnim napajanjem: (vodostan Vh)

Mjerne jedinice s GSM/GPRS telemetrijskim uređajem, tip MT-713HC "Inventia" s funkcijom pohrane (datalog) podataka na internu mediju kapaciteta 4MB (10000 zapisa), min. rezolucije pohrane podataka od 1 sekunde, opremljen baterijom napona 4,5Vdc, kapaciteta 32Ah, (autonomija do 5 godina) i vanjskom radijalnom antenom dobitka 5dBi. Stupanj mehaničke zaštite uređaja je IP67.

Kapacitet uređaja minimalno 5 digitalnih, 3 analogna ulaza i 2 digitalna upravljačka izlaza. Uz opremu je programska oprema potrebna za lokalno i daljinsko konfiguriranje opreme te za prihvatanje podataka i integraciju u postojeći web bazirani nadzorni sistem AMR.control, napojni modul 230 Vac/24 Vdc, 2,5 A, DC/DC pretvarač 24 Vdc/5 Vdc s prigradenim UPS uređajem i aku-baterijom 4,2V dc 2,5 Ah, Limeni plastificirani elektroarmirani dimenzija 500x400x210 mm za smještaj PLC jedinice, sklopna i zaštitna oprema, montažni elementi, sabirnice, stezaljke, vezni i spojni materijal, ožičenje, oznake, natpisne pločice. Na mjernoj jedinici spaja se električni mjerača protoka, tip Promag 10L, DN150, kompaktna verzija, IP67, klasa točnosti 0,5%, strujni izlaz 4-20mA, digitalni izlaz za sumarni protok. Mjerna jedinica ima hidrostatske potopne sonde, kao tip SGE- 25/NN "Aplisens" sljedećih karakteristika: mjerni opseg 0-6 mH₂O, električni izlaz 0-2,5 Vdc, napajanje 3,6-4,5 Vdc, klasa točnosti 0,2 %, originalni kabel, l=8m. U kompletu sa sondom je inox nosač za montažu sonde i plovaka. Parametriranje digitalnog pokaznog instrumenta, tip PMS-920/E "Aplisens" karakteristika: električni ulaz 4-20 mA/0-10 V, napajanje: 24 Vac/dc, integrirano napajanje za mjerni transmiter: 100 mA, 24 Vdc. Pokazivač se ugrađuje na vrata elektroarmara. Podešavanje razine nivo sklopki s jednim SPDT kontaktom, 6A, 230 Vac, s 10 m original kabela. Kabliranje opreme je s kabelima tip FG7OR, YSLY, LiYCY položeni u PVC instalacijske kanale i PNT cijevi), sitni montažni, spojni i ostali nespecificirani materijal, označavanje opreme i sl.

Vodostani bez električnog napajanja: B/b i Hr

GSM/GPRS telemetrijski uređaj, tip MT-713HC "Inventia" s funkcijom pohrane (datalog) podataka na internu mediju kapaciteta 4 MB (10000 zapisa), min. rezolucije pohrane podataka od 1 sekunde, opremljen baterijom napona 4,5 Vdc, kapaciteta 32 Ah, (autonomija do 5 godina) i vanjskom radijalnom antenom dobitka 5dBi. Stupanj mehaničke zaštite uređaja je IP67. Kapacitet uređaja minimalno 5 digitalnih, 3 analogna ulaza i 2 digitalna upravljačka izlaza. Programska oprema potrebna za lokalno i daljinsko konfiguriranje, te za prihvatanje podataka i integraciju u postojeći web bazirani nadzorni sistem AMR.control. - DC/DC pretvarač 12-24 Vdc/5 Vdc s prigradenim UPS uređajem i aku-baterijom 4,2 Vdc 2,5 Ah PLC uređaj se smješta u elektroarmar solarnog FN sistema. Sklopna i zaštitna oprema, montažni elementi, sabirnice, stezaljke, vezni i spojni materijal, ožičenje, oznake, natpisne pločice.

Sustav za solarno napajanje

Poliesterski staklom ojačani elektroarmar za smještaj opreme dimenzija VxŠxD 647x436x250 mm, stupnja zaštite IP66, opremljen kako slijedi: FN panel snage 2x110 W,

polikristalni, kabel 4 mm² (30 m), MC4 spojnice, komplet s montažnim nosačima, osigurači, solarni PWM regulator punjenja, 10 A, 12 Vdc, DC/DC pretvarač 12/24 Vdc, ciklička hermetička stacionarna baterija kapaciteta 50 Ah, s ožičenjem. Mjerač protoka, tip Promag 10 L, DN150 mm, kompaktna verzija, IP67, klasa točnosti 0,5 %, strujni izlaz 4-20 mA, s digitalnim izlazom za sumarni protok. Hidrostatska potopna sonda, kao tip SGE-25/NN "Aplisens" sljedećih karakteristika: mjerni opseg 0-6 mH₂O, električni izlaz 0-2,5 Vdc, napajanje 3,6-4,5Vdc, klasa točnosti 0,2 %, originalni kabel, l=8m. U kompletu s inox nosačem za montažu su sonde i plovak. Parametriranje digitalnog pokaznog instrumenta, kao tip PMS-920/E "Aplisens" sljedećih karakteristika: električni ulaz 4-20 mA/0-10V, napajanje: 24 Vac/dc, integrirano napajanje za mjerni transmiter: 100 mA, 24 Vdc. Pokazivač se ugrađuje na vrata elektroormara. Podešavanje razine nivo sklopki s jednim SPDT kontaktom, 6 A, 230 Vac. Nivo sklopke s 10m original kabela. Nakon intervencije na procesnoj opremi obavezno je izvršiti ispitivanje.

4. Slabosti

Kod potkapacitiranosti solarnih sustava, kada se utvrdi da je oprema ispravna, očito je da tokom zime 60 W-ni FN sistemi ne mogu osigurati dovoljno energije za nesmetani rad mjernih mjesta. Intervencije na postojećoj opremi (naročito do sad evidentirani problemi na vodostanu Bd-KI, Lk-R/b, Np-Ft i mjeračima protoka cjevovoda Klj, H/K i Pb. Problem je moguće premašiti uz manju nadogradnju FN sistema. Na slici 05. Prikazan je postupak kontrole nivoa baterije FN sistema.



Slika 5. Kontrole nivoa baterije FN sistema

Kod kontrole FN sistema, dovoljno je izmjeriti napon na izlazu iz solarnog regulatora rano ujutro. Ako je baterija ispražnjena više od 50%, LED lampica baterije bit će crvena, a solarni regulator će prekinuti napajanje opreme (mjerit će se 0V) radi očuvanja baterije i

sprječavanja potpunog pražnjenja baterije. Nadogradnje na postojećoj opremi su nužne kako baterije ne bi stradale zbog dubokog pražnjenja u zimi. Servisnim obilaskom potrebno je utvrditi stanje opreme (mjerača, telemetrije, baterija). Na svim postojećim vodostanima umjesto solarnog i mrežnog napajanja, MT-713 loger spojen na interne baterije 32 Ah koje su iscrpljene i treba ih zamijeniti. Kvarovi su mogući na logeru kojeg uzrokuje prenapon (udar munje) kada objekti nemaju uzemljivača. Napajanje s interne baterije može izolirati telemetrijsku opremu od utjecaja okoline u dovoljnoj mjeri da spriječi ponavljanje havarije.

4. Analiza

U tijeku perioda od jedne godine pored više tehničkih usklađivanja procesne opreme s lokacijskim uvjetima, osunčanosti fotonaponskih modula i kvalitetom pokrivenosti GPS signalom lokalnih telekom operatora, došlo je značajnih kvaliteta u nadzoru proticaja, tlaka i nivoa vode za piće koja se distribuira u konzumne zone, preko pumpnih stanica i vodostana. Tabela prikaz na slici 6. pokazuje načine prikazivanja ulaznih podataka mjerenja: proticaja, tlaka i nivoa vode.

AMRcontrol2.0

Zadnje očitanje vjetrobrani za lokacijski mjerač: RAZINA OSM SIGNALA

Mjerna točka	Lokacija	Mjerna točka	Karakter ID	Mjerna vrijednost	Vrijeme očitavanja	Ukupna vrijednost	Ukupna vrijednost	Ukupna vrijednost	Ukupna vrijednost	Ukupna vrijednost
1	SM-1, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	OSM	OSM 7	17.07.2017 11:00	87.0000	87.0000	87.0000	87.0000	87.0000	87.0000
2	SM-2, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	OSM	OSM 8	17.07.2017 11:00	49.0000	49.0000	49.0000	49.0000	49.0000	49.0000

Zadnje očitanje vjetrobrani po mjestima: NIVO

Mjerna točka	Lokacija	Mjerna točka	Karakter ID	Mjerna vrijednost	Vrijeme očitavanja	Nivo (mm)	PJ	Područje	Alarm	Napomena	Vrednost
1	SM-1, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	NIVO	NIVO 1	17.07.2017 11:00	281	281	0	0	0	0	281
2	SM-2, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	NIVO	NIVO 2	17.07.2017 11:00	290	290	0	0	0	0	290

Zadnje očitanje vjetrobrani za lokacijsko mjesto: SISTEMSKA MUZEČKA

Lokacija	Mjerna točka	Baterija	OSM	Karakter ID	Mjerna vrijednost	Vrijeme očitavanja	Ukupna vrijednost	Ukupna vrijednost	Ukupna vrijednost	Ukupna vrijednost
SM-7	SM-7, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	4.500	87.000	1	132	17.07.2017 11:00	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
SM-1	SM-1, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	4.500	87.000	1	240	17.07.2017 11:00	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102

Zadnje očitanje vjetrobrani po mjestima: TLAK

Mjerna točka	Lokacija	Mjerna točka	Karakter ID	Mjerna vrijednost	Vrijeme očitavanja	Tlak (bar)	Alarm	Vrednost
1	SM-1, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	TLAK	TLAK 1	17.07.2017 11:00	0.0102	0.0102	0	0.0102
2	SM-2, Osmena, Aloga / D-11000 / 11000	TLAK	TLAK 2	17.07.2017 11:00	0.0102	0.0102	0	0.0102

Slika 6. Prikaz ulaznih podataka mjerenja: proticaja, tlaka i nivoa vode.

Izborom opcije graf rezultati mjerenja se predstavljaju u zavisnosti od odabranog izbora vremenskih intervala. Na slici 7. se u tri grafikona predstavljaju rezultati mjerenja iz kojih se može analizirati mjerenje u vremenskom intervalu 6 mjeseci (1.) ili 1 mjesec (2). Moguće je grafički predstaviti, kroz vremenski interval, mjerenja i kapacitet baterije (varijabilnost kapaciteta u ovisnosti o potrošnji i punjenju s foto naponskih panela (3).



Slika 7. Rezultati mjerenja u vremenskom intervalu 6 mjeseci (1.) ili 1 mjesec (2.)

5. Zaključak

Nadzor vodoopskrbnog sustava prijenosom podataka sa dataloggera s GPS okruženjem uveliko daje očekivane efekte. Umrežavanjem prve skupine mjerila u vodovode, kroz pilot projekt, pokriveni su svi važniji čvorovi za nadziranje zona opskrbe. Moguće je trenutačno ili u zadanom vremenskom opsegu pratiti rezultate mjerenja. Kod analize se uspoređuju trenutna očitavanja s ranije utvrđenim prosječnim rezultatom (etalon) istovjetnog uvjeta (zonskog i vremenskog). U tijeku jednogodišnjeg rada sustava pojavljivali su se određene slabosti koje su blagovremeno otklonjene. Sustav se, dalje, proširuje na drugu fazu strateških mjerača. Kroz ovaj pregled su predstavljeni samo tehnički aspekti dok će se financijske analize raditi u narednom periodu.

6. Literatura

- [1] Trožić, Emir; Trožić, Enver. Umrežavanje strateških mjerača protoka u centralni softver vodovoda Sanski Most, Osijek, 2011., (rad u zborniku),
- [2] Trožić, Emir; Trožić, Enver; Smajić, Edin, Prilog analizi trenutnog stanja zonskih mjerača protoka središnjeg vodoopskrbnog sustava Sanski Most, Osijek, 2012., (rad u zborniku),
- [3] Trožić, Emir; Smajić, Edin; Trožić, Enver , Uvezivanje lokalnih vodovoda, viših perifernih zona opskrbe, istočnog dijela općine Sanski Most u centralni vodovodni sustav, Osijek, 2012., (rad u zborniku),
- [4] Trožić, Em., Trožić, En., Smajić, Ed., Koncept kontinuiranog monitoringa strateških i zonski mjerača protoka središnjeg vodoopskrbnog sustava, Osijek, 2013., (rad u zborniku),
- [5] Trožić, En. Trožić, Em. Smajić, Ed, Modeliranje utjecajnih parametara za izbor mjerila protoka u eksploatacijskim uvjetima kod tretmana vode za piće, Osijek, 2014., (rad u zborniku),
- [6] Trožić, En. Trožić, Em. Smajić, Ed, Primjena telemetrijskih modula u nadzoru vodoopskrbnih sustava, Osijek, 2015., (rad u zborniku),
- [7] Endress+Hauser, Proline Promag 53, Electromagnetic Flow Measuring System – elektromagnetni protočni mjerni sistem, Brief operating instructions, Kratke upute za upotrebu,
- [8] Strategic Connections, 97503/UAF-505, Sanski Most Water supply reconstruction project, European Commission, Phare, Devco Ireland, Barry International, 1997.,
- [9] Technical Information WirelessHART Adapter SWA70, https://portal.endress.com/wa001/dla/5000373/0002/000/03/TI00026SEN_1310.pdf ,
- [10] Operating Instructions Fieldgate FXA320 Ethernet, Modem and GSM gateway for 4 – 20 mA analog and binary devices, https://portal.endress.com/wa001/dla/5000241/6640/000/03/BA00053SEN_1514.pdf ,
- [11] Invenia: MT serija GPRS/GSM Modula, Control Engineering d.o.o., Rijeka, www.control.hr/pd/133/pgoid/11/Inventia--MT-serija-GPRS-GSM-modula.wshtml ,
- [12] Alpisens S.A.-manufacture of industrial measuring instruments and automation equipment, www.control.hr/Repository/Dokumenti/Aplisens%20Product%20Presentation.pdf



Iskustva u održavanju vodoopskrbnog sustava grada Osijeka *Experience in maintenance of the water supply system in Osijek*

F. Dako^{1*}, P. Raos², A. Stoić², T. Šarić², G. Šimunović², I. Samardžić²,
J. Zima¹

^{1*}Vodovod Osijek d.o.o; Osijek, Hrvatska

² Strojarški fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: franjo.dako@vodovod.com

Sažetak

Tvrtka Vodovod Osijek d.o.o; kao isporučitelj vodnih usluga svoje poslovanje temelji na dvije odvojene djelatnosti, a to su vodoopskrba i odvodnja. Vodoopskrbni sustav isporučitelja vodnih usluga je organizam koji je živ 24 sata dnevno 7 dana tjedno te kao takav iziskuje određene zahvate kako u vidu održavanja tako i u vidu razvoja te nadogradnje postojećeg sustava. Sustav vodoopskrbe ima dvojaku ulogu, prvenstveno mora osigurati kontinuiranu zdravstvenu ispravnu vodu za ljudsku potrošnju svim korisnicima sustava, te ujedno mora biti na raspolaganju u vidu stabilnog izvora vode za potrebe javne vatrogasne postrojbe. Unutar sustava postoji razgranata mreža cjevovoda koja započinje s pogonom za proizvodnju vode na lokaciji „Nebo pustara“ na centralnoj lokaciji Vodovod Osijek d.o.o. te se istom vrši daljnja distribucija vode za ljudsku potrošnju do krajnjeg korisnika. Sustav trenutno poznaje preko 550 km mreže, više od 37 000 mjernih mjesta te trenutno ima oko 55 000 korisnika. Rekonstrukcijom i nadogradnjom trenutnih čvorova te izgradnjom novih s elektromotornim pogonima, mjeracima tlaka i protoka upotpunjuje se centralizirani način upravljanja putem SCADA aplikacije koji trenutno poznaje 55 opremljena čvora temeljena na nadzorno upravljačkom sustavu NUS. Prioritetni dio održavanja odnosi se na utjecaj smanjenja gubitaka unutar istog, tj. na definiranje kritičnih točaka te saniranje lokacija gdje postoji nekontrolirano istjecanje.

Ključne riječi: vodoopskrba, održavanje, NUS, SCADA

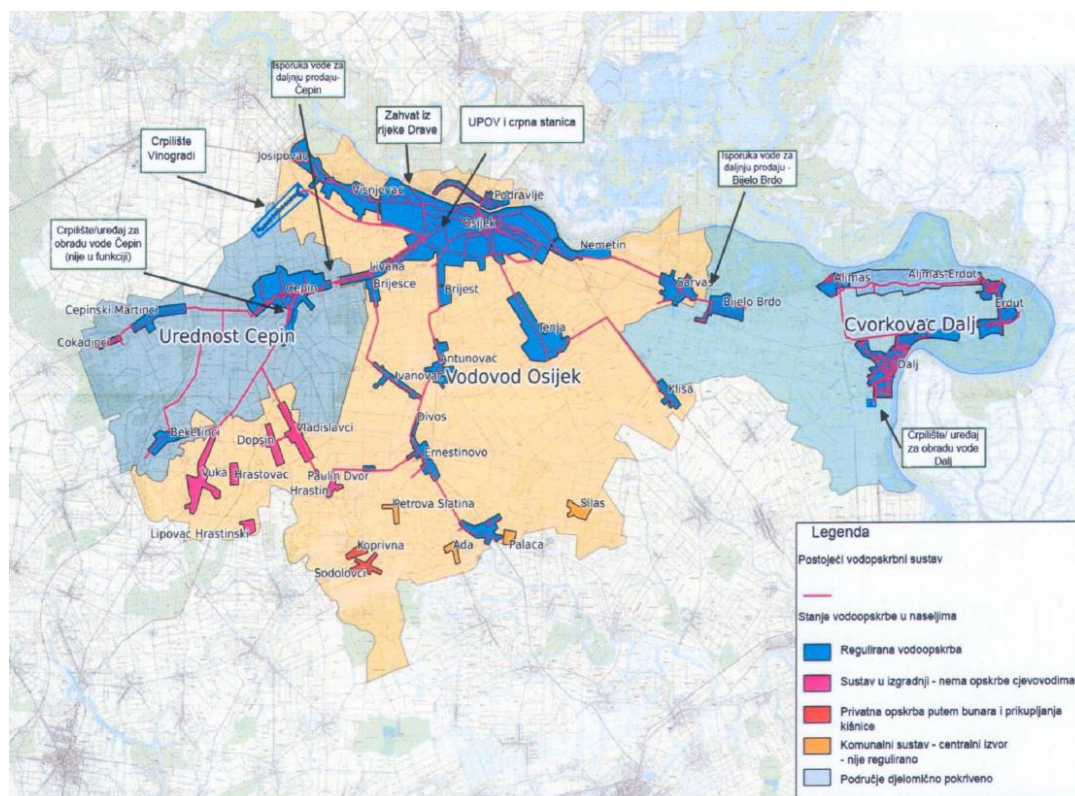
Abstract

The activities of Vodovod Osijek d.o.o. as a water services provider include water supply and drainage. The water supply system of the water services provider is an organism that is alive 24 hours a day, 7 days a week, and as such requires certain interventions in terms of both maintenance as well as development and upgrading of the existing system. The role of the water supply system is twofold: primarily to ensure continuous, healthy drinking water for all system users, and at the same time to be available as a stable source of

water for the needs of the public fire brigade unit. The system has a well-spread pipeline network that begins with a water production plant at the "Nebo pustara" location at the Vodovod Osijek d.o.o. central location from which the water for human consumption is further distributed to the end user. The system currently has over 550 km of network, more than 37,000 metering points and currently about 55,000 users. The reconstruction and upgrading of current nodes and building of new ones with electric motor drives, pressure gauges and flow meters complements the centralized SCADA management mode that currently has 55 equipped nodes that are based on the supervisory and control system (NUS). The priority of maintenance is the impact of reducing losses within the same, i.e. defining critical points and repairing uncontrolled leakage spots.

1. Uvod

Vodoopskrbni sustav grada Osijeka poznaje preko 550 km mreže koja obuhvaća konstantnu isporuku vode za ljudsku potrošnju za oko 130 000 žitelja uslužnoga područja javnog isporučitelja vodnih usluga kako je i vidljivo na slici br.1. uz tlak koji se kreće od 4 – 5 bar-a u sustavu.



Slika 1. Pokrivenost sustava javnom vodoopskrbom na području Osijeka [1]

Unutar sustava nalazi se više od 37 000 mjernih mjesta te oko 55 000 evidentiranih korisnika. Od cca 37 000 mjernih mjesta, sustavom daljinskog očitavanja vodomjera pokriveno je oko 3 500 brojila te se ujedno radi na neprekidnoj nadogradnji i razvoju istoga. Trenutna pokrivenost radijskim signalom u potpunosti je osigurana na području grada Osijeka, te prigradskog naselja Sarvaš, a u skorije vrijeme planira se implementacija daljinskog očitavanja brojila i na naselje Ivanovac. Sustav vodoopskrbe je konstantno u

funkciji tokom cijele godine te je u smislu održavanja vrlo zahtjevan i izazovan. Obzirom na obvezu osiguranja stabilnog izvora vode temeljem Pravilnika NN br. 58/93 i 33/05, sustav javne vodoopskrbe poznaje približno 3000 hidranata od kojih je najviše zastupljeno nadzemnih hidranata oko 60% te podzemnih hidranata na koje se odnosi 40%. Širenjem distributivnog područja paralelno se razvijala mreža cjevovoda koja je dodatno rasla te se ista izgrađivala i razvijala nekoliko desetljeća. Temeljem navedenog i upotreba raznog materijala unutar sustava je vidljiva u tablici br. 1 gdje je prikazan odnos materijala i postotnog udjela istoga u sustavu.

Tablica 1. Postotni udio materijala u vodoopskrbnoj mreži grada Osijeka [2]

R.br.	Materijal cjevovoda	Postotak udjela u mreži
1.	PE-HD	22-25%
2.	PVC	22-25%
3.	Lijeivano željezo	22-25%
4.	Azbestcement	22-25%
5.	Lijeivano željezo – nodularni lijev	-4%

Starost vodoopskrbnog sustava prvenstveno se mjeri u starosti cjevovoda tj. nadnevaka kada su isti izgrađeni. Obzirom na navedeno lako razlikujemo postotni udio u cjelokupnom sustavu mreže što je ujedno i vidljivo u tablici br.2

Tablica 2. Postotni udio starosti cjevovoda u sustavu mreže [2]

R.br.	Starost cjevovoda	Postotni udio
1.	Do 10 godina	10%
2.	Od 10 – 30 godina	35%
3.	Od 30 – 50 godina	50%
4.	Preko 50 godina	5%

Cjelokupna mreža zbog jednostavnijeg i lakšeg upravljanja poznaje preko 2 000 zasunskih okana kojima se izravno utječe na samu distribuciju vode, od kojih se unutar sustava NUS-a (**NUS** – **N**adzorno **U**pravljački **S**ustav) nalazi 55 zasunskih okana tj. čvorova. Samo upravljanje, te regulacija istima omogućen je iz Centrale, gdje je ujedno moguće izvršiti potrebno zatvaranje odnosno otvaranje određenog zasuna s mogućnošću očitavanja tlaka i protoka u realnom vremenu. Zbog osiguranja distribucije zdravstveno ispravne vode, vrše se uzorkovanja vode na 45 lokacija širom mreže od strane internog laboratorija te se ujedno vrši i monitoring od strane Zavoda za javno zdravstvo. Obzirom na količinu razvodne mreže, količinu isporučene vode te broja stanovnika koji se opskrbljuje, kontrola je definirana HACCP sustavom kroz godišnji plan.



2. Održavanje

Zbog kompleksnosti sustava koji mora biti stabilan sa što je moguće manjim i kraćim prekidima u distribuciji vode do krajnjih korisnika, samo održavanje takvog sustava zahtjeva sveobuhvatan pristup.

Održavanje sustava javne vodoopskrbne mreže najčešće se dijeli na:

- preventivno održavanje,
- redovno (planirano) održavanje,
- korektivno (interventno) održavanje.

Zbog veličine mreže te neprekidne distribucije vode za ljudsku potrošnju, održavanje sustava je definirano u tri smjene, tokom cijele godine uključivo i praznike te neradne dane.

2.1 Preventivno održavanje

Kako i sam naziv govori radi se o prevenciji tj. predviđanju mogućih štetnih događaja na sustavu te potrebnom odazivu kako bi se taj događaj umanjio i po mogućnosti u potpunosti izbjegao. Iskustveno nije moguće predvidjeti sve događaje, međutim analizom raspoloživih podataka moguće je izvesti određene zaključke. Pod preventivnim održavanjem najčešće podrazumijevamo sve aktivnosti koje mogu pozitivno djelovati u smanjenju prekida distribucije vode. Konkretno, izborom materijala, spojnih elemenata, armatura i fazonskih komada, te utjecajem prilikom izvođenja ili rekonstrukcije pojedinih cjevovoda uvelike se može smanjiti nastanak interventnog djelovanja u sustavu. Naime, u ovisnosti o kvaliteti ugrađenog materijala te kvaliteti izvedenih radova izravno se utječe na eksploatacijski vijek cjevovoda. Podizanjem sviješću korisnika o potrebnoj samokontroli i razboritom trošenju vode kao resursa moguće je reducirati potrošnju te ujedno smanjiti nepotrebno rasipanje istim. Uklanjanje utjecaja atmosferskih prilika na sustav prvenstveno u zimskim uvjetima značajno produljuje planirani životni vijek sustava kako je vidljivo i na slici br.2.



Slika 2. Prikaz adekvatne zaštite na PE-HD cjevovoda preko rijeke Vuke

Temperaturni utjecaj je neizbježan i u ljetnim mjesecima te samo povećanje temperature na djelu cjevovoda je neprihvatljivo jer isti štetno utječe na kvalitetu vode. Unutar sustava definirani su vodomjeri kod kojih najčešće zbog neadekvatne toplinske zaštite dolazi do loma stakla uslijed smrzavanja. Zbog učestalih pojava ovakvih događaja, konstantno se vrši apeliranje prema korisnicima vodnih usluga o adekvatnoj zaštiti istih.

Preventivno održavanje sustava vodopskrbe podrazumijeva i kontrolu otvorenosti /zatvorenosti zasuna i leptirica unutar zasunskih okana koji se prvenstveno kontroliraju putem NUS-a mreže i to na mjesečnoj bazi.

2.2 Redovno (planirano) održavanje

Odnosi se na aktivnosti koje su unaprijed planirane na sustavu vodoopskrbne mreže u cilju pravilnog funkcioniranja istoga. Vodoopskrbna mreža poznaje nekoliko aktivnosti redovnog održavanja od kojih su najčešće zastupljeni sljedeći:

- redovna izmjena vodomjera,
- redovno ispiranje vodoopskrbne mreže,
- kontrola ispravnosti hidrantskog sustava,
- redovne aktivnosti na analizi nekontroliranih gubitaka,
- izmjena dotrajalih elemenata, fazonskih komada i armatura,
- redovne (planirane) obustave isporuke vodnih usluga.

Redovna izmjena vodomjera odnosi se na istek ovjerenog razdoblja samoga vodomjera, s datumom ugradnje vodomjera započinje teći i ovjerenom razdoblje, tj. svaki ugrađeni vodomjer nakon isteka razdoblja od pet godina mora se demontirati, servisirati te ponovno ovjeriti od strane Državnog zavoda za mjeriteljstvo kako bi se ponovno mogao ugraditi u sustav. Na godišnjoj bazi unutar vodoopskrbnog sustava izvrši se oko 7 000 komada redovne izmjene vodomjera, zbog ograničenja od tri ovjerena razdoblja nešto se manje servisira te ponovno ovjerava.

Ispiranje vodoopskrbne mreže vrši se dva puta godišnje i to u proljeće i jesen, tj. proljetno ispiranje i jesensko ispiranje mreže, isto ima dvojaku ulogu. Prvenstveno se radi zbog poboljšanja kvalitete vode unutar sustava, te zbog kontrole ispravnosti hidrantske mreže. Aktivnosti koje su vezane za ispiranje vodoopskrbne mreže unaprijed su najavljene putem medija te se isključivo izvode u noćnim satima u intervalu od 22.00h do 06.00h zbog utjecaja prometa i lakšeg pristupa hidrantima. Sama dinamika ispiranja uvelike ovisi o uvjetima na terenu te zna trajati do dva mjeseca tj. osam tjedana, gdje se na tjednoj bazi vrši izmjena ekipa.

Aktivnosti koje su usko vezane za analizu gubitaka unutar vodoopskrbnog sustava baziraju se na neprekidnom terenskom radu, koji ujedno podrazumijeva obilazak vodoopskrbnog sustava. Cjelokupan sustav podijeljen je sukladno gradskim četvrtima i prigradskim naseljima te se ciljano kontroliraju gubici unutar istih.

Za vrijeme redovne izmjene vodomjera, ljetnog i jesenskog ispiranja mreže te uslijed detektiranja neispravnih, oštećenih ili uklonjenih elemenata na vodoopskrbnom sustavu vrši se izmjena istih ispravnima.



Planirani prekidi u vodoopskrbi sukladno Općim i tehničkim uvjetima isporuke vodnih usluga moraju se prijaviti putem medija, te se ujedno postavljaju i na internetsku stanicu tvrtke Vodovod Osijek d.o.o. U slučaju da se zbog radova i sigurnosti svih sudionika prilikom izvođenja montažerskih radova na cjevovodu planirani radovi mogu biti organizirani i za vrijeme radnoga vremena u prvoj smjeni i to od 07.00h do 15.00h kako je i vidljivo na slici br.3.



a)



b)

Slika 3. Radovi na magistralnom cjevovodu DN 300 Čepin
a) prije montaže, b) nakon montaže čvorišta

Predmetna objava sadržava vrijeme prekida isporuke te mjesto, odnosno ulice s omeđenim kućnim brojevima. Veći zahvati na samome sustavu najčešće se planiraju u noćnim satima i to u intervalu od 22.00h do 06.00h kada je i potrošnja vode unutar sustava najniža, te se smatra kako se obustavom u navedenim intervalima minimalno remete aktivnosti korisnika. Najčešće se koriste za vrijeme rekonstrukcija i izgradnje novih cjevovoda i zasunskih okana.



2.3 Korektivno (interventno) održavanje

Najnepovoljniji vid i način održavanja, financijski najveće opterećenje za sustav. Nastoji se utjecati na smanjenje pojave istoga. Iziskuje nepredviđene radnje te reorganizaciju ekipa na terenu uslijed potrebe za predmetnim održavanjem.

Najčešće aktivnosti koje su usko povezane uz interventno održavanje jesu:

- neodgodiva organizacija operative na terenu,
- privremena obustava isporuke vodnih usluga,
- saniranje nastale štete na sustavu,
- saniranje javnih površina te dovođenje istih u prvobitno stanje.

Zaprimanjem intervencije u vidu nekontroliranog istjecanja vode na vodoopskrbnom cjevovodu, neodgodivo se vrše potrebite radnje kako bi se zaustavilo predmetno istjecanje iz sustava te kako bi se spriječila i umanjila mogućnost pojave štete na istom kako je i vidljivo na slici br.4.



a)



b)

Slika 4. Saniranje nekontroliranog istjecanja vode uslijed loma na cjevovodu DN 200 PVC
a) prije sanacije b) nakon sanacije

Zbog navedenih razloga u ovisnosti o procjeni na terenu neophodno je organizirati građevinsku operativu koja vrši iskope te ujedno pripreme radnje za saniranje cjevovoda. Privremeno se vrši obustava isporuke vodnih usluga na dionici gdje je nastao lom cjevovoda, koji je najčešće omeđen zasunskim oknima te se unutar istih zatvaraju potrebni zasuni sve dok se ne sanira lom na cjevovodu.

Neposredno prije obustave isporuke vodnih usluga, informacija o istome prosjeđuju se medijima te se pristupa saniranju loma tj. oštećenja na sustavu. Samo saniranje loma ne cjevovodu mora biti izvršen u što je moguće kraćem vremenskom intervalu. Nakon izvršene sanacije cjevovoda pristupa se potrebnom saniranju javnih površina, nogostupa, cesta itd.

Učestala pojava intervencija koja su ujedno usko grupirana daje pravo na sumnju u sustav na predmetnoj dionici te se najčešće planira rekonstrukcija istoga.

3. Zaključak

Iskustva u održavanju vodoopskrbnog sustava temelje se na poznavanju same funkcije sustava te njegove uloge u svakidašnjem i neprekidnom životu cjelokupne sredine. Zbog ovisnosti korisnika o javnom vodoopskrbnom sustavu neophodno je preventivno djelovati na sve moguće aspekte sustava kako bi se smanjile nepoželjne obustave isporuke vodnih usluga te ujedno i povećala njegova pouzdanost.

4. Literatura

- [1] RVS Osijek opis projekta vodovod.com/regionalni-vodoopskrbni-sustav-Osijek 27.06.2017. str. 7
- [2] Projekt – Regionalni vodoopskrbni sustav Osijek, Studija izvedivosti, dio 1: Tehničko izvješće, veljača, 2014 str. 70,71

Razvojne faze i ključne karakteristike DBaaS *cloud* servisa baziranog na konsolidiranom Informacionom modelu kompanija energetskeg sektora
The Development phases and key features of DBaaS cloud service based on consolidated Information model for companies of the Energy sector

J. Dizdarević*

KJKP Sarajevogas d.o.o., 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju. E-mail: jasminad@sarajevogas.ba

Sažetak

U posljednjih nekoliko godina intenzivirana su nastojanja i investicije u energetske sektor Bosne i Hercegovine, kako bi se unaprijedio čitav proces pristupanja u vezi zahtijeva energetskeg sektora, zatim otklonili nedostaci na postojećem maloprodajnom tržištu i isto učinilo u najvećoj mogućoj mjeri transparentnim, te ostvarile uštede energije i raspoloživih energenata u BiH koristeći regulatorne podsticaje i napredak u ispunjavanju uvjeta za pristupanje EU u energetskeg sektoru. S tim u vezi je objedinjavanje i integracija informacionih modela i sustava kompanija komunalnog i energetskeg sektora kako bi se podržao njihov kolaborativan rad. Faktički, tek sa pojavom *cloud computing* tehnološke platforme i konceptualnog modela širom se otvaraju vrata za implementaciju ovakvih ideja i težnji u IT sektoru kompanija energetskeg sektora. Ovo znači tranziciju u napredniji poslovni model baziran na *cloud* servisnoj platformi čime se otvaraju mogućnosti za kreiranje konvergentnih javnih i ostalih komunalnih servisa. Time bi se doprinijelo povećanom zadovoljstvu vlastitih korisnika, partnera i ostalih klijenata koji bi se koristili implementiranim *cloud* servisima. Osim poboljšane usluge i općenito komunikacije sa eksternim klijentima doprinijelo bi se ostvarenju većeg profita te postizanju kompetitivne prednosti na tržištu zahvaljujući prije svega funkcionalnijim i bolje integriranim internim, poslovnim funkcijama i procesima.

Evidentne su određene razvojne faze i ključne karakteristike zamišljenog DBaaS *cloud* servisa kompanija energetskeg i komunalnog sektora, baziranog na konsolidiranom Informacionom modelu i pripadajućim IT sustavima podrške. Sveobuhvatnom analizom postojećih sustava, funkcija i podataka dolazi se do zaključka da se ovaj kompleksni Informacioni model sastoji iz nekoliko ključnih elemenata (podmodela): -modela uloga, -modela domena, -modela objekata ili aktera na maloprodajnom tržištu energije, -modela mreže ili distributivnog sustava (DS), -modela upravljanja imovinom ODSa i resursima, -

modela upravljanja mjernim podacima (eng. *Master Data Management, MDM*) koji se odnosi na upravljanje mjernom infrastrukturom i ostalim segmentima i cjelinama distributivne mreže/sustava. Svi pomenuti elementi (podmodeli) konsolidiranog Informacionog modela su detaljno izloženi i raščlanjeni u okviru rada. Npr. model uloga predstavlja formalno sredstvo za identifikaciju uloga i domena koje učestvuju u razmjeni informacija na maloprodajnom tržištu energijom, te služi da se definiše egzaktna tržišna pozicija svih aktera, itd.

Dakle, kako bi se uspostavilo transparentno maloprodajno tržište energije u BiH spremno za buduće promjene u smislu otvaranja i liberalizacije istog, potrebno je poduzeti korake ne samo na izradi/doradi i usaglašavanju pravila i postojećih procesa koji se ponajprije odnose na ODSove, zatim izradi i usvajanju tehničkih standarda za razmjenu podataka na tržištu, već značajan iskorak u smislu konsolidacije Informacionog modela i pratećih IT sustava podrške, koji će potom omogućiti uobličavanje i redefiniciju odgovarajućeg seta mrežnih pravila.

Također, treba imati u vidu da konsolidacijom pojedinačnih transakcijskih RDBMS baza podataka kompanija energetske i komunalnog sektora u okviru *cloud* visokodistribuiranog okruženja, a potom formiranjem integralne CDBMS baze podataka na *cloud* platformi, dolazi do neminovnih promjena u dizajnu, organizaciji i upravljanju uspostavljenim kompleksnim, heterogenim sustavom baza podataka. U okviru rada će naročito biti prezentirani ključni segmenti konsolidiranog Informacionog modela i relevantni podsustavi IT podrške, a također će biti razmotrena i njihova pozicija i uloga u kompletnom, jedinstvenom Informacionom sustavu kompanija energetske sektora.

Ključne riječi: DBaaS *cloud* servis, *cloud computing*, CDBMS, konvergentni servisi, upravljanje energetskim sustavima

Abstract

In recent years intensified are the efforts and investments in the energy sector of Bosnia and Herzegovina, in order to advance the accession process regarding requirements of the energy sector, then remove defects in the existing retail market and also made as far as possible transparent, then achieve savings of energy and available energy resources in BiH using regulatory incentives and progress in meeting the conditions for joining the EU in the energy sector. This is in conjunction with the consolidation and integration of information models and systems for companies of utility and energy sector, in order to support their collaborative work. In fact, only with the advent of *cloud computing* technology platform and conceptual model widely opened doors for the implementation of these ideas and aspirations in the IT sector of companies of the energy sector. This means transition to a more advanced business model based on *cloud* service platform thus opening opportunities for convergent public and other utility services. This would contribute to increased satisfaction of their own customers, partners and other clients to use the

implemented *cloud* services. In addition to improved services and general communication with external client's customers contributed to the realization of higher profits and achieve competitive advantages in the market primarily due to the more functional and better integrated internal, business functions and processes.

Evident are certain developmental stages and key features of conceptual DBaaS *cloud* service for companies of energy and utility sector, based on the consolidated information model and related IT support systems. Comprehensive analysis of existing systems, functions and data leads to the conclusion that this complex information model consists of several key elements (sub-models): -role model, -domain model, -model of objects or actors in the retail energy market, -model of network or distribution system (DS), -model of asset and resource management for ODS, -model for management of measurement data (i.e. *Master Data Management, MDM*) that refers to the management of the metering infrastructure and other segments and elements of distribution network/system. All these elements (sub-models) of consolidated Information model are thoroughly exposed and analyzed in the context of work. For example, a role model is a formal means of identifying the roles and domains that participate in the exchange of information on the retail energy market, and serves to define the exact market position of all stakeholders, etc.

So, in order to establish a transparent retail energy market in BiH ready for future changes in terms of opening and the liberalization, it is necessary to take some steps not only to the construction/amendment and harmonization of these rules and existing processes that are primarily related to ODSs, then the formulation and adoption of technical standards for data exchange in the market, but a significant step forward in terms of consolidation of the information model and related IT systems of support, which will then allow shaping and redefining the appropriate set of network policies.

Also, it should be noted that the consolidation of individual transactional RDBMS database companies of the energy and utility sector in the *cloud* highly-distributed environment, and then forming an integral CDBMS database on the *cloud* platform, there is the inevitable changes in the design, organization and management of established complex, heterogeneous system database. As part of the work will particularly be presented key segments of the consolidated information model and relevant subsystems IT support, and will also be reviewed and their position and role in the complete, unified information system for companies of the energy sector.

Keywords: DBaaS *cloud* service, *cloud computing*, CDBMS, convergent services, management of energy systems

1. Uvod

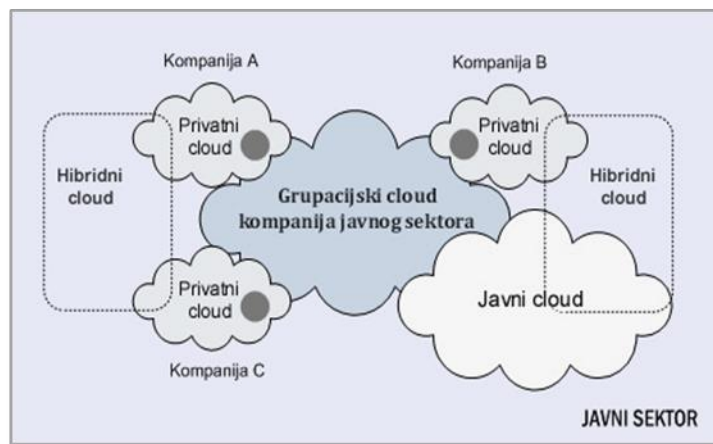
Već duži niz godina se u okviru kompanija energetske sektora BiH uočava jasan nedostatak zajedničkog IT poslovnog modela i platforme kako bi se u najvećoj mogućoj

mjeri podržao njihov kolaborativan rad i sinergizacija poslovanja kao preduvjet daljeg napretka i razvoja oformljenih energetske sustava/mreža i mrežih servisa. Imajući u vidu evidentnu i značajnu perturbaciju *cloud* tehnologije u gotovo područja poslovnog svijeta i pozitivne efekte i rezultate njene primarne primjene to se kao logičan slijed progresije poslovnog modela kompanija energetske sektora nameće uvođenje i implementacija *cloud* platforme na svim razinama energetske sustava. Opravdanost uvođenja ove tehnologije se ponajprije vidi u robustnijem poslovnom modelu u čijem je fokusu servis na zahtijev (eng. *on-demand service*), uvijek dostupan i korišten u skladu sa realnim potrebama organizacije. Iznajmljivanjem IT kapaciteta na zahtijev, u realnom vremenu, ostvaruju se brojne uštede i dugoročno osigurava povrat uloženi investicija. Dalje, korisnici *cloud* usluga plaćaju iste po stvarnoj potrošnji (eng. *pay-per-use*) odnosno u obimu i vremenu u kojem su ih koristili. Samouslužna (eng. *self-service*) priroda *cloud* platforme kompanijama omogućava stvaranje odgovarajućeg i elastičnog okruženja, koje se povećava i smanjuje u zavisnosti od poslovnih potreba, mogućnosti ali i ciljanih performansi. Upravo iz ovih razloga *cloud* predstavlja veoma isplativu i opravdanu tehnološku platformu za uvođenje i implementaciju u okviru kompanija energetske sektora.

2. Konceptcija *cloud* platforme u okviru javnog, energetske sektora

Ipak, iz ponuđenih *cloud* modela definiranih u okviru inicijalnog, referentnog NIST *cloud* frameworka [1] biće izabran grupacijski model (eng. *community model*) sa hibridnim jediničnim implementacijama modela (eng. *hybrid model*) jer ova *cloud* komplementarna implementacija pokazuje najbolje performanse i pruža višestruke prednosti iz više relevantnih aspekata, to se ista predlaže kao optimalno rješenje i funkcionalna konceptcija zajedničkog okruženja za kompanije energetske sektora. Na bazi ove platforme će se omogućiti i podržati lansiranje različitih energetske efikasni, konvergentni servisa u skladu sa korisničkim potrebama.

Zajednički, grupacijski *cloud* predstavlja integrisanu arhitekturu formiranu na bazi viška kapaciteta, te bi obuhvatio javna poduzeća, koja bi se na ovaj način međusobno ispomagala raspoloživim računarskim resursima. Hibridni *cloud* bi funkcionisali kao samostalne jedinice, formirane za pojedina javna poduzeća i bazirani na vlastitoj infrastrukturi poduzeća i, eventualno, dijelovima javnog *clouda* provider servisa, ili bi pak obuhvatali više privatnih *clouda* različitih javnih poduzeća - ukoliko su zahtjevi na sigurnost većeg reda. Ipak, važno je naglasiti da korištenju servisa i resursa javnog *clouda*, kompanije treba da priđu sa naročitim oprezom imajući u vidu činjenicu da ovakva implementacija *clouda* nudi najniži nivo sigurnosti sustava. Korištenje javnih *clouda* je zgodno u situacijama privremene potrebe za određenim resursima ili softverom te na taj način nije potrebno plaćati nikakvu naknadu ili licence za isti.



Slika 1. Konceptija *cloud* okruženja u javnom, energetskom sektoru

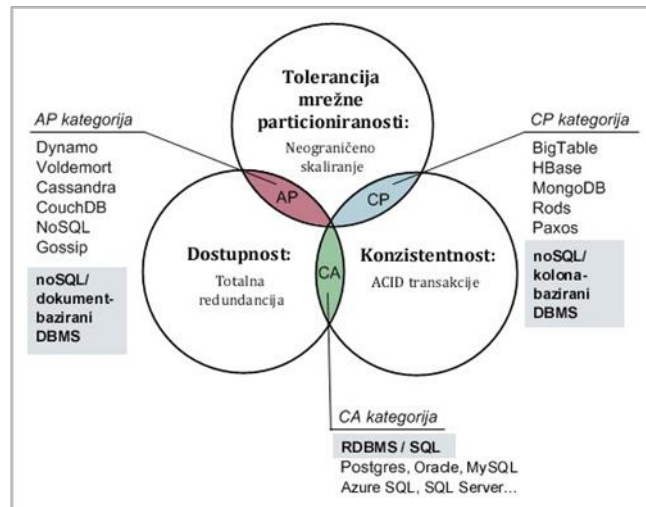
Dakle, u predloženom rješenju veoma su zastupljene hibridne *cloud* implementacije za javna poduzeća. Hibridni *cloud*ovi, po svojoj koncepciji, kombiniraju javne i privatne modele *cloud*ova, ili pak samo privatne modele, a moguće su i druge kombinacije implementacija a time i različite kombinacije infrastrukture, platformi i servisa koje ovakve mješavine različitih implementacija mogu da ponude.

Korištenjem arhitekture hibridnog *cloud*ova, kompanije zadržavaju kontrolu nad vlastitom infrastrukturom i resursima, smještenim u privatnom *cloud*u kompanije, ali po potrebi ili u situacijama poput vršnih opterećenja i drugih specifičnih zahtjeva, mogu proširiti privatni *cloud* resursima javnog *cloud*ova. Na taj način, hibridni *cloud* pruža elastično okruženje, te omogućava ispunjenje poslovnih zahtjeva i potreba i van okvira kompanije.

3. Aspekti upravljanja transakcijskom DBMS bazom podataka u hibridnom *cloud* okruženju

3.1. Racioniranje ACID-DBMS pravilima do ispunjenja zahtijeva CAP teorema za visokodistribuirana, *cloud* okruženja

Poseban aspekt predstavlja upravljanje složenim sustavom transakcijskih baza podataka u okviru ovako koncipiranog grupacijskog *cloud* okruženja za javni energetski sektor. Za uspostavljanje *cloud* DBMS-a javnog sektora najprije je neophodno implementirati integrisani, zajednički podatkovni model a zatim definisati unutarnje i vanjske granice modela kao i podjelu uloga te odgovornosti. Nakon toga slijedi uspostava upravljačkog sustava (eng. governance) tj. mehanizma za upravljanje ključnim svojstvima zajedničke transakcijske baze. To podrazumjeva očuvanje ACID pravila (eng. *Availability, Consistency, Isolation, Durability*) visokodistribuirane DBMS baze podataka za javne kompanije u *cloud* okruženju, što predstavlja pravi izazov za implementatore i dizajnere sustava. ACID pravila transakcijske baze podataka, faktički, predstavljaju bazični okvir valjanog DBMS-a. Bez očuvanja ovih pravila čitava baza podataka postaje nevažeća i integritet podataka je narušen.



Slika 2. Zahtjevi i karakteristike visoko-distribuiranih okruženja: CAP teorem [2]

Imajući u vidu zahtjeve koji se postavljaju na visoko-distribuirana okruženja uključujući *cloud*, a koji su izraženi kroz dobro poznati Brewer-ov CAP teorem, to je jasno da se mora izvršiti određena racionalizacija ili kompromitovanje ACID pravila transakcijske *cloud* baze podataka kako bi se postigla podrazumijevana funkcionalnost i visoke performanse *cloud* okruženja i ponuđenih *cloud* servisa. Naime, CAP teorem tvrdi da u distribuiranom okruženju nije moguće istovremeno postići i dati garancije za sljedeća tri ključna svojstva: konzistentnost (eng. *Consistency*), dostupnost (eng. *Availability*) i toleranciju mrežne particioniranosti (eng. *Partition Tolerance*) takvog sustava. S obzirom da su brz odziv i dostupnost *cloud* okruženja njegova ključna i fiksirana svojstva, preostaje da se napravi racionalizacija preostalog trećeg svojstva izraženog ACID pravilima: konzistencije. Ovo bi značilo da ACID pravila u *cloud* okruženju polako prelaze u nešto 'blažu' ali prihvatljivu formu koja se naziva BASE (eng. *Basic Availability, Soft state, and Eventual consistency*) pravilima *cloud* DBMS-a.

3.2. Različite strategije očuvanja konzistencije visoko-distribuiranih okruženja

Međutim, za postizanje visokih performansi *cloud* DBMS-a za energetske sektor, potrebno je izvršiti restrukturiranje i segmentaciju zajedničke baze podataka a potom prioritizaciju participirajućih čvorova ili replika servera uz podjelu uloga i odgovornosti, završno sa kategorizacijom podataka baze.

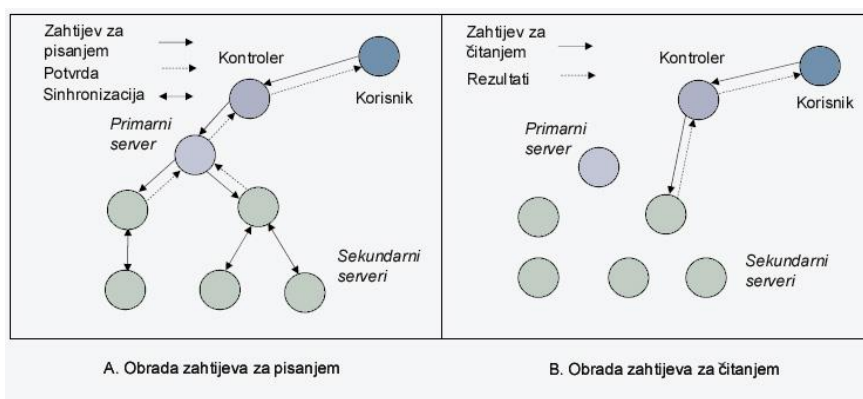
Trenutno su aktuelne tri vodeće strategije ili pristupa za očuvanje konzistencije visoko-distribuiranog okruženja, a to su:

- Klasična (eng. *Classic*),
- Kvorum (eng. *Quorum*), i
- Drvo-bazirana (eng. *Tree-based, TBC*) strategija.

Od dostupnih strategija za očuvanje konzistencije DBMSa, u konkretnom slučaju biće odabrana TBC strategija jer ista pokazuje znatno bolje performanse u odnosu na Klasičnu

i Kvorum strategiju, te je posebno prilagođena za mrežna okruženja. Spada u napredne strategije za upravljanje konzistencijom podataka i integritetom visoko-distribuiranog okruženja i bazira se na drvo strukturama. Promoviše različite stepene konzistencije podataka u zavisnosti od nivoa drveta replika-servera kojima se pristupa u pojedinačnoj operaciji na bazi. Tako najviši nivoi TBC drveta koje je sastavljeno od replika čvorova, daju najviše garancije konzistentnosti dok ista opada krećući se kroz stablo prema listovima drveta. Na samim listovima pronalazi se slaba garancija na konzistentnost podataka. [3] Na ovaj način, konzistencija ili integritet DBMS transakcijske baze podataka varira krećući se kroz drvo. To dovodi do logičkog prepoznavanja i imenovanja ključnih čvorova drveta kao i onih manje relevantnih i češće podložnim greškama. Tako se na najvišem nivou nalazi korjenski čvor ili replika koja sadržava validnu verziju kompletne transakcijske DBMS baze podataka. Za upravljanje čitavom strukturom drveta replika čvorova ili servera zadužen je poseban čvor koji se naziva kontroler TBC drveta. Krajnji korisnik, kao i u prethodnim slučajevima, korisnički zahtijev upućuje na kontroler koji potom poduzima sve neophodne akcije kako bi se transakcija izvršila na *cloud* bazi podataka, poštujući pri tome ACID pravila. Na taj način se svi zahtijevi za pisanjem po bazi upućuju na glavni (korjenski) čvor koji onda promjene propagira na prvi sloj ili primarne servere drveta. Oni predstavljaju ažurne kopije *cloud* baze podataka, kao kod korjenskog čvora. Propagacija promjena na bazi se zatim, koristeći različite pristupe, odvija sve do listova drveta.

Za razliku od zahtijeva pisanja po bazi podataka, koji se upućuju na glavni čvor, zahtijevi za čitanjem DBMS podataka se odmah prosljeđuju na sloj sekundarnih replika. Sekundarne replike su pogodne za operacije čitanja jer sadržavaju ažurne kopije baze a njihov veliki broj osigurava kontinuiranu dostupnost *cloud* DBMS servisa.



Slika 3. TBC pristup / strategija za očuvanje konzistencije DBMS-a

TBC pristup ili strategija za očuvanje konzistencije i integriteta *cloud* baze podataka se pokazala optimalnom za korištenje u praksi sa najboljim parametrima performansi i metrike mreže. Konzistencija podataka koju ovaj pristup osigurava se naziva adaptabilnom ili vidljivom konzistencijom (eng. *apparent consistency*) jer se pojavljuje na najvišim nivoima drvo strukture replika servera *cloud* okruženja kojima pristupa i "vidi" sam korisnik.



Uspostavom TBC drvo-strukture transakcijske *cloud* baze podataka za kompanije energetske sektora postiže se zacrtani cilj očuvanja primarnih karakteristika *cloud* okruženja i istovremene isporuke optimiziranih *cloud* DBMS rješenja a u okviru ponuđenih *cloud* servisa.

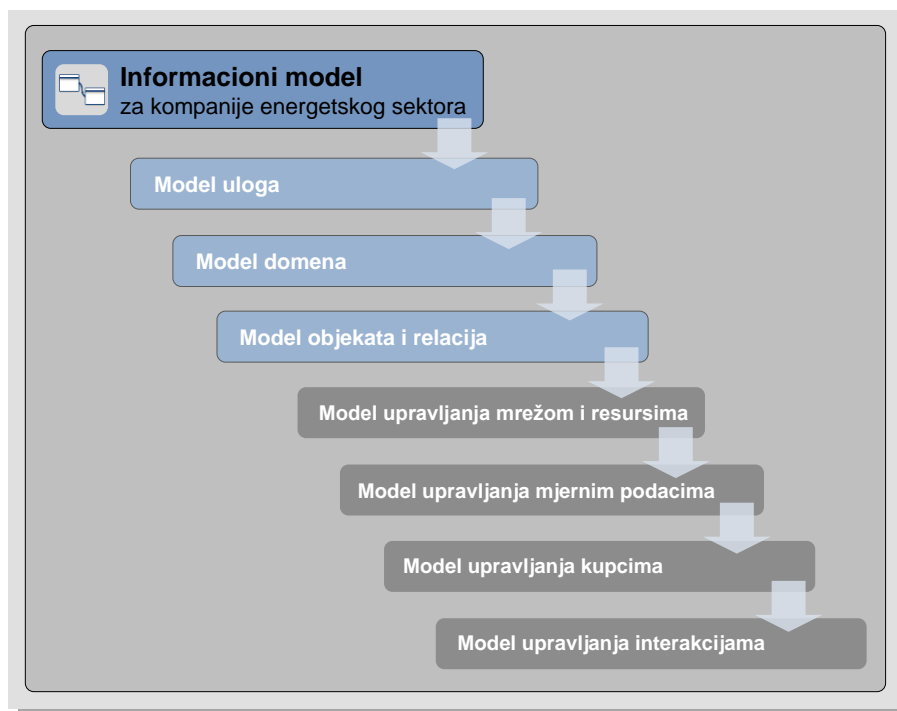
4. Razvojne faze i ključne karakteristike DBaaS *cloud* servisa za kompanije energetske sektora

Evidentne su određene razvojne faze i ključne karakteristike zamišljenog DBaaS *cloud* servisa kompanija energetske i komunalnog sektora, baziranog na konsolidiranom Informacionom modelu i pripadajućim IT sustavima podrške. Sveobuhvatnom analizom postojećih sustava, funkcija i podataka dolazi se do zaključka da se ovaj kompleksni Informacioni model sastoji iz nekoliko ključnih elemenata (podmodela):

- modela uloga,
- modela domena,
- modela objekata ili aktera na maloprodajnom tržištu energije,
- modela mreže ili distributivnog sustava (DS),
- modela upravljanja imovinom ODSa i resursima,
- modela upravljanja mjernim podacima (eng. Master Data Management, MDM) koji se odnosi na upravljanje mjernom infrastrukturom i ostalim segmentima i cjelinama distributivne mreže/sustava.

Tako npr. model uloga predstavlja formalno sredstvo za identifikaciju uloga i domena koje učestvuju u razmjeni informacija na maloprodajnom tržištu energijom, te služi da se definiše egzaktna tržišna pozicija svih aktera, itd.

Dakle, kako bi se uspostavilo transparentno maloprodajno tržište energije u BiH spremno za buduće promjene u smislu otvaranja i liberalizacije istog, potrebno je poduzeti korake ne samo na izradi/doradi i usaglašavanju pravila i postojećih procesa koji se ponajprije odnose na ODSove, zatim izradi i usvajanju tehničkih standarda za razmjenu podataka na tržištu, već značajan iskorak u smislu konsolidacije Informacionog modela i pratećih IT sustava podrške, koji će potom omogućiti uobličavanje i redefiniciju odgovarajućeg seta mrežnih pravila.



Slika 4. Razvojne faze *cloud* DBaaS servisa za kompanije energetskog sektora

Na Integralnom modelu podataka i informacija za kompanije energetskog i komunalnog sektora, baziraju se upravljački informacijski i ostali sustavi koji čine osnovu podrške u poslovanju kompanija ovog sektora. Arhitektura *cloud* DBMS baze podataka se, u svojoj osnovi, temelji na izloženom Integralnom modelu za kompanije energetskog i komunalnog sektora. Samo ukoliko je ovaj model valjan i postavljen na čvrstim osnovama, to daje osnovu da i dalja arhitektura izgrađena na istom bude jednako čvrsta, stabilna i otvorena za dalje nadogradnje. Na ovom tipu platforme, potom je moguće pokrenuti čitavu "lavinu" različitih konvergentnih i komunalnih servisa, koji će biti realizirani sa ciljem da pojednostave i automatiziraju poslovanje u segmentima u kojima je to moguće, smanje troškove a i istovremeno uključe krajnijeg korisnika kao i ostale aktere iz lanca interakcija u aktivnu komunikaciju i međusobnu suradnju.

5. Konvergentni *cloud* servisi

Zamisli i nastojanja da se podrži kolaborativan rad javnih poduzeća su postojale i prethodnih godina, ali pojavom *cloud computinga* širom se otvaraju vrata za implementaciju ovakvih ideja i težnji. One su išle u pravcu objedinjavanja baza podataka javnih (komunalnih) poduzeća sa podacima o potrošnji različitih vidova energije, obračunu i naplati potrošene energije na bazi jedinstvene uplatnice ili računa za sva javna komunalna poduzeća. Tako bi se, sada, formirao novi, konvergentni servis objedinjene naplate komunalnih usluga sa primarnim ciljem ekonomične i efikasne obrade zajedničkih podataka o komunalnim uslugama i proizvodima odnosno objedinjenoj naplati istih. Osim toga, korisnici bi putem ovog konvergentnog servisa javnih poduzeća na oblaku, mogli pratiti potrošnju ukupne energije ili pojedinih energenata (voda, struja, plin..), vršiti analitiku

po različitim osnovama, praviti kalkulacije za uštede, praviti rezervacije energije, pretplatiti se na nove energetske pakete sa posebnim popustima, online plaćati naknadu za potrošene količine energije, itd. Servis bi bio stalno dostupan za korisnike i pristup bi bio podržan za različite klijentske platforme. To bi napravilo pravi preokret u dosadašnjem sustavu obračuna i naplate komunalija, a čitav je niz koristi i mogućnosti koje ovakav konvergentni servis javnih poduzeća može da ponudi. Za javna poduzeća to bi značilo velike uštede, a za krajnje korisnike povećano zadovoljstvo pojednostavljenim procedurama obračuna i naplate potrošene energije. Sve to bi, u konačnici, dovelo do povećanja energetske efikasnosti (EE) na više razina, i kroz ugradnju preporučenih EE mjera i europskih standarda u konvergentne servise javnih (komunalnih) poduzeća.

6. Zaključak

Uvođenje *cloud computing* poslovnog modela i tehnološke platforme organizacijama donosi brojne benefite i prednosti u odnosu na tradicionalni IT model. U osnovi ovog novog i naprednog modela leži servis na zahtjev, uvijek dostupan i korišten u skladu sa realnim potrebama organizacije. Iznajmljivanjem IT kapaciteta na zahtjev i u realnom vremenu, ostvaruju se brojne uštede i dugoročno osigurava povrat uložene investicije. Samouslužna priroda *cloud computinga* organizacijama omogućuje stvaranje odgovarajućeg i elastičnog okruženja, koje se povećava i smanjuje u zavisnosti od poslovnih potreba, mogućnosti ali i ciljanih performansi.

Iz svega prethodnog može se zaključiti da koncipirano hibridno *cloud* okruženje sa predloženim tehnikama i pristupima za očuvanje konzistencije transakcijske DBMS *cloud* baze podataka donosi višestruke benefite za kompanije energetskog sektora, uključujući veće performanse i bolje vrijeme odziva *cloud* servisa, naročito podržavajući njihovu kolaboraciju poslovanja i povećanje zadovoljstva kod krajnjih korisnika.

7. Literatura

- [1] Mell, P.; Grance, T. (2012). *The NIST Definition of Cloud Computing: Recommendations of the National Institute of Standards and Technology*. National Institute of Standards and Technology – NIST.
- [2] Brewer, E. (2012). *CAP twelve years later: How the 'rules' have changed*. Computer, vol. 45, no. 2, pp. 23-29.
- [3] Islam, M.A., Vrbsky, S.V., & Hoque, M.A. (2012). *Performance Analysis of a Tree-Based Consistency Approach for Cloud Databases*. Computing, Networking and Communications (ICNC), 2012 International Conference, pp. 39-44.
- [4] M. Florschutz, „*Mogućnosti uporabe cloud tehnologije u poslovanju*“, Ekonomski fakultet u Osijeku, 2011
- [5] Nacionalni CERT, „*Cloud computing NCERT-PUBDOC-2010-03-293*“, www.cert.hr
- [6] ITCandor, „*The Comparative Benefits Of Private, Public and Hybrid Clouds*“, <http://www.itcandor.com/2010/11/>
- [7] Critigen, „*ArcGIS Online FastTrack*“, <http://www.critigen.com/solutions/arcgis-online-fasttrack>



Optimum Design of Fixed Storage Tank Roof

F. Orban*, G.C. Nagy

Faculty of Engineering and Information Technology, University of Pécs, Hungary

* Corresponding author. E-mail: orb@mik.pte.hu

Abstract

Minimum volume design of a welded fixed roof for a vertical storage tank is studied. The load from snow and from soil layer is considered. The roof is constructed of stiffened sectorial trapezoidal plate elements and radial beams. The radial beams are constructed of trussed beams. The trussed structures are more economical, if the tank diameter is bigger than 16 m, in this case 20 m. The truss is constructed of square hollow sections (SHS). When using hollow sections, in the joints the gussets or stiffening plates can often be eliminated. To find the minimum volume, the sizes of chords of truss and the number of sectors are varied. The number of sectors is varied between 10 and 16. Design constraints relate to the tensile stress, overall buckling strength of rods and maximum displacement of the radial truss beam..

Keywords: Tubular truss, storage tank roof, optimum design.

1. Introduction

The circular roof structure consists of sectorial stiffened plates and radial truss beams. Earlier investigations [1] showed the cover plate thickness of 4 mm gives minimum volume solution. The sectorial (trapezoidal) plate elements can be stiffened by tangential and radial beams (Figure 1.).

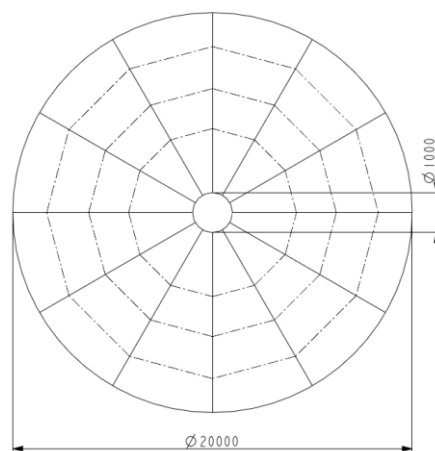


Figure 1. Circular floor with 12 tangential sectorial plates

The tangential stiffeners can be halved rolled I-sections (T shape).

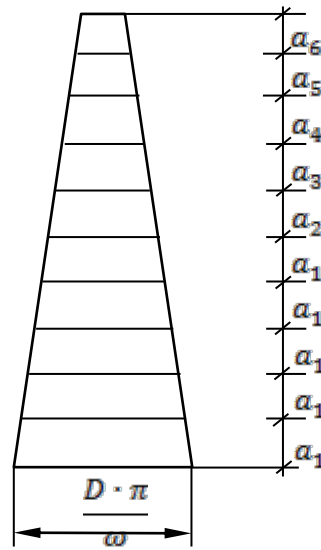


Figure 2. Non – equidistant tangential stiffening

The stiffener distances are determined using the condition that the maximum normal stress due to bending in each plate element between stiffeners should not be larger than the yield stress. Fig. 2. The maximum normal stress is calculated approximately for a simply supported rectangular plate according to Timoshenko and Woinowsky – Krieger [3].

$$\sigma = \frac{\beta_i p_M \cdot a_i^2}{t^2 / 6} \leq f_{y1} \quad (1)$$

where a_i is the smaller side length and β_i is given in function of $b_i/a_i > 1$. The tangential stiffener is subject to a bending moment. The cross-sectional area of a stiffener is the halved rolled I-section and the effective part. According the earlier mentioned study [1] the sizes of the stiffeners are between. UB 152x89x16 and UB 203x133x26

2. Loads

Snow and soil together $s+ps = 3,55 \text{ kN/m}^2$ multiplied by safety factor of 1,5
 $p_M = 5 \cdot 325 \cdot 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ Data were chosen according to the cited reference [1]. Safety factor for the self mass of sectorial elements is 1,35 and for the self mass of radial truss beams is 1,1

3. Numerical data

Storage tank diameter $D = 20 \text{ m}$, inner ring diameter $d = 1,0 \text{ m}$, roof angle $\alpha = 15^\circ$. The number of sectors is ω . Loads and forces for a radial beam can be seen Figure 4.

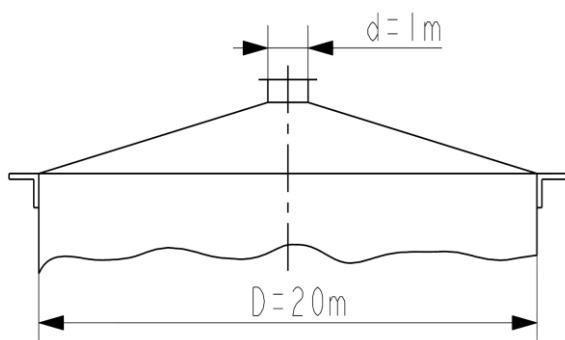


Figure 3. Tank roof

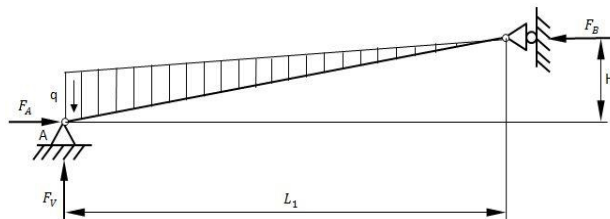


Figure 4. Forces from roof load

$$q = p_M \cdot \frac{D \cdot \pi}{\omega}$$

4. Design of radial trussed beams

The tubular truss with parallel chords are subjects to bending and compression Figure 5.

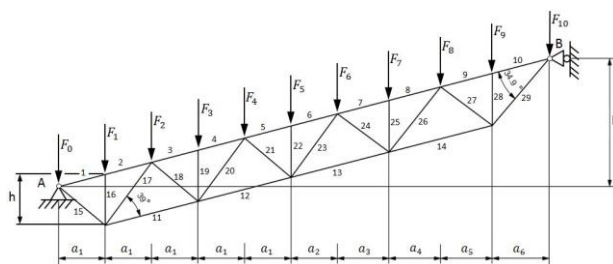


Figure 5. A tubular truss with parallel chord

From the non-uniformly distributed forces it is possible to calculate the concentrated forces. The forces act at the nodal points. The upper chords' loading is from compression and bending, the lower chords' loading is from tension. The diagonal and vertical rods are exposed to compression or tension. The cross-sectional area for the upper rods are the same (A1). The displacement of the truss structure is limited //250. Two different SHS profiles are applied, one for the upper chords (A1) and the second rests on the rods (A2). Table 1. Forces and inner forces from the roof load.

Table 1. Inner forces

ω	qN/mm	F_B [kN]	S_5 kN	S_{12} kN
10	33,45	204,6	-401,8	191,0
12	27,88	170,5	-335,0	159,4
14	23,9	146,2	-287,2	136,6
16	20,9	127,9	-251,0	119,4

4.1. Design of upper chords

The rod forces:

$$S_5 = \frac{(F_{YA} - F_0)5a_1 - F_{XA} \cdot h_1 - F_1 \cdot 4a_1 - F_2 \cdot 3a_1 - F_3 \cdot 2a_1 - F_4 \cdot a_1}{h \cdot \cos 15} \quad (2)$$

$$S_{12} = \frac{(F_{YA} - F_0)4a_1 - F_{XA} \cdot h + F_0 \cdot 4a_1 - F_1 \cdot 3a_1 - F_2 \cdot 2a_1 - F_3 \cdot a_1}{h \cdot \cos 15^0} \quad (3)$$

The bending moment:

$$M = \frac{q^* \cdot a_1^2}{8} = 1541 \text{ Nm} \quad (4)$$

Stress constraint for bending and compression to Eurocode 3 (2002):

$$\frac{N_H}{\chi \cdot A_r \cdot f_{y1}} + k_{yy} \frac{M_{r \max}}{W_y \cdot f_{y1}} \quad (5)$$

$N_H = S_5 = 287,2 \text{ kN}$ for $\omega = 14$

This inner force is increased by 10%, due to the weight of the cover plate and truss structure.

$N = 1,1 \cdot 287,2 = 315,9 \text{ m kN}$

Data for section SHS 110x110x5

$A=20,3 \text{ cm}^2$; $W = 66,9 \text{ cm}^3$; $i=4,25 \text{ cm}$

$$\lambda = \frac{90}{4,25} = 19,9 \quad ; \quad \bar{\lambda} = 0,21 ; \chi \cong 1,0$$

$$k_{yy} = 0,95 \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda} \frac{N_H}{\chi \cdot A \cdot f_y} \right) = 1,037$$

$$\frac{N}{\chi A f_{y1}} + k_{yy} \cdot \frac{M}{W_y \cdot f_{y1}} = 0,73 + 0,11 = 0,84 \leq 1$$

4.2. Design of lower chords

We choose section SHS 70x70x3. Cross section area: $A = 781 \text{ mm}^2$.

$$S_H = A \cdot f_{y1} = 166,8 \text{ kN} > 1,1 \cdot 136,6 = 150,26$$

4.3. Optimum design of tubular trusses for displacement constraint

The displacement of the truss structure can be calculated:

$$W = \sum \frac{S_i s_i L_i}{E \cdot A_i} \leq W_0 \quad (6)$$

The displacement of the parallel chords structure can be calculates like a beam where.

$$I_x = \frac{A_1 + A_2}{A_1 + A_2} \cdot h^2 \quad (7)$$

$$w = 0,00652 \frac{P \cdot l^2}{E \cdot I_x}$$

There is another effect to be considered when calculating the displacement Fig. 6.

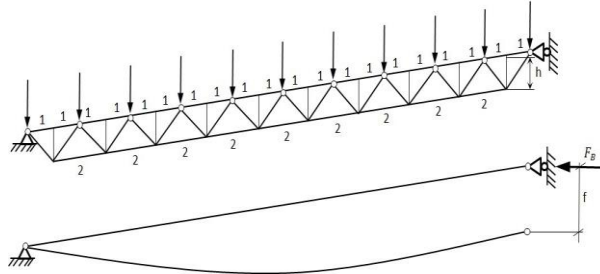


Figure 6. Deformation of radial beams

$$f = \frac{F_B \cdot l}{A_1 \cdot E \sin 15^0} \quad (8)$$

The place of the maximum displacement from point A is $0,67 \cdot L_1$. The max displacement.

$$w = \frac{C_1}{A_1} + \frac{C_2}{I_x}$$

$$C_1 = \frac{2F_B \cdot L_1}{3E \cdot \sin 15^0} \quad ; \quad C_2 = 0,00652 \frac{pL_1^4}{E}$$

The structural volume is calculated as:

$$V = A_1 \cdot \frac{L_1}{\cos 15^0} + A_2 \sum_{i=1}^{29} l_i = 9813A_1 + 26667A_2$$

$$A_1 \geq 2036 \quad A_2 \geq 781$$

Displacement constraint:

$$w = \frac{C_1 + C_2}{A_1} + \frac{C_2}{A_2} \leq w_0 \quad (9)$$

$w_0 = 22$ mm is smaller than $\frac{L_1}{250}$ but the beam has higher rigidity than the truss structure.

Table 2 summarizes the results (volumes and masses) for different values of ω for sectors and for the whole roof.

Table 2. Masses of ω for radial beams

ω	$V_R[\text{dm}^3]$	$\rho \cdot V_R$	$\omega \cdot m$	$\omega \cdot m$ l-sec
10	55,68	437	4370	8060
12	46,55	365,5	4386	8748
14	39,7	311,6	4362,4	8232
16	35,38	277,7	4443,2	9408

It can be seen that $\omega = 14$ gives minimum volume and mass. It should be noted that the results for different ω are very similar but much smaller when I-sections are used for radial beams..

4.4 FEM analysis.

A finite element model was developed for the tubular truss. It was a controlled calculation for optimum values. The software COSMOSM 2.8 was used with element BEAM2D for the upper chord and TRUSS2D for the rods. The maximum stress was 186 MPa in the upper chord and 187 MPa in the lower chord. The maximum displacement was 33 mm..

5. Conclusion

Minimum volume design of a fixed roof of a vertical steel storage tank is worked out for a numerical model structure. Load of snow and soil layer are considered. The roof is constructed from sectorial stiffened plate elements and radial beams. The radial beams are constructed of trusses. Literature data showed that cover plate thickness of 4 mm gives minimum volume solution. According to the results using truss beams instead of I-section beams the minimum volume or mass is smaller. The number of sectors is varied between 10 and 16. Sector number 14 gives minimum value.

6. Acknowledgement

The authors acknowledge the technical advice and insights by professor József Farkas, who passed away last year.

7. References

- [1] Farkas, J., Jármay, K.: Optimum Design of Welded stiffened Plate Structure for a Fixed Storage Tank Roof Springer 2013
- [2] Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1 General structural rules 2002
- [3] S. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, Theory of plates and shells, New York-Toronto-London: McGraw Hill 1959

Unaprjeđenje izvođenja građevinskih radova primjenom Lean metodologije *Improving realization of construction works applying Lean methodology*

D. Vidaković^{1,*}, Z. Lacković¹, M. Radman-Funarić²

¹Građevinski fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

²Veleučilište u Požegi, Požega, Hrvatska

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

Sažetak

Rad obrađuje Lean metodologiju upravljanja s naglaskom na mogućnosti i koristi njene primjene kod izvođača radova na građevinama (uključujući pripremno-završne, građevinske, instalacijske i druge radove). Identificirani su gubici do kojih može doći pri izvođenju tih radova i definirani su preduvjeti koje je potrebno ispuniti za postizanje Lean proizvodnje. Pojašnjeno je Lean razmišljanje i pristup, te Lean metode i alati koji su usmjereni na smanjenje troškova i ostalih rasipanja.

Abstract

The paper deals with a Lean management methodology with an emphasis on the possibilities and benefits of its implementation to contractors on construction works (including preparatory and finishing, construction, installation and other works). Losses that may arise in the performance of these works have been identified and the preconditions that need to be met to achieve Lean production are defined. Lean thinking and approach as well as Lean methods and tools (aimed at reducing costs and other waste) are explained.

Ključne riječi: Lean upravljanje, metode i alati, gubici, izvođenje građevina, organizacija

1. Uvod – potreba za uštedama i težnja prema svjetskoj klasi proizvodnje

U novije vrijeme događaju se promjene u različitim sferama koje se tiču gospodarskih sustava. To dovodi do razmišljanja o promjenama koje je potrebno učiniti u upravljanju tvrtkama, tj. organizacijama, kako proizvodnim, tako i onima koje se bave drugim djelatnostima. Te su promjene uvelike usmjerene na optimalno korištenje resursa (koji su uvijek ograničeni), da bi se uštedilo i moglo opstati u sve konkurentnijem okruženju.

Uspješne tvrtke teže Svjetskoj klasi proizvodnje (*World Class Manufacturing* - WCM) koja se zasniva na Cjelovitom upravljanju kvalitetom (*Total Quality Management* – TQM), strategiji Upravo na vrijeme (*Just in Time* – JIT), Integriranom produktivnom

održavanju (*Total Productive Maintenance – TPM*) i Potpunoj uključenosti zaposlenika (*Total Employee Involvement – TEI*) [1]. Inicijativama strateškog održavanja kvalitete tvrtke trebaju nastojati ostvariti "nula kvarova", "nula pritužbi kupaca" i "nula incidenata".

U nastojanju da postignu WCM tvrtke se oslanjaju na analize sustava kako bi utvrdile neučinkovitosti i slabosti koje im ometaju performanse. Temeljno kvantitativno mjerilo za performanse proizvodnog sustava je sveukupna efektivnost opreme (*Overall Efficiency Equipment – OEE = Raspoloživost × Učinkovitost izvedbe × Postotak kvalitetnih proizvoda*) kod koje se 0,85 (0,90 × 0,95 × 0,99) smatra svjetskom klasom. OEE se koristi kao objektivni dnevni snimak stanja opreme i predstavlja mjeru doprinosa trenutne opreme na dodanu vrijednost vremena proizvodnje. Usporedba između očekivanih i sadašnjih veličina OEE-a pruža organizacijama, posebno proizvodnim, poticaj za unaprjeđenje i pokazuje efekt kontinuiranog unaprjeđenja unutar sustava [2]. Osim gubitaka u svezi opreme, za postizanje performansi WCM-a, također, treba istražiti i na odgovarajući način riješiti gubitke u svezi izvedbe radnika, energije i neučinkovitog korištenja resursa.

Globalizirano tržište od mnogih organizacija zahtjeva da implementiraju proaktivne Lean proizvodne programe (koji uključuju navedene komponente WCM-a, ali i brojne druge metode i alate) i organizacijske strukture kako bi poboljšale svoju konkurentnost [3].

Izvođenje radova na građevinskim projektima ima niz različitosti u odnosu na industrijsku proizvodnju i do sada u Hrvatskoj nije istraživano glede primjene Lean upravljanja u tvrkama koje se njima bave. U građevinarstvu, barem domaćem, Lean inicijative nisu zastupljene u značajnijoj mjeri, ali autori članka smatraju da su itekako moguće i da bi bile isplative.

2. Lean principi i metodologija

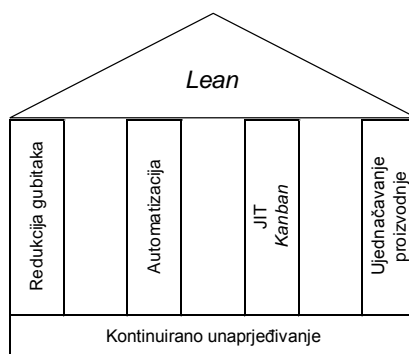
Neki od principa Lean proizvodnje mogu se uočiti u dalekoj prošlosti, ali suvremena praksa Lean metodologije počela je sredinom 20. st. u japanskoj auto industriji (*Toyota*), da bi se do kraja stoljeća njena primjena proširila i na cijeli razvijeni svijet te na ostalu proizvodnju, kao i različite vidove pružanja usluga. I u 3. tisućljeću Lean se još istražuje i dalje razvija.

Naziv Lean, tj. "vitki" (nazvan tako od istraživača u SAD-u) je zbog toga jer se kod takvog poslovanja nastoji uraditi što više sa što manje pogona (i opreme), skladišta, vremena, ljudskog napora i financijskih sredstava, s tim da proizvod potpuno zadovoljava kupca [5].

Da bi se postigla kvaliteta i vrijednost proizvoda s najmanjim mogućim troškovima Lean koncept nastoji eliminirati sve aktivnosti koje ne stvaraju dodanu vrijednost na konačnom proizvodu (ono što kupac/naručitelj nije voljan platiti), a da nisu neophodne za nesmetano odvijanje toka vrijednosti. Glede toga Lean prepoznaje sljedeće gubitke (otpatke ili rasipanja) koji se javljaju pri proizvodnji, održavanju, ali i kod razvoja proizvoda, primanja narudžbi i ostalih logističkih poslova: kašnjenje, čekanje, prekomjerna proizvodnja, gubici tijekom obrade, nepotrebni pokreti, greške (škart), prekomjerne i zastarjele zalihe materijala, nepotrebni inventar, problemi kod transporta, problemi zbog slabog održavanja (čekanje na intervencije održavanja, predugo trajanje aktivnosti održavanja, ponavljanje proizvodnih aktivnosti zbog slabog održavanja), ali i neiskorištenu kreativnost zaposlenika [4, 6, 7, 8, 9].



U odnosu na tradicionalno upravljaju i organiziranu tvrku, Lean organizacija je primarno usmjerena na sprječavanje problema (umjesto na njihovo rješavanje), uz primjenu dinamičnih procedura i visoku fleksibilnost (manje opreme koja je više fleksibilna), 100%-tnu kontrolu (umjesto kontrole na uzorcima) i promatranje zaposlenika kao izvora potencijala i mogućnosti. Taiichi Ohno, "otac" *Toyotinog* sustava proizvodnje, definirao je model Lean proizvodnje s četiri glavna stupa, tj. principa, kako pokazuje slika 1.



Slika 1. Četiri glavna principa na kojima se izvorno zasniva Lean proizvodnja [6]

Lean menadžment je koncept upravljanja proizvodnjom, razvojem proizvoda i uslugama koji ima za cilj stvoriti točno određenu i ciljanu vrijednost za kupca (robu ili uslugu), ali nema univerzalne definicije što sve spada u taj menadžment [10].

Načela Lean menadžmenta su razumijevanje onoga što kupac želi kupiti, definiranje tokova materijala, informacija i svih aktivnosti koje se poduzimaju od preuzimanja narudžbe do isporuke gotovog proizvoda (što iziskuje analiziranje cijele organizacije, a ne samo pojedinih dijelova), osiguravanje toka proizvoda i materijala bez zastoja, prilagođavanje proizvodnje razini potrošnje (narudžbama) i težnja savršenstvu u svakom aspektu poslovanja [11]. Radi lakšeg analiziranja i razumijevanja, tokovi vrijednosti se prikazuju mapama, kojima se vizualizira tok materijala i tok informacija kod postojećeg stanja i kod budućeg, idealnog stanja, koje se treba postići Lean metodologijom.

Ta načela su jednostavna i vrlo logična, ali u praksi ih nije uvijek lako primijeniti i prema inozemnim istraživanjima [12] svega 10% implementacije Leana uspeva. Pogotovo je u Zapadnom svijetu problematično što se velikoserijska proizvodnja intuitivno smatra proizvodnjom niskih troškova, a takva proizvodnja nije fleksibilna i rezultira skladištenjem neprodane robe što dovodi do dodatnih troškova [4]. Tako se nepotrebno gube znatna financijska sredstva, dok Lean proizvođači ista ulažu u svoja daljnja unaprjeđenja.

3. Lean tehnike i alati

Metode i alati ne koriste se pojedinačno za rješavanje određenih problema kojima se postižu Lean ciljevi, nego kao njihove komplementarne kombinacije.

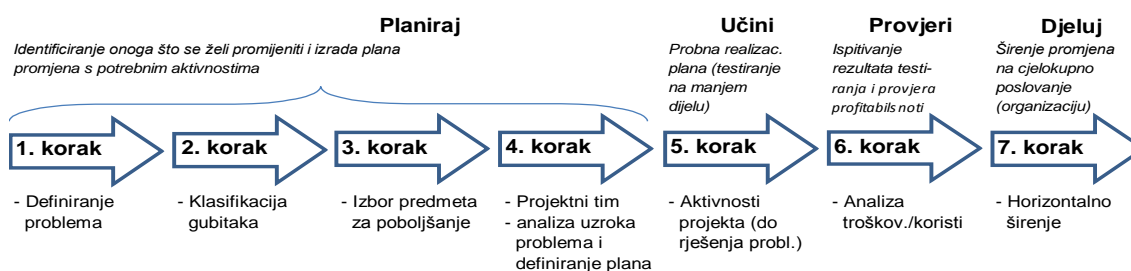
Prema publiciranim izvješćima, razne Lean proizvodnje djelotvorno su uspostavljene u tvrtkama tako da uključuju tipični TPM program, JIT proizvodnju, TQM, 6 sigma, benchmarking i kvalitetno uspostavljanje funkcija [2]. Da bi se postigla još veća poboljšanja performansi može se uspostaviti i druge strategije za postizanje Lean

proizvodnje, kao što su: kontinuirani tijekom proizvodnje, proizvodnja u ćelijama, odnosno proizvodnim jedinicama (integrira strojeve i mali tim zaposlenika, tako da se sav rad na proizvodu ili njegovom dijelu može ostvariti u istim proizvodnim jedinicama, s bližim razmještajem opreme i radnika, s čim se eliminira resurse koji ne dodaju vrijednost proizvodu i omogućuje kontinuirani tok, skraćivanje transportnih puteva i smanjivanje čekanja i zaliha), ujednačena proizvodnja, tj. radno opterećenje (stupanj proizvodnje ostaje konstantan bez obzira na promjenjivu potražnju, tako da se povećava iskorištenost kapaciteta pogona) i obrnuti inženjering (proces otkrivanja tehnoloških principa sustava i svega drugog što je napravljeno kroz analizu strukture, funkcije i djelovanja). Uz to, za unaprjeđenje proizvodnje i održavanje radne opreme često se koriste alati i tehnike kao što su: 5 M pristup (4 M podrazumijeva sagledavanje problema u svezi ljudi (*Man*), metoda (*Methods*), materijala (*Materials*) i strojeva (*Machines*), dok se pod petim M najčešće misli na mjerenje (*Measurement*)), analiza uskog grla, pouzdanosti, pogodnosti održavanja i raspoloživosti, analiza "ulaz izlaz", analiza stabla gubitaka, analiza dijagrama toka, Pareto dijagram, Ishikawa i drugi uzročno-posljedični dijagrami, A3 (za identificiranje i označavanje područja za brzo poboljšanje koje se provodi u PDCA ciklusima – nakon sagledavanja cijelog procesa jednostavno, grafički se prikazuje proces ili problem koristeći samo ono što stane na papir veličine A3, a što pomaže da se problem sagleda "novim očima"), 5 G (za opisivanje prirode gubitaka kod kompletnog i detaljnog opisivanja situacije, održavanja odnosa između teorije i prakse te praćenja logičnog slijeda radnji u procesu - prema početnim slovima japanskih riječi: tvornica, materijal, analiza, teorija i metode), radar karta (za pokazivanje područja koje treba ojačati), grafikon analize procesnih točaka (za standardizaciju procesa), statistička kontrola procesa (SPC – kontrolne karte), špageti dijagram (za precizno praćenje rada pojedinaca i timova u procesu), QC dijagram procesa (prikazuje tijek kontrole kvalitete), dijagram procesa ispitivanja mogućnosti, QA matricu (matricu osiguranja kvalitete), redukcija vremena postavljanja/zamjene alata, kontrolnu listu slučajeva pojave defekata, 3 Mu popis (prema popisu se provjera ono što treba eliminirati: nepotreban napor (*Muri*), rasipanje (*Muda*) i neusklađenost (*Mura*) u odnosu na standardno propisane aktivnosti odvijanja poslovnih propisa), listu "zašto - zašto" (*Why-Why*) ili 5 W analizu ("Pet puta zašto" je brainstorming alat za otkrivanje uzroka problema, gdje se kroz odgovore na pitanje "zašto" analizira po razinama, sve dok se ne utvrdi pravi uzrok), 6 W (za transparentno rješavanje problema kroz odgovore na pitanja: "tko", "što", "gdje", "kad", "zašto" i "kako") i dr.

Uočeno je da se viša razina kvalitete može postići samo kontinuiranim poboljšanjima i proizvoda i procesa, te da za značajnija unaprjeđenja planovi unaprjeđenja trebaju biti usvojeni svobuhvatno s planom Kaizena [2], jer Kaizen ima veliki potencijal za doprinos Lean ciljevima organizacije. Kaizen (*kai* (promjena) + *zen* (poboljšanje) = promjena na bolje) u osnovi podrazumijeva mala poboljšanja koja se stalno provode i u pravilu ne iziskuju velika financijska ulaganja. Takva filozofija "korak po korak" je u očitoj suprotnosti od pristupa uvriježenog kod tvrtki na Zapadu koje su orijentirane na veće inovacijske skokove temeljene na skupom tehnološkom napretku. Kaizen se provodi i na području proizvodnje i području administracije, te obvezno uključuje cijelu organizaciju i sve

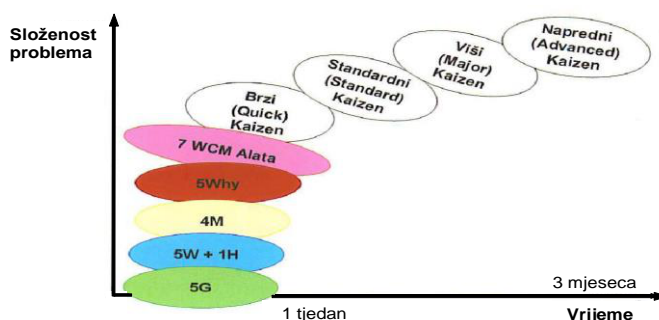
zaposlenike, od svih razina menadžmenta do operativnih radnika, koji se angažiraju na rješavanju konkretnih problema u praksi. Kaizenom se nastoji poboljšati standardne aktivnosti i eliminirati gubitke u toku vrijednosti. Kaizen filozofija smatra da nema proizvoda, tjeka rada ili procesa u kojem nema mogućnosti za daljnje poboljšanje, jer bez obzira koliko proces bio poboljšan uvijek ima prostora za daljnji napredak.

Provođenje Kaizena uvijek treba biti na principu PDCA (*Plan – Do – Check – Act*) koji obuhvaća kružni, stalno ponavljajući ciklus, kroz koji postignuta poboljšanja postaju svakodnevica, što pokazuje slika 2.



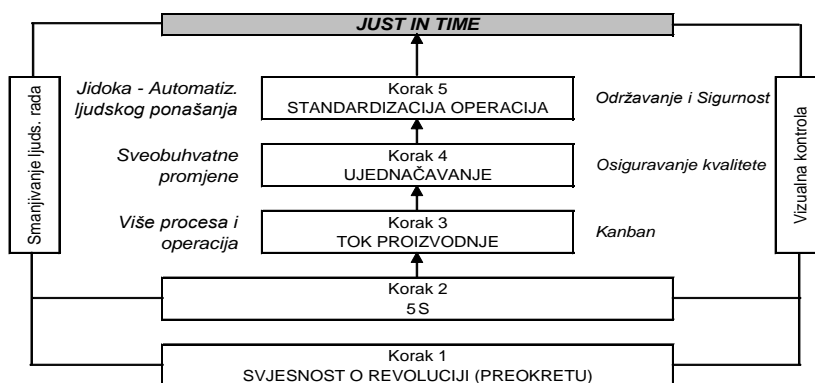
Slika 2. Koraci implementacije Kaizena po principu PDCA (prema [13])

Brzi oblik Kaizena se provodi kada je problem skoro potpuno definiran i kada su dostupni podaci u svezi problema. Koristan je za postizanje brzih unaprjeđenja, doprinosi razvoju ideja i prijedloga te širi znanja i implementirana rješenja (u pravilu za povremene gubitke). Sličan mu je standardni Kaizen, ali dok se s brzim uobičajeno bave operateri na proizvodnim linijama s malom kontrolom, standardni obavljaju tehnički više obučeni zaposlenici i koristi se kod kroničnih problema (gubitaka). S višim i naprednim oblicima Kaizena bavi se tim ljudi kroz duži period. To uključuje prikupljanje podataka, opisivanje problema i duboko analiziranje njegovih uzroka, uz korištenje Ishikawa dijagrama i 5 W analize. Nastoji se pronaći više mogućih mjera za rješavanje složenih, kroničnih problema, koje se onda rangira prema troškovima, vremenu za provođenje i vjerojatnosti da će uspješno riješiti problem. Nakon što se te mjere provedu treba provjeravati efekt koji su postigle i održavati njihovu uspješnost [13]. Kod primjene Kaizena piramida upravljanja obrnuta je u odnosu na tradicionalni pristup upravljanja [14], a tipični Kaizen alati, osim spomenutih, su još i: 3 Mu popis, 5 S, 5 M i 6 W. Na slici 3 pokazana je primjena različitih Kaizena i njihovih alata.



Slika 3. Prikaz Kaizena prema složenosti i vremenu primjene (prema [13])

S Kaizenom je usko povezan koncept JIT-a. On podrazumijeva pristup "pravi proizvod u pravo vrijeme i u pravoj količini, s minimalnim korištenjem materijala, rada i prostora" ili "pravi dio na pravom mjestu u pravo vrijeme" [14]. JIT je filozofija proizvodnje koja se temelji na planiranom uklanjanju svih gubitaka, odnosno rasipanja (svega nepotrebnog), i na kontinuiranom unaprjeđenju produktivnosti, pa vodi proizvodne organizacije k djelotvornijem i učinkovitijem poslovanju. Efikasnost i smanjivanje troškova postiže se skraćivanjem vremena skladištenja dijelova, repromaterijala odnosno sirovina (smanjivanje razine zaliha) i njihovim korištenjem u proizvodnom procesu u najkraćem mogućem roku te ograničavanjem trajanja proizvodnje i dostave. To se postiže s "pull" proizvodnjom (*pull* - povlačenje je suprotno od principa *push* - guranja), odnosno radom na proizvodu samo onda kada to zahtjeva kupac. Uobičajeno se koristi Kanban kontrola, a upravljanje tokom materijala između dobavljača i tvrtke koje preuzima robu se automatizira. Također, potrebno je proizvodnju organizirati taktno, s neprekinutim jednopredmetnim tokom (suprotno serijskoj proizvodnji). S tim se dobiva skraćenje vremena izrade pojedinih dijelova, sinkroniziranje radnih procesa i balansiranje kapaciteta. Uprava s predstavnicima zaposlenih planira i provjerava te omogućuje vođenje procesa uz primjenu JIT alata i uvježbavanje radnika. Uspostava JIT-a ide kroz pet koraka, a da bi se proces stalno unaprjeđivao putem kontrole se uspostavlja povratna veza (slika 4.).



Slika 4. Koraci provođenja JIT-a (prema [15])

Osnovne karakteristike ostalih metoda koje se često mogu kombinirano koristiti kod implementacije Leana, a i međusobno su kompatibilne, navedene su u tablici 2.

Tablica 2. Metode koje se često koriste za implementaciju za Leana

Kanban – metoda upravljanja i nadzora proizvodnog procesa		
Značajke: - prakticira jednostavni koncept povlačenja koji ne gura materijal u proces do trenutka dok se ne ukaže stvarna potreba. Dobro je primjenjiv kod predvidljive i stalne potrošnje.	Cilj: - smanjenje, odnosno zadržavanje zaliha na što nižoj razini i postizanje maksim. učinkovitosti.	Način provedbe: - uspostava sustava signalizacije potreba za materijalom na mjestima potrošnje s karticama (u papirnatom ili elektronskom obliku) na kojima korisnik može zapisati informaciju o potrebi i utrošku materijala. Treba se primjenjivati povezano, a ne samo za otklanjanje uzroka pojedinih problema.
Vizualizacija – vizualna kontrola i upravljanje (VM)		
Značajke: - jedan od najsvestranijih aspekata Lean koncepta koji se može svugdje primjenjivati. Grafičkim prikazima	Cilj: - vizualizirati sve aspekte rada i radnih mjesta kako bi se	Način provedbe: - prethodno je potrebno mjerenje radnih karakteristika, tehničkih parametara i dostignuća. Područja mjerenja koja se prikazuju na panoima, odnosno pločama

<p>se zaposlenicima pruža uvid u šire poslovanje tvrtke, pa im je lakše razmišljati o mogućim poboljšanjima. Osnovna područja mjerenja Leana prilikom vizualizacije su: moral tima (najčešći parametri mjerenja su nazočnost, broj iznijetih sugestija i broj dovršenih zadataka), sigurnost (najčešći parametar je vrijeme proteklo od zadnje nezgode), kvaliteta timskog izvođenja, isporuka i troškovi (zbog nesavršenosti).</p>	<p>pomoglo zaposlenima da se lakše snalaze u proizvodnji, da brže primjete anomalije (odstupanja od normi) i da ih se potakne na doprinos unapređenju poslovanja. Rezultati mjerenja trebali bi ukazati gdje su moguće uštede.</p>	<p>(uglavnom grafikonima) moraju biti pomno odabrana i trebala bi prikazivati unapređenja u raznim segmentima poslovanja, a ploče (tzv. ploče alata i komunikacijske ploče) moraju biti pregledne i jednostavne. Ploče služe i za kontrolu proizvodnog prostora i za iznošenje činjenica i veličina glede proizvodnje. Kako bi upoznali svoje timove s dnevnim zadacima, na početku svake radne smjene njihovi vođe bi trebali koristiti komunikacijske ploče. (One pomažu boljem razumijevanju procesa kojima se bave i za otklanjanje uzroka problema.)</p>
<p>Gemba (šetnja) metoda</p>		
<p>Značajke: - problemi se rješavaju na mjestu gdje do njih dolazi i s ljudima koji direktno sudjeluju u radnom procesu. Uočene mogućnosti poboljšanja obično se mogu realizirati odmah i bez dodatnih ulaganja, što dovodi do brzih ušteda. Uključivanjem zaposlenih u identificiranje rasipanja u njihovim svakodnevnim aktivnostima, pomaže da oni imaju osjećaj da ih neko sluša, da ih se poštuje na radnom mjestu, da se ponose sa svojim radom i da uspostave redovitu komunikaciju s menadžmentom. Koristi za rukovoditelje su bolje razumijevanje procesa i problema (žalbi) s kojima se svakodnevno sreću njihovi radnici, te prilika da vježbaju Lean.</p>	<p>Cilj: - identificiranje rasipanja u procesu i potrebnih promjena da se te negativne pojave izbjegne, odnosno postizanje kontinuiranog poboljšavanja. Ako se prateći proces postavljaju prava pitanja Gemba donosi brze koristi i organizaciji i njenim zaposlenicima (na različitim razinama) bez dodatnih finansijskih ulaganja.</p>	<p>Način provedbe: - u kratkom vremenskom periodu tim, sastavljen od zaposlenih iz različitih funkcija, šeta kroz radne površine i pri tome identificira mogućnosti za smanjenje rasipanja i definira poboljšanja. Provodi se kroz korake: 1. "Ići u šetnju"; 2. "Promatrati šetnju"; 3. "Tražiti i naći rasipanja, odnosno aktivnosti koje ne dodaju vrijednost"; Vrlo često se, samo pogledom na stvari, ljude, strojeve, tokove, bez ikakvih alata i velikih analiza, može otkriti problem, ali poželjna su osnovna znanja i praktično iskustvo te razgovor s radnicima (čak i da se pokuša raditi njihov posao). Kada se pronađe način za rješavanje problema provodi se pomoću Kaizen alata. (Gemba je vrlo pogodna za kombiniranje s Kaizenom.)</p>
<p>Poka yoke (izbjegavanje pogreške) pristup</p>		
<p>Značajke: - polazi od uvjerenja da proizvodnja i samo jednog neispravnog elementa nije prihvatljiva i da se to može izbjeći sprječavanjem grešaka, odnosno njihovog ponavljanja. Otkrivanje greške samo upozorava radnike na činjenicu da je ona učinjena, ali takvi signali su korisni, jer često greške koje su brzo otkrivene i ispravljene ne daju povoda za defekte.</p>	<p>Cilj: - sprječavanje ljudskih, slučajnih, tj. nenamjernih grešaka (zbog nepažnje) pri izvođenju bilo kojih aktivnosti.</p>	<p>Način provedbe: - efikasan pristup podrazumijeva provjeru procesa prije akcije da bi se osigurali svi neophodni uvjeti za visoku kvalitetu. Prevencija pogreški je najjači oblik njihovog izbjegavanja, no bitno je i spriječiti utjecaj pogreške (ako se dogodi). Za pronalaženje stvarnog uzroka problema Poka yoke često koriste 5 W + 1 H metodu (pitanja 5 W i "Kako" (How)). To je obično prvi korak analiziranja problema, ali ne smije se prestati kada se otkrije prvi uzrok. (Primjena Poka yoke je usko povezana s Lean metodama VM i 5 S.)</p>
<p>6 sigma (6σ) – poslovna metodologija i filozofija upravljanja kvalitetom</p>		
<p>Značajke: - za postizanje značajnih poboljšanja kroz otklanjanje nedostataka, tj. grešaka redizajnom i inovacijama. (σ je standardno odstupanje koje opisuje stupanj varijacije u određenom skupu, odnosno stupanj kvalitete proizvoda, usluge ili procesa, a 6σ znači 99,9996 % uspješnosti što je ekvivalentno pojavi 3,4 greške na milijun mogućnosti.) Najveća prednost 6σ pred drugim metodologijama unapređenja je što se odlučivanje temelji na mjerenjem prikupljenim podacima iz procesa (uz korištenje poznatih statističkih metoda). Zbog temeljnog usmjerenja na poboljšanje kvalitete može se koristiti u različitim tvrtkama, a razvoj IT-a širi područje primjene.</p>	<p>Cilj: potpuno eliminiranje grešaka (težnja savršenstvu) u svakom procesu i proizvodu/usluzi, tj. postizanje poslovne izvrsnosti. Koristi nisu samo novčane, već 6σ treba omogućiti da ljudi na svim razinama tvrtke bolje razumiju svoje kupce, da im procesi budu jasniji, da raste efikasnost, te da radnici budu zadovoljniji svojim poslom.</p>	<p>Način provedbe: - u prvi plan se stavlja kontinuirano poboljšanje procesa i edukacija zaposlenika kako bi se stvorila "organizacija koja uči". Unapređenje se temelji na DMAIC krugu: odredi (<i>Define</i>), izmjeri (<i>Measure</i>), analiziraj (<i>Analyse</i>), unaprijedi (<i>Improve</i>) i nadziri (<i>Control</i>), gdje se za svaku od faza mogu koristiti tehnike i alati koje pomažu kod njihove implementacije (npr. Pareto analiza, karta izvođenja procesa, mapa toka vrijednosti itd.). U fazi mjerenja radni tim planira i provodi prikupljanje podataka. Mjerenja se provode za parametre procesa izabrane u prvoj fazi, a mogu se provoditi na ulazu i izlazu iz procesa, u samom procesu, te kod kupaca. (Treba utvrditi i nesigurnost instrumenata za mjerenje.) U posljednjoj fazi se kontrolom osigurava da se pozitivne promjene održe i da se proces dalje poboljšava. Za uspješnu implementaciju 6σ sustava u organizaciji, potrebno je povezati pojedinačne projekte sa strateškim ciljevima tvrtke te pridobiti podršku svih zaposlenika.</p>
<p>5 S - strukturirani pristup za razvoj radne discipline u pogonima i u administraciji</p>		
<p>Značajke: - usmjeren je na promjenu svijesti zaposlenih o radnom okruženju. Navodi organizaciju na razmatranje pitanja koja su često zanemarena. Nakon</p>	<p>Cilj: - identificiranje i eliminiranje nekorisnih stvari i otpada na radnom mjestu i s tim</p>	<p>Način provedbe: - provodi se kroz pet koraka: 1. Razvrstavanje (<i>Seiri</i>) - bacanje svih neželjenih, nepotrebnih predmeta s radnog mjesta (ostaje samo ono što se odnosi na posao) kako bi bila moguća vizualna kontrola u prostoru; 2. Uspostava reda (<i>Seiton</i>) - za svaki predmet koji se koristi</p>

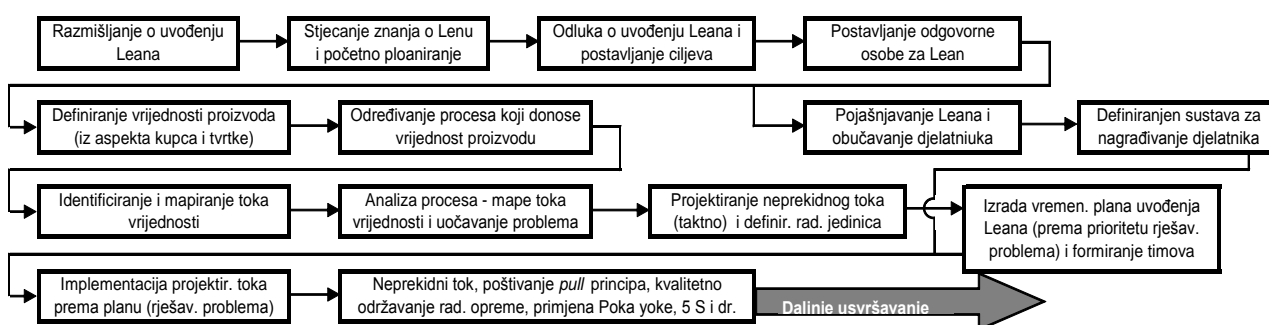
<p>usvajanja posljednjeg koraka onemogućava povratak na stari način rada te potiče djelatnike na stalna unaprjeđenja. 5 S je neophodan za Kaizen i Lean proizvodnju.</p>	<p>povećanje produktivnosti (smanjuje se vrijeme traženja materijala i alata, puno toga je jasno na prvi pogled, a i manje je papirologije), sigurnosti zaposlenih (manje nezgoda) i kvalitete proizvoda.</p>	<p>definira se određeno (označeno) mjesto (najbliže su oni koji se češće koriste i poredani su prema redoslijedu korištenja), tako da im je pristup lagan i brz; 3. Čišćenje (<i>Seiso</i>) sjaj i brisanje - redovito, najčešće svakodnevno, čišćenje radnog prostora od otpada i prljavštine (svako područje ima osobu zaduženu za čišćenje); 4. Standardiziranje (<i>Seiketsu</i>) - definiranje pravila po kojima zaposleni mjere i održavaju čistoću (koriste se i pisane procedure na plakatima kako bi se anomalije prije uočile i otklonile), s čim se omogućava da prva 3 S postanu navika; 5. Ustaljivanje i samodisciplina (<i>Shitzuke</i>) - održavanje reda prema konkretnim zaduženjima i prihvaćanje predhodna 4 S kao načina rada i života. (Eliminiraju se loše navike i zaposleni sami brinu o čistoći i urednosti, bez da ih se na to podsjeća.)</p>
--	---	--

4. Implementacija Leana u organizacije

U svojoj orijentiranosti na kupca, eliminiranje gubitaka i stvaranje vrijednosti Lean menadžment mora biti dinamičan. Implementacija Lean sustava ovisi o više čimbenika, pa sukladno tome ima više nijansi u pristupu. Prema Bhasinu za uspješnu implementaciju Leana potrebno je prilagođeno primijeniti najmanje pet alata i prihvatiti uvođenje kao dugotrajni proces [12]. Za uvođenje Lean koncepta ne postoji određena formula, već je potrebno uočiti gubitke te ih uz pomoć odgovarajućih alata otkloniti [16].

To iziskuje znanje i razumijevanje svih procesa u organizaciji. Zato je preduvjet za ostvarivanje Leana početno instruiranje zaposlenika. Potrebno je imati i odgovarajući sustav praćenja obavljenih radova, kako bi se prikupili podaci o nedostacima (greškama, kvarovima i dr.) koji su se događali (za postizanje poslovanja bez nedostataka) i kako bi se stvorila i po potrebi ažurirala baza normativa utroška vremena i materijala (za realno planiranje, usklađivanje radova, određivanje troškova i nagrađivanje zaposlenih).

Proces uvođenja Leana odvija se u nekoliko faza (mogu se podijeliti na planiranje, pripremu, uvođenje i kontrolu [17]), a na slici 5 navedeni su detaljnije razrađeni koraci.



Slika 5. Algoritam implementacije Lean upravljanja u tvrtki

Projektne zadaci timova su rješavanje određenih problema i unaprjeđenje tehnoloških procesa, a pri formiranju timova treba voditi računa o stručnim sposobnostima njihovih članova (broj članova tima ovisi o složenosti projekta, odnosno problema koji se otklanja). Pozornost treba usmjeriti na činjenicu da istovremeno korištenje previše metoda u ranoj fazi može dovesti do zbunjenosti i slabljenja zapažanja učinka pojedine Lean metode. Ipak, kako bi se nadalje poboljšale performanse organizacije tijekom stabilizacije uvedenog Lean upravljanja mogu se uspostaviti različite proaktivne metode [2]. Obvezno

treba imati na umu da se proizvodni postupak ne može promatrati samostalno, bez Lean strategije održavanja, jer pouzdanost opreme je preduvjet za provođenje Lean proizvodnje [7].

Jednom kada organizacija krene u Lean transformaciju taj proces neprekidno traje i ne može se tvrditi da je u jednom određenom trenutku završio, baš kao i proces kontinuiranog usavršavanja u radu. Uvođenje Lean koncepta prerasta u kontinuirano djelovanje (prikazano u algoritmu na slici 6) koje podrazumijeva nastavak praćenja procesa i uočavanje novih problema za koje se opet definiraju projekti i timovi za njihovo rješavanje. No, Lean koncept nije moguće uvesti samo na zahtjev uprave, već to zahtijeva jedan dublji pristup svih zaposlenika organizacije. "Vitkost" mora biti "filozofija življenja" organizacije. Za postizanje, kao i očuvanje svih unaprjeđenja, uvijek je bitno stvoriti odgovarajuću organizacijsku kulturu koja će prihvaćati i podržavati promjene koje implementacija donosi. Jedan od najvećih izazova koji stoji pred menadžmentom je radikalna transformacija organizacijske kulture za osiguranje sveukupnog sudjelovanja zaposlenika u unaprjeđenju poslovanja. Kako bi se olakšala implementacija bilo koje strategije unaprjeđenja menadžment treba razviti program djelotvornog nagrađivanja (motiviranja), izgraditi osjećaj vlasništva kod zaposlenika (prema opremi s kojom rukuju, kao i prema cijeloj tvrtki, da bi iskreno stremili njenom uspjehu) te unaprijediti komunikacije i povjerenje. Izgradnja kulture kontinuiranog unaprjeđenja i Kaizena organizacija može doprinijeti demonstrirajući spremnost za prihvaćanje promjena na radnom mjestu i poticanjem zaposlenika da daju svoje sugestije.

5. Gubici kod izvođenja radova na građevinama i moguća poboljšanja s Leanom

Izvođenje građevinskih, pripremno-završnih, instalacijskih i drugih radova na građevinama karakterizira projektna orjentiranost (uvijek su jedinstveni) i rad za unaprijed poznatog kupca, tj. investitora. Također, odvijaju se pretežito na privremenim radilištima (gradilištima) i na otvorenom (utjecaj vremenskih prilika). Njihov proizvod - građevina je nepomičan, pa se stalno moraju pomicati radnici i strojevi, a izvedba je dugotrajna i u nju je uključen veći broj sudionika s različitim vrstama radne snage, strojeva i materijala.

Pri izvođenju građevina uobičajene aktivnosti bez kojih se ne može, a s kojima se ne stvara vrijednost (iako stvaraju troškove) su: pripremno-završni radovi na gradilištu, čuvanje gradilišta, promjene radnih mjesta, prilagođavanje stroja konstrukciji, promjene potrošnih dijelova strojeva i alata, održavanje sredstava rada, poduzimanje mjera zaštite na radu, rad uprave gradilišta, prijevoz radnika itd.

Kod izvođenja ovih radova (ovisno o projektu) postoje gubici vremena (tj. zastoji) i materijala. Zastoji se prema naravi mogu razvrstati na prirodne (zbog nepogodnih vremenskih uvjeta i sl.), tehnološke (zbog promjene radnih mjesta, neujednačene potrebe za korištenjem resursa, promjene presjeka konstrukcije itd.), organizacijske i one vezane za rad strojeva i za rad radnika. Zastoji prve dvije naravi ne mogu se izbjeći, ali se treba pobrinuti da ne budu neopravdano veliki. Ostali, uklonjivi uzroci gubljenja vremena su: nedostaci materijala, energije, rezervnih dijelova, zakrčenost radnog mjesta, loš raspored na gradilištu, loša organizacija radnog mjesta, neusklađenost radnih procesa, kvarovi (loše

održavanje opreme i strojeva), loš izbor resursa za rad, nedovoljna zaštita na radu i obučenosn radnika, kršenje radne discipline, loši međuljudski odnosi, nemotiviranost, loša organizacija radnog vremena, loše planiranje, kontrola i općenito rukovođenje, manjkavosti tehničke dokumentacije i dr. Gubici vremena kod građenja veći su nego produktivno vrijeme (57%), što je puno više nego u tvorničkoj proizvodnji (gdje su 12% od ukupnog vremena) [18]. Neizbježni gubici materijala najviše su vezani za svođenje standardnih dimenzija na mjere potrebne za ugradbu, a uklonjivi gubici uglavnom su uzrokovani neprimjerenom manipulacijom i transportom, lošim izborom materijala, pretjeranim nagomilavanjem, nestručnim i nemarnim rukovanjem, odnosno neracionalnom uporabom, korištenjem neodgovarajućih strojeva i alata itd. Prema u 2. poglavlju opisanoj Lean podjeli gubitaka na gradilištima se često mogu uočiti primjeri navedeni u tablici 3.

Tablica 3. Gubici do kojih često dolazi kod izvođenja radova na građevinama

Vrsta gubitaka	Učestali slučajevi na gradilištima
Prekomjerna proizvodnja	– izvođenje radnih operacija koje nisu neophodne (zbog neznanja/nestručnosti i nepotpunih, netočnih ili nepravodobnih informacija)
Prekomjerna obrada	– uporaba prekapacitiranih strojeva (loše izabranih)
Nepotrebni pokreti	– kod lošeg rasporeda strojeva i deponija materijala i nedovoljne obučenosni
Greške/Škart	– loše izvedeni radovi (zbog nestručnosti ili pogrešnih informacija) koji zahtjevaju dodatno trošenje vremena i materijala za popravke
Zalihe	– prekomjerne zalihe koje su "zamrznuti kapital" podložan oštećivanju i krađi i koje nepotrebno povećavaju troškove skladištenja i zauzimaju prostor
Čekanje	– na materijale, rezervne dijelove, na strojeve, na radnike, na završetak radova koji se prethodno moraju obaviti, kao i čekanje na dozvole, rezultate kontrole i informacije (npr. u svezi izmjena i dopuna izvođenog projekta) - kada se gubi radno vrijeme koje se plaća
Transporti	– nepotrebni prijenosi materijala (zbog lošeg rasporeda na gradilištu i loše komunikacije)
Održavanje	– zbog lošeg održavanja strojevi i oprema se kvare i imaju kraći vijek uporabe

Takvi gubici se sigurno mogu, ako ne potpuno izbjeći, onda znatno smanjiti boljim planiranjem (u okviru pripreme građenja izrađuje se izvedbeni projekt organizacije građenja u sklopu kojega su vremenski planovi odgovarajuće razine detaljnosti i optimalizirani glede roka i troškova te potreba za resursima), boljim rukovođenjem i pozitivnim doprinosom operativnih radnika. Serijska proizvodnja nije svojstvena građevinarstvu, ali se u cilju snižavanja troškova može težiti cikličnom (taktinom) odvijanju raova po pojedinim prostornim jedinicima građevine. Obilasci gradilišta od strane rukovoditelja pridonose potrebnom održavanju discipline i mogu uroditi idejama za unaprjeđenje. Pristupačnost informacija može se poboljšati BIM-om (*Building Information Modeling* - modeliranje informacijskog sustava tijekom cijelog životnog vijeka građevine) i uporabom suvremenih IT-a.

Primjena Lean procedura i alata razlikuje se ovisno o tome da li se radi o projektiranju službi pripreme, izvođenju radova na gradilištu ili u centralnim pogonima (armiračnici, pogonu za proizvodnju montažnih elemenata i dr.) i skladištima tvrtke, ali uvijek treba slijediti osnovna načela Lean menadžmenta. To znači da treba istražiti procese u cilju smanjenja nepotrebnih troškova i ostalih gubitaka. Nakon mapiranja toka materijala i informacija obavljaju se poboljšanja primjenom odgovarajućih Lean alata i metoda. Među

zaposlenicima treba stvoriti odgovarajuću radnu atmosferu i usvojiti standardni način obavljanja radova. Sustav povlačenja ovdje se odnosi na nabavu potrebnih inputa te usklađeno odvijanje procesa i uključivanje kooperanata. U težnji za savršenstvom kreiraju se procedure za trenutno otkrivanje problema i provodi se kontinuirano učenje [4, 19].

Obzirom na navedene, učestale gubitke nameće se potreba za primjenom Lean metoda i alata, poglavito JIT-a (podrazumijeva povlačenje ili dostavu inputa narednih vrsta radova točno u trenutku kada je to potrebno), Kaizena, Kanbana i 5 S-a. Uvođenje TQM-a proizlazi iz potrebe tvrtke za podizanje kvalitete i ishođenje certifikata ISO 9000 [4].

Lean upravljanje kod izvođača građevinskih i drugih radova na građevinama može donijeti prednosti kao što su smanjeno administriranje, poboljšanje toka rada, bolji timski rad, smanjenje zaliha, manji utrošak materijala, bolju organizaciju radnih mjesta i prostora, kraće vrijeme rada i veću kvaliteta proizvoda/usluge [4]. Sve to čini poslovanje efikasnijim i smanjuje troškove tvrtke izvođača radova te dovodi do većeg zadovoljstva investitora.

6. Zaključak

Za poslovanje u današnjem vrlo konkurentnom okruženju sve je važnije umijeće upravljanja i to se više ne ograničava samo na proizvodnju u tvorničkim pogonima. Za to nisu neophodni, a često ni mogući veliki pomaci, nego treba kontinuirano, ustrajno poboljšavanje na svim područjima poslovanja. Stoga treba nastojati primijeniti strategije koje su se pokazale svjetski uspješnim, ali vodeći računa o svojim specifičnostima. Problem je što se stručnjaci tehničkih struka unutar redovitog školovanja malo obrazuju iz područja upravljanja, a ta znanja im tijekom njihovog radnog vijeka postaju sve potrebija.

Na temelju prethodnih istraživanja i iskustva autora članka pri izvođenju radova na građevinama dolazi do brojnih gubitaka (rasipanja vremena i novca) koji se mogu barem umanjiti primjenom odgovarajućih Lean metoda i alata. Uspješnim Lean upravljanjem povećava se efikasnost i kvaliteta uzvedenih radova (bez dodatnih troškova), pa s tim izvođači radova mogu povećati svoju dobit i održati ili popraviti svoj položaj na tržištu.

No, Lean koncept nije samo skup nabacanih metoda i alata koji se mogu primjenjivati bilo gdje i bilo kada, nego je proces njegove implementacije jedinstven za svaku organizaciju, te se ne može samo prekopirati s jedne na drugu.

Jednom usvojena poboljšanja trebaju ući u naviku zaposlenika, ali na njima ne treba stati, jer se u poslovanju, kod svakog novog građevinskog projekta, pojavljuju novi problemi (potencijalni gubici) s kojima se treba spremno suočiti i uspješno ih riješiti.

7. Literatura

- [1] Cua, Kristy O; McKone, Kathleen E; Schroeder, Roger G. Relationships between implementation of TQM, JIT and TPM and manufacturing performance // *Journal of Operations Management* 19(2001) 6; 675-694. (ISSN 0272-6963)
- [2] Ahuja, P. S. *Handbook of Maintenance Management and Engineering, Total Productive Maintenance*. London: Springer-Verlag, 2009. (ISBN 978-1-84882- 471-3)
- [3] Bonavia, Tomas; Marin, Juan Antonio. An empirical study of lean production in the ceramic tile industry in Spain // *International Journal of Operations & Production Management*, 26 (2006), 5; 505-531. (ISSN 0144-3577)

- [4] Lacković, Zlatko. Lean građevinarstvo. Osijek: Alberta, 2017. (ISBN 978-953-7973-15-5)
- [5] Womack, P. James P; Jones, Daniel T. Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation, New York: Simon&Schuster Inc, 1996. (ISBN 0-7432-4927-5)
- [6] Ohno, Taiichi. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production, Productivity, Portland: Productivity, Inc, 1998. (ISBN 0-915299-14-3)
- [7] Bulatović, Miodrag; Đurović, Dušan. "5 S" kao alat Lean koncepta u održavanju // *Zbornik radova 3. Konferencije "Održavanje 2014" / Jašarević, Sabahudin (ur.)*. (ISSN 1512-9268). Zenica: Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici i Društvo održavalaca BiH, 11-13. 06. 2014, s. 9-18
- [8] Štefanić, Nedeljko; Tošanović, Nataša. Lean proizvodnja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, ppt-prikaz, 2012. https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/20_09_2011__14682_Osnove_menadzmenta-LEAN.pdf (Pristup 18.04.2017.)
- [9] Liker, Jeffrey K; Meier, David The Toyota Way Fieldbook. New York: McGraw-Hill Professional, 2006. (ISBN 978-0071448932)
- [10] Preister, Jasna; Ivanko, Filip. Rasprostranjenost lean koncepta u hrvatskoj prerađivačkoj industriji // *Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu*, 9 (2011), 2; 105-122. (ISSN 1333-8900)
- [11] Rich, Nick; Bateman, Nicola; Esain, Ann; Massey, Lyn; Samuel, Donna. Lean evolution: Lessons from the Workplace. Cambridge: University Press, 2012. (ISBN 978-1107407190)
- [12] Bhasin, Sanjay; Burcher, Peter. Lean viewed as philosophy // *Journal of Manufacturing Technology Management*, 17(2006) 1; 56-72. (ISSN 1741-038X)
- [13] Fiat Automobili Srbija: Proizvodnja Svetske Klase: Uvod - Metodologija i alati, Kragujevac, 2010, <https://www.scribd.com/doc/61440631/FAS-Uvod-u-WCM> (Pristupljeno 17.03.2017.)
- [14] Hren, Mladen. Sustavi poslovanja – Lean menadžment, Hrvatski ogranak Međunarodne elektrodistribucijske konferencije - HO CIRED, 4.(19.) savjetovanje, Seget Donji, 11-14.05.2014, <http://www.ho-cired.hr/wp-content/uploads/2016/06/SO6-16.pdf> (Pristupljeno 9.07.2016)
- [15] Kootanaee, Akbar; Babu, Nagendra K; Talari, Hamidreza Fooladi. Just- In – Time manufacturing system: from introduction to implement // *International Journal of Economics, Business and Finance (IJEBF)*, 2(2013) 1; 7-25. (ISSN 2327-8188)
- [16] Piškor, Mario; Kondić, Veljko. Lean production kao jedan od načina povećanja konkurentnosti hrvatskih poduzeća na globalnom tržištu // *Tehnički glasnik*, 4(2010) 1-2; 37-41 (ISSN 1846-6168)
- [17] Žvorc, Mladen. Lean menadžment u neproizvodnoj organizaciji // *Ekonomski vjesnik*, 13(2013), 2; 695-709. (ISSN 1847-2206)
- [18] Remon, Fayek Aziz; Sherif, Mohamed Hafez. Applying lean thinking in Construction an performance improvement // *Alexandria Engineering Journal*, 52(2013) 4; 679-695. (ISSN 1110-0168)

Recikliranje žarulja *Recycling of light bulbs*

Z. Mrčela*, G. Rozing, T. Malijurek

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

*Autor za korespondenciju. E-mail: zmrcela@etfos.hr

Sažetak

Uredbama Europske Unije korištenje klasičnih žarulja sa žarnom je zabranjeno, te se sugerira njihova zamjena sa tzv. štednim žaruljama ili kompaktnim fluorescentnim žaruljama (CFL). Spomenute žarulje prihvatljive su s aspekta potrošnje električne energije i vijeka trajanja, ali CFL žarulje postaju veliki problem za okoliš. Preteča CFL žarulja su fluorescentne cijevi koje su duži niz godina prisutne na tržištu i koje prama svom sastavu identične CFL žaruljama. Naime one u sebi sadrže različite komponente teških metala osobito žive koja je izrazito opasna po zdravlje čovjeka i okoliš. EU je propisala 2012. godine maksimalnu količinu žive na 3,5 mg po žarulji, s tendencijom stalnog pada količine žive u žaruljama, stoga se danas mogu pronaći količine i od 1 mg po žarulji. Zbrinjavanje i recikliranje odbačenih fluorescentnih cijevi i CFL žarulja od izuzetne je važnosti za ekosustav. Postrojenja za cjelovitu obradu omogućuju nam recikliranje rasvjetnih tijela i dobivanje 98% sirovine za daljnju preradu i proizvodnju. U Hrvatskoj je temeljem članka 104. Zakona o otpadu (NN 178/04) donesen Pravilnik o gospodarenju otpadnim EE uređajima i opremom prema kojem su propisane obaveze i odgovornosti proizvođača EE opreme u koju spadaju i rasvjetna tijela. Prihvatljivo rješenje zbrinjavanja otpadnih žarulja moguće je samo u cjelovitom pristupu recikliranja CFL žarulja i fluorescentnih cijevi.

Ključne riječi: rasvjetna tijela, CFL, fluorescentne cijevi, recikliranje

Abstract

The European Commission prohibits the use of classic incandescent light bulbs, and suggests their replacement by energy saving electric light or by compact fluorescent lamps (CFL). The CFL is acceptable if considering its reduced electricity consumption and longer durability, but at the same time, CFL is becoming a major environmental problem. Fluorescent tubes, as a forerunner of CFL bulbs, have been present on the market for many years. In their composition, fluorescent tubes are identical to CFL bulbs. They contain different components of heavy metals, especially mercury, which is extremely dangerous to human health and environment. In 2012, the EU has set the maximum amount of mercury to 3.5 mg per bulb, with the tendency of its constant decrease, so nowadays it is possible to find bulbs with 1 mg of mercury. Disposal and recycling of used

fluorescent tubes and CFL bulbs is important for the ecological system preservation. Waste processing plants allow us to recycle light bulbs and to obtain 98% of raw material for further processing and production. Pursuant to the Article 104 of the Waste Act (OJ 178/04), there is the Regulation on the management of electronic waste adopted in Croatia, which defines obligations and responsibilities of electronic equipment manufacturers, referring also to lights. An acceptable solution for bulbs disposal is found only in the complete approach to recycling of CFL bulbs and fluorescent tubes.

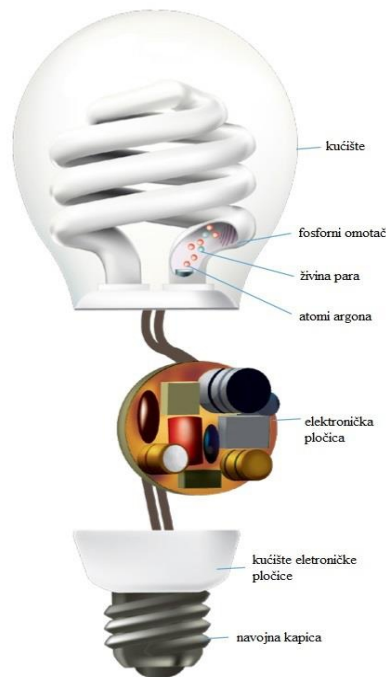
Key words: lights, CFL, fluorescent tubes, recycling

1. Uvod

Današnja rasvjetna tijela koriste za svoj rad razne komponente i tvari, od kojih su neke posebno opasne, poput žive, fosfora i tiskanih elektroničkih pločica. Isto tako koriste i vrijedne materijale poput plemenitih plinova, stakla, plastike i metala. Potpunom obradom rasvjetnih tijela u procesu recikliranja može se odvojiti i do 98 % sirovine koja se može koristiti u daljnjoj proizvodnji. Za recikliranje rasvjetnih tijela moguće je koristiti različite postupke poput; toplinskog, vodenog, zračnog, kemijskog i mehaničkog recikliranja. CFL žarulje su zapravo fluorescentne cijevi savinute u različite oblike, čime se postižu manje ukupne dimenzije izvora svjetlosti, dok se zadržavaju sve karakteristike rada fluorescentnih cijevi. Njihov je naziv na engleskom jeziku *Compact Fluorescent Lamps* pa se često koristi i skraćenica CFL žarulje. CFL žarulje pripadaju grupi niskotlačnih žarulja na izboj, pri čemu se svjetlost generira principom fotoluminiscencije. Izboj se događa između elektroda u živinim parama, pri tlaku od oko 1,07 Pa (tlak pare tekuće žive je pri temperaturi od 40° C). Osim žive, u punjenju se obično nalazi i neki inertni plin (argon, kripton, neon, ksenon), kao pomoć prilikom paljenja žarulje. U ovom radu posebnu pozornost posvećujemo CFL žarulji kao najvažnijem proizvodu u sustavu rasvjetnih tijela.[1]

2. Struktura CFL rasvjetnog tijela

Kao i većina žarulja na izboj, CFL žarulje moraju imati pred-spojnu napravu koja se naziva prigušnica, a služi za ograničavanje pogonske struje na vrijednost za koju je žarulja napravljena, te osigurava potreban startni i pogonski napon. Temperaturu boje svjetla koju daju CFL žarulje moguće je kontrolirati fosfornim omotačem, kao i kod fluorescentnih cijevi. Standardno se koriste trokomponentni fosfor. Materijalna struktura CFL žarulje prikazana je slikom 1.



Slika 1. Materijalna struktura CFL žarulje [2]

Osim što ima svoja pozitivna svojstva, štedna žarulja CFL ima puno konstrukcijskih problema, od kojih su: regulacija jačine svjetlosti, sporo postizanje punog osvjetljenja, zujanje, rad na niskim temperaturama, slabljenje intenziteta, iridiscencija (prelijevanje boja) i ultraljubičasto zračenje. CFL žarulje proizvode se u snagama od 3 do 70 W. Postoje izvedbe s integriranom elektroničkom prigušnicom i standardnim grlom E27 i E14, koje mogu zamijeniti gotovo svaku standardnu žarulju, ostvarujući pri tome uštedu energije od gotovo 80 % [3].

3. Štetnost odbačenih rasvjetnih tijela

Osim što rasvjetna tijela sadrže opasne tvari i komponente potrebne za rad, a štetne za okoliš i ljudsko zdravlje, kod nekih žarulja plinovi uzrokuju emisije stakleničkih plinova i svjetlosna oštećenja što je danas jedan od glavnih problema u zaštiti okoliša. Kako sadrže određenu količinu štetnih tvari tako sadrže i vrijedne, rijetke sirovine i elektroničke komponente zbog čega se ne smiju odlagati u običan komunalni otpad, nego se trebaju odvojeno prikupljati i reciklirati u skladu s pravilnikom o gospodarenju otpadnih električnih i elektroničkih uređaja Republike Hrvatske, kao i zakonskim direktivama Europske unije koje je Republika Hrvatska prihvatila ulaskom u istu.[4]

3.1. Štetne tvari i komponente rasvjetnih tijela

Štetne tvari (teški metali) djeluju posebno na ljudsko zdravlje, pa se kod čovjeka javljaju zdravstvene tegobe od problema s živčanim sustavom do najčešće problema s bubrezima i mokraćnim kanalima. U prirodi neke štetne tvari se razgrađuju dok kod živih organizama one se akumuliraju i njihova redukcija je gotovo nemoguća.

Štetne tvari i komponente koje su prisutne kod CLF žarulja su:

- I. živa (Hg),
- II. fosfor (P),
- III. plinovi i
- IV. tiskane pločice.

Živa (Hg) je tekući i otrovni teški metal, kod ljudi živa djeluje na živčani sustav i na filtere krvi. Kod trudnica se živini metali mogu placentom prenijeti u embrij čime se dijete može roditi s raznim oštećenjima. Svjetska zdravstvena organizacija ustanovila je tjedni podnošljivi unos žive od 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ tjelesne težine [5].

3.2. Gospodarenje odbačenim rasvjetnim tijelima u Republici Hrvatskoj

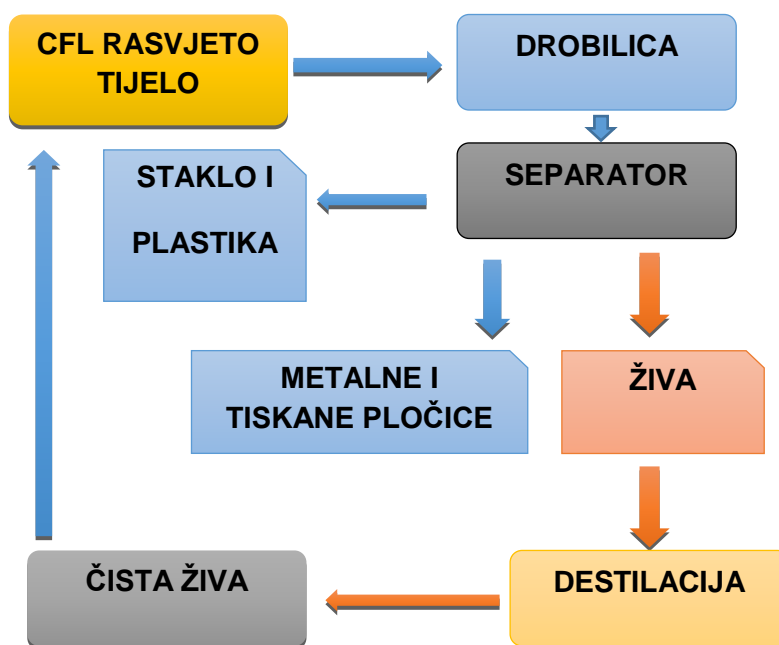
Temeljem članka 104. Zakona o otpadu (NN 178/04) donesen je Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 74/07) odnosno njegove izmjene i dopune (NN 133/08, NN 31/09, NN 156/09, NN 143/12, NN 86/13). Temeljem Zakona o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) donesen je Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 42/14, NN 48/14, NN 107/14). Pravilnikom su propisane obveze i odgovornost proizvođača električne i elektroničke opreme i uređaja (u daljnjem tekstu: EE oprema), način obilježavanja, način gospodarenja električnim i elektroničkim otpadom (u daljnjem tekstu: EE otpad. Prema Pravilniku EE oprema predstavlja sve proizvode koji su za svoje pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima, kao i oprema za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje ili jakosti elektromagnetskoga polja i namijenjena je korištenju pri naponu koji ne prelazi 1.000 V za izmjeničnu i 1.500 V za istosmjernu struju i ne uključuje ambalažu. Rasvjetna oprema zauzima udio od 0,78 % sakupljenog EE otpada, a u tonama iznosi oko 145 tona što nije puno uzmemo li u obzir da je iste godine na tržištu Republike Hrvatske bilo oko 2217 tona rasvjetne opreme.

Tablica 1. Obrađeni EE otpad u 2015. Godini prema vrsti EE opreme[4]

EE OTPAD PREMA VRSTI EE OPREME		UKUPNO, t	UDIO, %
1.	Veliki kućanski uređaji	8.345,56	44,95
2.	Mali kućanski uređaji	312,34	1,68
3.	IT oprema i oprema za telekomunikacije	2.840,34	15,30
4.	Oprema široke potrošnje za razonodu	6.252,29	33,67
5.	Rasvjetna oprema	145,00	0,78
6.	Električni i elektronički aparati	420,00	2,26
7.	Igračke, oprema za razonodu i športska oprema	32,00	0,17
8.	Medicinski uređaji	54,54	0,29
9.	Instrumenti za nadzor i upravljanje	100,87	0,54
10.	Samoposlužni aparati	64,65	0,35
UKUPNO, t		18.567,59	100,00

4. Recikliranje CFL rasvjetnih tijela

Recikliranje CFL rasvjetnih tijela spada u recikliranje EE otpada i sličnih je karakteristika uz neke važne izmjene, kao što je sakupljanje opasnih tvari poput žive i fosfora. Recikliranje CFL rasvjetnih tijela nema više postupaka recikliranja, postoji jedan postupak kojeg koriste gotovo sve tvrtke u svijetu. Za vrijeme procesa recikliranja CFL rasvjetnih tijela, tijela se drobe, a materijal dobiven drobljenjem se odvaja pod kontinuiranim procesom vakuumske filtriranja (separator), slika 2. sve komponente iz separatora idu u posebne sustave recikliranja.



Slika 2. Prikaz procesa recikliranja CFL rasvjetnih tijela

Nakon što se kruti materijali ohlade u procesu drobljenja i separacije oni odlaze na dodatno vodeno ispiranje unutar svoje centralne jedinice kako bi se očistili, nakon toga se odlažu u svoje posebne kontejnere, dok ostali materijali (živa, fosfor) odlaze na preradu u postupku destilacija koja se odvija u posebnom režimu.

5. Zaključak

Gospodarenje rasvjetnim sustavima u Republici Hrvatskoj definirano je Zakonom o otpadu i Zakonom o održivom gospodarenju otpadom kao i Pravilnikom o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom kojim su rasvjetna tijela CFL svrstana unutar kategorije rasvjetne opreme.

Štetnost odbačenih CFL rasvjetnih tijela je na visokoj razini zbog toga što su sačinjene od izuzetno štetnih tvari i komponenata, glavna tvar za rad CFL rasvjetnih tijela je živa, a ona je za ljudski organizam i eko-sustav pogubna jer se bio akumulira u isti.

Recikliranje rasvjetnih tijela nema više postupaka recikliranja, postoji samo jedan postupak kojeg koriste tvrtke u svijetu, ali se zapravo razlikuje u načinu izvedbe pogona. Bitna razlika u postupku recikliranja rasvjetnih tijela je tzv. centralna jedinica koja služi za

odvajanje opasnih tvari iz rasvjetnih tijela. Najbolje rezultate daju pogoni za cjelovitu obradu recikliranja rasvjetnih tijela koji daju i do 98 % sirovine za daljnju proizvodnju.

6. LITERATURA

- [1] Mrčela, Tomislav; Mrčela, Zvonimir; Malijurek Tomislav Recikliranje CFL rasvjetnih tijela //Matrib 2017, Sveučilište Sjever Vela Luka, 29.06. – 01.07. 2017 s 02-2-1 (rad u zborniku)
- [2] Compact Fluorescent Light (CFL) Bulb recycling Program, Solid waste agency of Northern Cook County, Glenview-Illinois, Pristupljeno 26. ožujak 2014.,
- [3] Philips (2016), *Halogene žarulje*, < <http://www.philips.hr/c-m-li/halogene-zarulje>>. Pristupljeno: 7. lipnja 2016.
- [4] Agencija za zaštitu okoliša (2015), *Pregled podataka o električnom i elektroničkom otpadu za 2014. i 2015. godinu*, <<http://www.azo.hr/lzvjesca25>>. Pristupljeno: 19. lipnja 2016.
- [5] Recikliraj.hr (2016), *Recikliranje fluorescentnih cijevi i žarulja*, <<http://recikliraj.hr/recikliranje-fluorescentnih-cijevi-i-zarulja/>>. Pristupljeno: 7. lipnja 2016.
- [6] Science online (2014), *Uses of fluorescent lamps and their structure*, <http://hebasoffar.blogspot.hr/2014/06/uses-of-fluorescent-lamps-and-their.html>>. Pristupljeno: 14. lipnja 2016.
- [7] EE Times (2013), *Increasing LED bulb lifespan improves solid-state lighting*, <http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1280899>. Pristupljeno: 14. lipnja 2016.
- [8] Recikljanje elektrotehničkih proizvoda (2015), *Opasni otpad*, <<https://loomen.carnet.hr/mod/folder/view.php?id=158494>>. Pristupljeno: 18. lipnja 2016.
- [9] *Fluorescent light bulb recycling*, <<http://www.swancc.org/resources/supportive-documentation/programs/283-fluorescent-light-bulb-recycling-brochure/file>>. Pristupljeno: 19. lipnja 2016.
- [10] MRT System (2013), *Lamp processing*, <<http://www.mrtsystem.com/products/lamp-recycling/>>. Pristupljeno: 19. lipnja 2016.
- [11] PureWay total compliance (2015), *Benefits of lamp recycling*, <<http://blog.pureway.com/2015/09/08/benefits-of-lamp-recycling/>>. Pristupljeno: 19. lipnja 2016.

Numerička analiza udara zračnog vala na plinsku bocu ***Numerical analysis of blast wave impact to gas cylinder***

I. Grgić*, D. Šotola, Ž. Ivandić

Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod,
Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: igrbic@sfsb.hr

Sažetak

Prema Pravilniku o ukapljenom naftnom plinu (UNP), skladištenje plinskih boca odvija se, u pravilu, na otvorenom prostoru. Budući da se taj skladišni prostor u većini slučajeva nalazi pored postaja za opskrbu prijevoznih sredstava gorivom pri čemu sigurnosna udaljenost skladišta boca do bilo kojeg mogućeg stalnog izvora paljenja iznosi 5 metara, uvijek postoji potencijalna opasnost od eksplozije. Kako bi se vidjelo kako materijal boca podnosi eksploziju, u radu je simuliran utjecaj udara zračnog vala pri čemu je za analizu korištena čelična plinska boca kapaciteta punjenja do 10kg. 3D model boce izrađen je u SolidWorksu prema normi 10 HRN M.Z2.510, a potom je provedena numerička analiza u Abaqusu. Inicijacija eksplozije postavljena je na različitim udaljenostima od boce počevši od predviđenih 5 metara i bliže. Za modeliranje eksplozije korištena su punjenja od 10 kg, 50 kg i 100 kg TNT-a.

Abstract

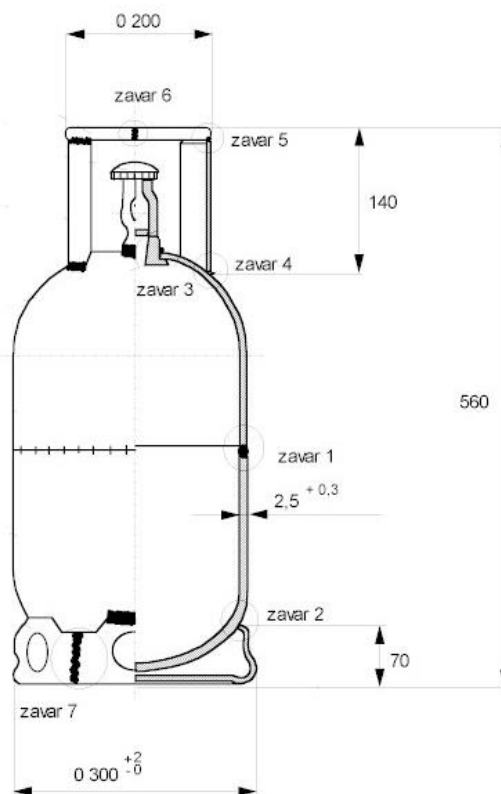
According to the Ordinance on liquefied petroleum gas (LPG), the storage of gas cylinders is usually carried out in the open space. Since this storage space is in most cases located next to the fuel supply station whereby the safety distance of the bottle storage to any possible permanent ignition source is 5 meters, there is always a potential risk of explosion. In order to show how the material of the gas cylinders behaves at the explosion, the impact of the air blast was simulated. The gas cylinder used for the analysis was a capacity of up to 10 kg. The 3D model of the gas cylinder was made in SolidWorks according to 10 HRN MZ2.510 regulative and numerical analysis was made in Abaqus. The initiation of the explosion is set at different distances from the gas cylinder starting from the 5 meters and closer. For the blast model, 10 kg, 50 kg and 100 kg of TNT charging were used.

Ključne riječi: Ukapljeni naftni plin, plinska boca, eksplozija, TNT



1. Uvod

Oblik boce za propan-butan prikazan na slici 1. propisan je standardom 10 HRN M.Z2.510, koji obuhvaća kompletnu bocu sa ventilom i svim dijelovima koji su zavareni na nju. Standard osim oblika boce definira i gabaritne dimenzije boce (volumen, masu, nazivno punjenje itd.), kvalitetu osnovnog materijala koji se koristi za izradu dijelova, te označavanje boce nakon zavarivanja dijelova. Konstruktivni detalji i izbor veličine mjera, koje nisu dane na slici propan-butan boce, kao i način zavarivanja prepuštaju se proizvođaču da samostalno iste odredi [1].



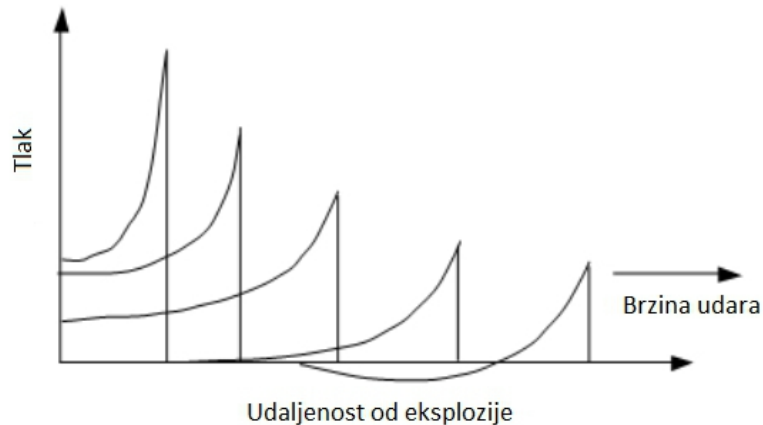
Slika 1. Boca za propan-butan plin [1].

Skladištenje ovih boca, u pravilu odvija se na otvorenom prostoru. Budući da se taj skladišni prostor u većini slučajeva nalazi pored postaja za opskrbu prijevoznih sredstava gorivom pri čemu sigurnosna udaljenost skladišta boca do bilo kojeg mogućeg stalnog izvora paljenja iznosi 5 metara, uvijek postoji potencijalna opasnost od eksplozije.

Brzo širenje vrućih plinova uslijed eksplozije izaziva kompresijski val zvan zračni ili udarni val koji se širi zrakom.

Udarni val se trenutno povećava na vrijednost tlaka iznad atmosferskog tlaka zraka. To se naziva pozitivnom fazom koja se raspada dok se udarni val širi prema van od izvora eksplozije. Nakon kratkog vremena tlak iza prednje strane vala može se spustiti ispod tlaka okoliša. Shematski prikaz ovih procesa prikazan je na slici 2. Za vrijeme takve negativne faze stvara se djelomični vakuum i zrak se uvlači unutar vala. Ovo sve je

popraćeno velikim usisnim vjetrovima koji nose krhotine na velike udaljenosti od izvora eksplozije. Kako udarni val putuje prema van od izvora eksplozije, tlak na prednjem dijelu vala, zvan vršni tlak, stalno se smanjuje te se na velikim udaljenostima manifestira kao infinitezimalan, a val se može tretirati kao zvučni val [2].



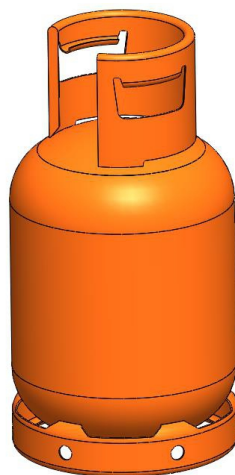
Slika 2. Širenje udarnog vala od mjesta eksplozije [2].

Kako bi se napravio pregled utjecaja eksplozije na materijal plinske boce ovdje će se koristiti 10 kg, 50 kg i 100 kg TNT-a na različitim udaljenostima od boce i to 1,0 m, 2,0 m, i 5,0 m. Izvor eksplozije za sve slučajeve postavljat će se na visini koja je od donje plohe postolja boce udaljena za polovicu iznosa ukupne visine boce.

Radi lakše predodžbe, energetska vrijednost plinske boce od 10 kg iznosi 128 kWh [3], odnosno u slučaju njene eksplozije odgovara vrijednosti od 110 kg TNT-a.

2. Numerički model eksplozije

3D model plinske boce, na temelju standarda 10 HRN M.Z2.510, modeliran je u programskom paketu SolidWorks i prikazan je na slici 3.

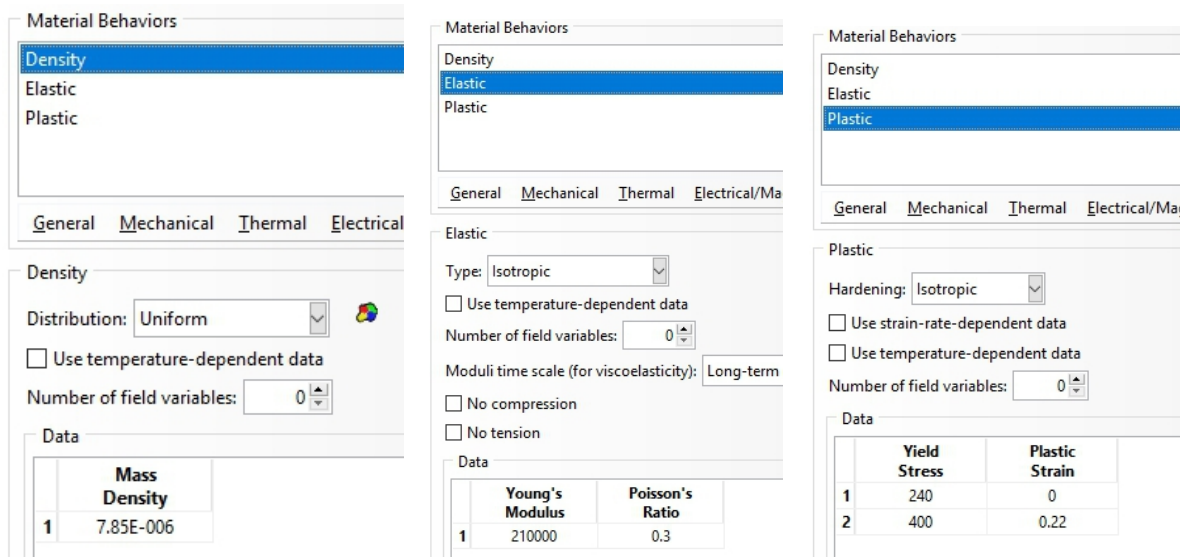


Slika 3. 3D model plinske boce 10 kg.

Geometrija je unesena u Abaqus te je definiran materijal boce. Prema [4], tijelo boce mora biti izrađeno od čeličnog lima Č.1216 čija su mehanička svojstva u normaliziranom stanju :

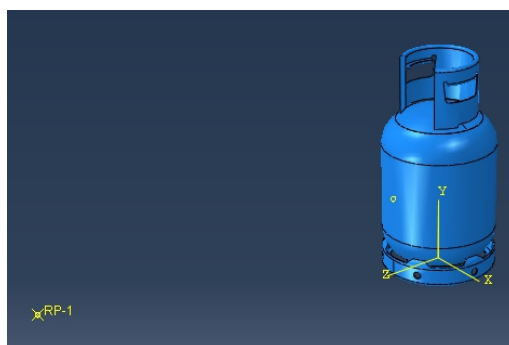
- vlačna čvrstoća: $R_m = 350 - 450$ MPa
- granica razvlačenja: $R_e = 250$ MPa
- relativno produljenje: $A_5 = 22$ %

Na slici 4. prikazan je modul *Material* sa unešenim karakteristikama.

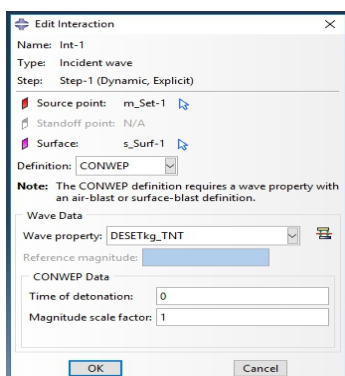


Slika 4. Svojstva materijala plinske boce.

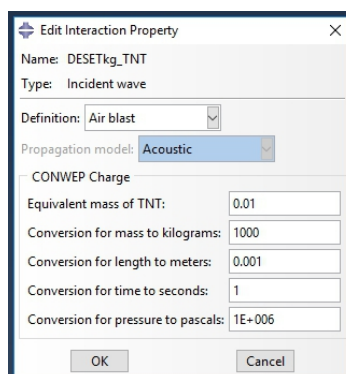
U modulu *Step* postavlja se vrijeme trajanja eksplozije. Ovaj numerički model sadržavat će različita vremena trajanja eksplozije i to 2×10^{-3} s, 5×10^{-3} s i 1×10^{-2} s, kako bi se vidio i vremenski utjecaj trajanja eksplozije na plinsku bocu. Za rješavanje korišten je *Dynamic Explicit* model sa CONWEP (*Conventional Weapons Effect*) svojstvom. U referentnoj točki 1. prikazanoj na slici 5. udaljenoj od boce 1,0 m zatim 2,0 m i 5,0 m, postavljenoj na visinu od 280 mm mjereno od donjeg postolja boce, postavljen je izvor odnosno tip eksplozije u modulu *Interaction*, prikazan na slici 6., od 10 kg, 50 kg i 100 kg TNT, a prikaz definiranih svojstava pokazan je na primjeru od 10 kg TNT prikazanog na slici 7. Da se izvor eksplozije nalazi točno



Slika 5. Referentna točka (RP-1) kao izvor eksplozije.

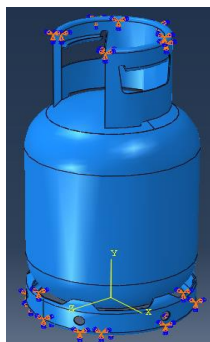


Slika 6. Tip eksplozije.



Slika 7. Svojstva 10 kg TNT.

Budući da nas zanima ponašanje materijala tijela boce promatran je slučaj da boca prilikom udara ostane u svom početnom položaju i u potpunosti podnese posljedice eksplozije, stoga, na slici 8. pokazana su mjesta uklještenja. Na slici 9. pokazna je mreža od 90688 konačnih elemenata oblika tetraedra kvadratnog geometrijskog reda.



Slika 8. Uklještenje plinske boce.



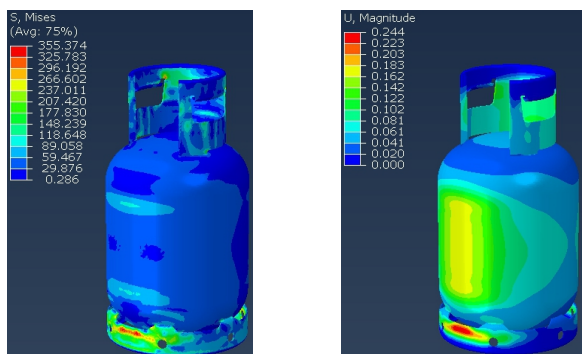
Slika 9. Mreža konačnih elemenata

3. Prikaz i analiza rezultata

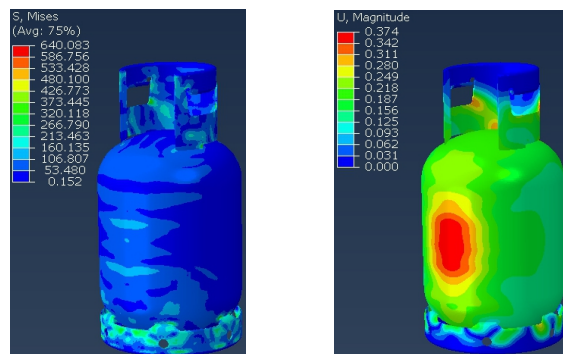
Analizom rezultata pokazat će se naprezanja u materijalu boce pri eksploziji i prikazana u megapaskalima a za opis ponašanja materijala koristit će se ukupni pomak izražen u milimetrima.

Na slici 10. prikazana je plinska boca postavljena na udaljenost od 1 metra od eksplozije 10 kg TNT uz vrijeme trajanja od 2×10^{-3} sekundi. Uz ista svojstva samo u trajanju od 5×10^{-3} sekundi prikazan je rezultat eksplozije na slici 11. Uočljivo je da slika 10. prikazuje trenutak nailaska udarnog vala pri čemu udarni val čini raznoliku raspodjelu naprezanja te prikaz ukupnog pomaka u smjeru svih osi po tijelu boce. Produljujući vrijeme eksplozije dobije se ravnomjernija raspodjela kako naprezanja tako i ukupnog pomaka i naravno mjerodavniji rezultati, kao što je vidljivo na slici 11. Analogno vrijedi i za rezultate prikazane na slici 12. pri čemu je udaljenost plinske boce od izvora eksplozije 10 kg TNT postavljena na 2 metra i u trajanju od 2×10^{-3} sekundi, odnosno na slici 13. uz ista svojstva samo uz vrijeme trajanja od 5×10^{-3} sekundi. Analizirajući ove rezultate vidljivo je da na

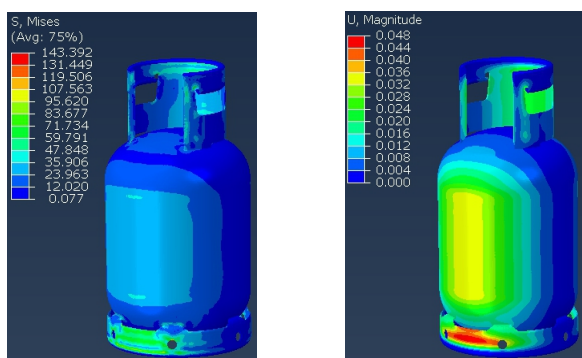
tijelu boce nema značajnih vrijednosti napreznaja a time i pomaka budući je granica razvlačenja materijala plinske boce 250 MPa. Eksplozija od 10 kg TNT sa 5 metara udaljenosti ima utjecaj na tijelo plinske boce tek ukoliko se vrijeme eksplozije produži na 1×10^{-2} s i prikazana je na slici 14.



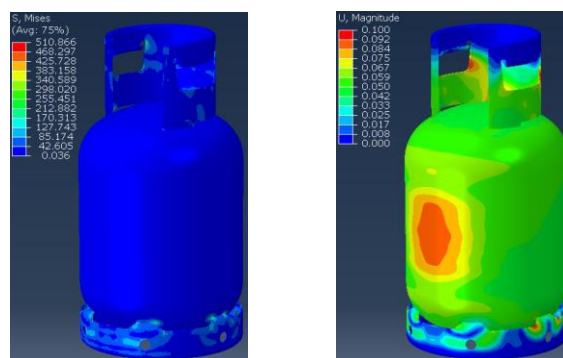
Slika 10. Udaljenost 1 m pri 2×10^{-3} s.
a) Napreznaja; **b)** Ukupni pomak.



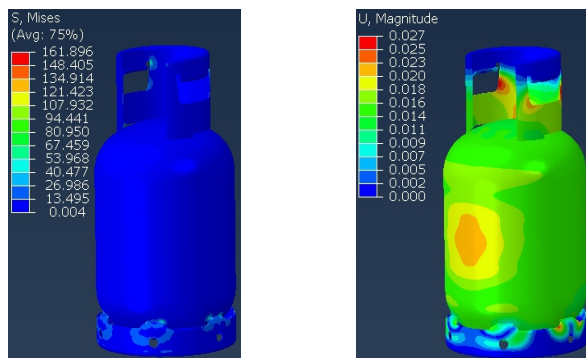
Slika 11. Udaljenost 1 m pri 5×10^{-3} s.
a) Napreznaja; **b)** Ukupni pomak.



Slika 12. Udaljenost 2 m pri 2×10^{-3} s.
a) Napreznaja; **b)** Ukupni pomak.

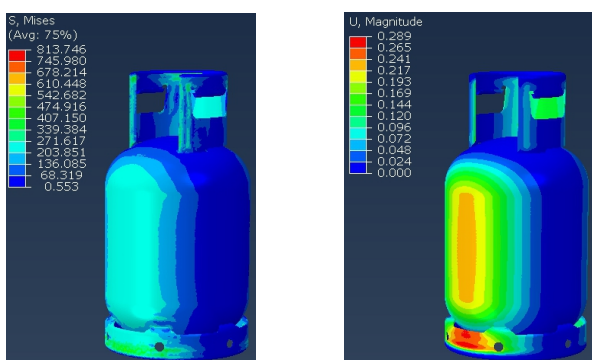


Slika 13. Udaljenost 2 m pri 5×10^{-3} s.
a) Napreznaja; **b)** Ukupni pomak.



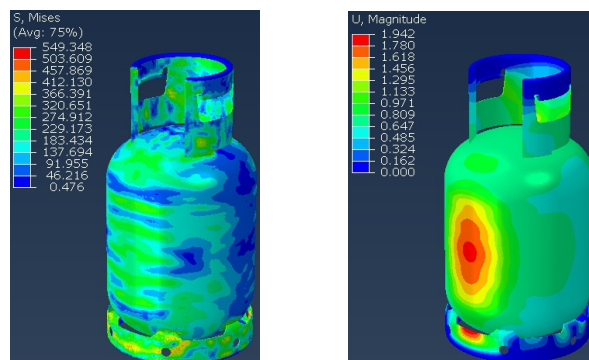
Slika 14. Udaljenost 5 m pri 1×10^{-2} s.
a) Napreznaja; **b)** Ukupni pomak.

Na slici 15., pri nailasku udarnog vala pri eksploziji od 50 kg TNT sa udaljenosti od 1 metra u trajanju eksplozije od 2×10^{-3} sekundi naprezanja rastu do vrijednosti granice razvlačenja, moguće su trajne deformacije tijela boce i to u središnjem dijelu. Na slici 16. svojstva eksplozije su ista kao na slici 15., osim što je trajanje eksplozije postavljeno na 5×10^{-3} sekundi. Slika 17. prikazuje eksploziju od 50 kg TNT na udaljenosti od 2 metra u trajanju od 2×10^{-3} sekundi. Uočljiva su manja naprezanja i pomaci nego u prethodnom slučaju. Također je slikom 18. dan rezultat naprezanja i ukupnog pomaka ukoliko se vrijeme eksplozije postavi na 5×10^{-3} sekundi na udaljenosti od 2 metra. Slikom 19. prikazan je utjecaj eksplozije 50 kg TNT na plinsku bocu sa udaljenosti od 5 metara s trajanjem od 1×10^{-2} sekundi.



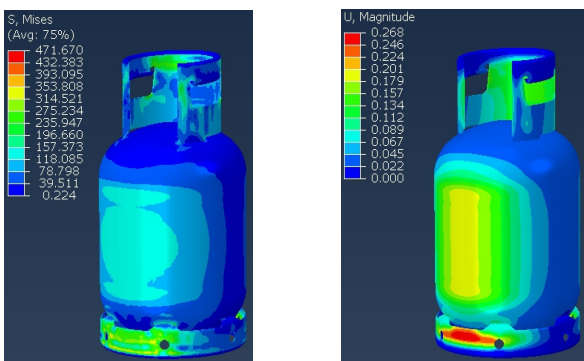
a) b)

Slika 15. Udaljenost 1 m pri 2×10^{-3} s.
 a) Naprezanja; b) Ukupni pomak.



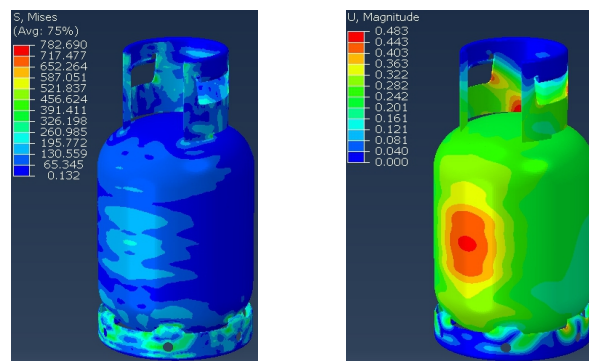
a) b)

Slika 16. Udaljenost 1 m pri 5×10^{-3} s.
 a) Naprezanja; b) Ukupni pomak.



a) b)

Slika 17. Udaljenost 2 m pri 2×10^{-3} s.
 a) Naprezanja; b) Ukupni pomak.

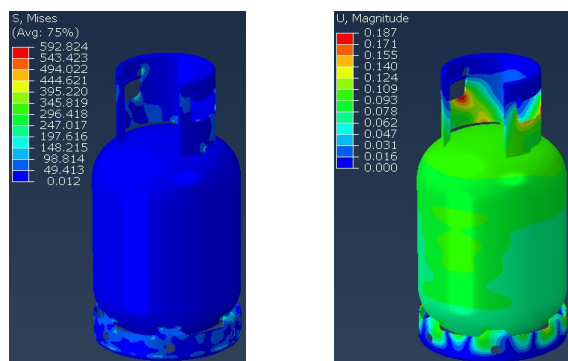


a) b)

Slika 18. Udaljenost 2 m pri 5×10^{-3} s.
 a) Naprezanja; b) Ukupni pomak.

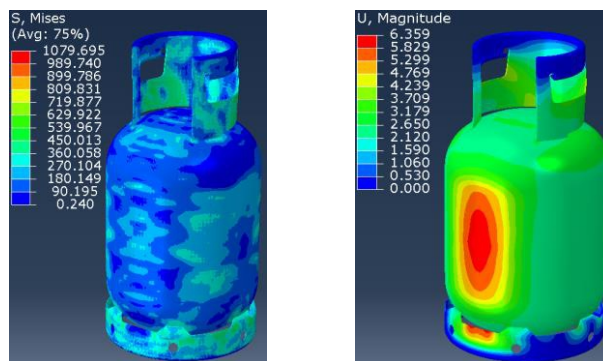
Utjecaj eksplozije od 100 kg TNT promatrat će se u trenutku udara zračnog vala, tj. uz vrijeme trajanja od 1×10^{-2} sekundi na udaljenosti od 1, 2 i 5 metara, Na slici 20., kada je eksplozija na udaljenosti od 1 metra, naprezanja prelaze granicu razvlačenja i dolaze u područje donje granice vlačne čvrstoće, mogu se očekivati teža oštećenja plinske boce.

Na slici 21. prikazani su rezultati za slučaj eksplozije na udaljenosti od 2 metara, odnosno na slici 22. na udaljenosti od 5 metara i vremenu od 1×10^{-2} sekundi .



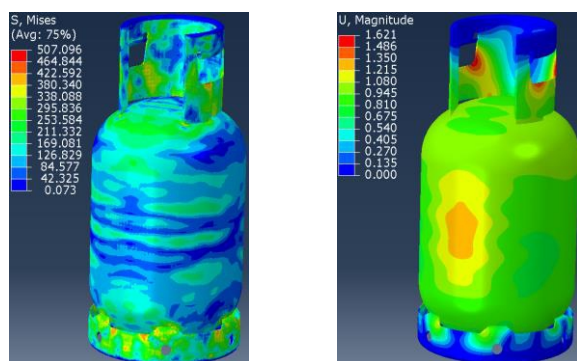
a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.

Slika 19. Udaljenost 5 m pri 1×10^{-2} s.
a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.



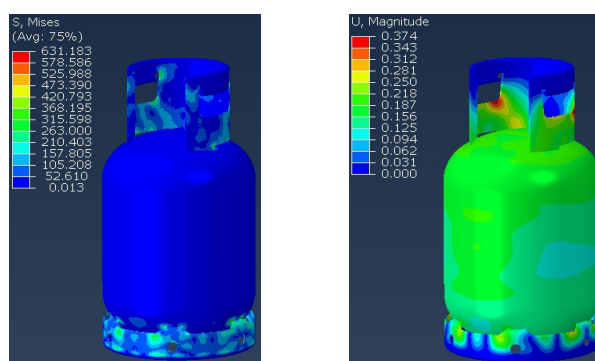
a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.

Slika 20. Udaljenost 1 m pri 1×10^{-2} s.
a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.



a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.

Slika 21. Udaljenost 2 m pri 1×10^{-2} s.
a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.

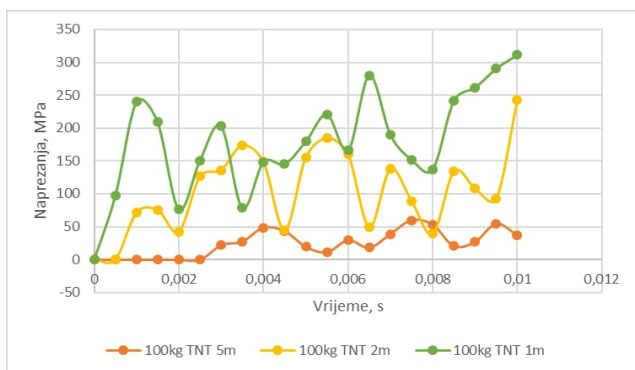


a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.

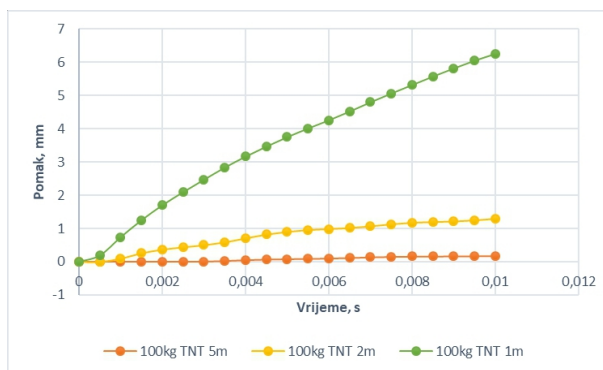
Slika 22. Udaljenost 5 m pri 1×10^{-2} s.
a) Napreznjanja; b) Ukupni pomak.

Budući da je eksplozija od 100 kg TNT najrazornija, njene karakteristike opisat će se dijagramima kako je prikazano na slici 23. i na slici 24. Uočljivo je da su napreznjanja izrazito promjenjiva. Njihov iznos, bez obzira na isti vremenski interval, ovisi o udaljenosti izvora eksplozije i rasprostiranju zračnog vala visokog tlaka po plinskoj boci. Rezultat su slabije ili jače deformacije materijala. Slučaj predstavljen Pravilnikom o ukapljenom naftnom plinu i minimalnom propisanom udaljenošću od 5 metara u dijagramima je pokazan crvenom bojom.

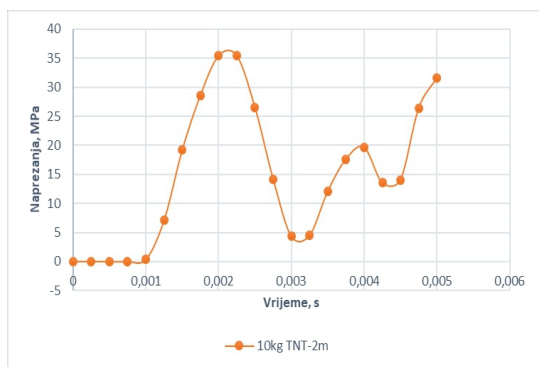
U nastavku su izdvojeni još neki karakteristični slučajevi napreznjanja i pomaka prikazani slikama 25. i 26.



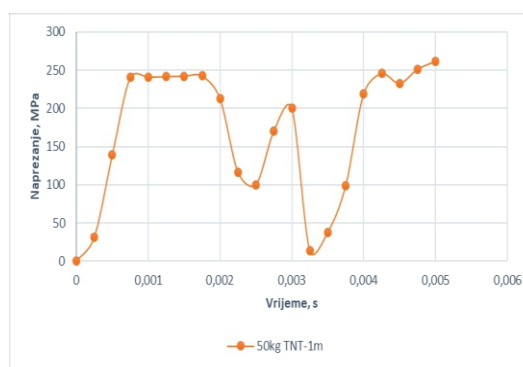
Slika 23. Naprezanja u ovisnosti o vremenu i udaljenosti



Slika 24. Pomaci u ovisnosti o vremenu i udaljenosti

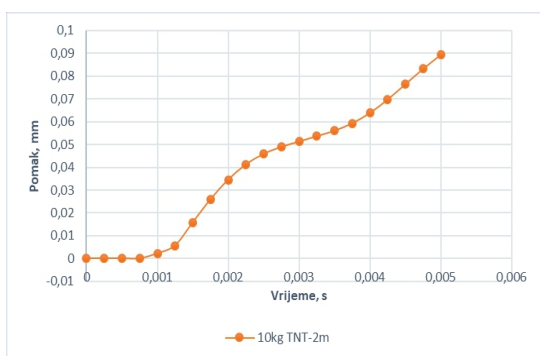


a)

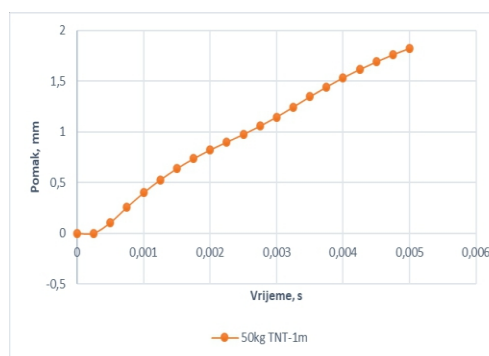


b)

Slika 25. Naprezanja
a) 10kg TNT 2m; **b)** 50kg TNT 1m



a)



b)

Slika 26. Ukupni pomak
a) 10kg TNT 2m; **b)** 50kg TNT 1m

4. Zaključak

Provedenom numeričkom analizom utvrđeno je da normom propisana udaljenost skladištenja plinskih boca od minimalno 5 metara od svih mogućih potencijalnih izvora eksplozije neće dovesti do značajnog utjecaja na promjene u ponašanju materijala u slučaju eksplozije reda veličine 100 kg TNT (korelacija sa eksplozijom plinske boce) od

kojeg se izrađuju plinske boce. Promatrani su također slučajevi ukoliko se eksplozija dogodi znatno bliže, te je uočeno da eksplozija 50 kg TNT na udaljenosti od 1 i 2 metra može prouzročiti određenu deformaciju tijela plinske boce. Ukoliko u neposrednoj blizini plinske boce eksplodira npr. druga plinska boca, što odgovara eksploziji od 110 kg TNT, koja se nalazi na udaljenosti od 1 metra za očekivati je da će eksplozija uzrokovati značajna oštećenja.

Još jednom se napominje da je boca uklještena s gornju i donju stranu s ciljem da se tijelo plinske boce u potpunosti izloži djelovanju eksplozije i da ju zadrži u tom položaju.

Preporučuje se istražiti slučaj da se plinsku bocu postavi pod tlakom, da se uključi slučaj temperaturnog djelovanja pri eksploziji, odnosno, podvrgnuti ovakvoj vrsti ispitivanja nove kompozitne plinske boce. Također, istražiti slučaj kada se radi o jačim eksplozijama npr. 200 kg TNT ili više na većim ili manjim udaljenostima.

5. Literatura

[1] http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tocka5/t51/teh_op.html

[2] <https://pdfs.semanticscholar.org/5a9a/876805cedc81865d68510df89232a97bc67d.pdf>

[3] <http://crodux-plin.hr/ukapljeni-naftni-plin/proizvodi/plin-u-boci/>

[4] http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tocka5/t51/izb_cel.html

Sila dubokog vučenja ***Force of the deep drawing***

B. Grizelj^{1,*}, D. Grizelj², V. Jurić Šolto¹

¹Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

²Siemens, Zagreb, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: bgrizelj@sfsb.hr

Abstract

The term metal forming refers to a group of manufacturing methods by which the given shape of a workpiece (a solid body) is converted to another shape without change in the mass or composition of the material of the workpiece. In this paper, the basics of a deep drawing process for the production of a thick plate steam boiler end caps are shown. Also the analysis of stresses which appear in the deep drawing process are shown – bending stress, frictional stress and inner stress due to displacement of material are also shown. Afterwards some mathematical formulations are made in order to find total stresses which appear in the material during the forming process which are needed for the force calculation.

Keywords: Deep drawing, thick plate, steam boiler

1. Introduction

The term metal forming refers to a group of manufacturing methods by which the given shape of a workpiece (a solid body) is converted to another shape without change in the mass or composition of the material of the workpiece. The manufacturing processes are divided into six main groups.

1. Primary forming = Original creation of a shape from the molten or gaseous state or from solid particles of undefined shape, that preserves cohesion between particles of the material. 2. Deforming (Metal forming). 3. Separating = Machining or removal of material, that destroys cohesion. 4. Joining = Uniting of individual workpieces to form subassemblies by filling and impregnating of workpieces, and so on, that increases cohesion between several workpieces. 5. Coating = Application of thin layers to a workpiece, for example, galvanizing, painting, coating with plastic foils, that creates cohesion between substrate and coating. 6. Changing the material properties = deliberately changing the properties of the workpiece in order to achieve optimum characteristics at a particular point in the manufacturing process. These methods include changing the orientation of micro-particles as well as their introduction and removal, such as by diffusion, that rearranges, adds, or removes particles. Classification of metal-forming methods by subgroups [1-4] is shown at Figure 1.

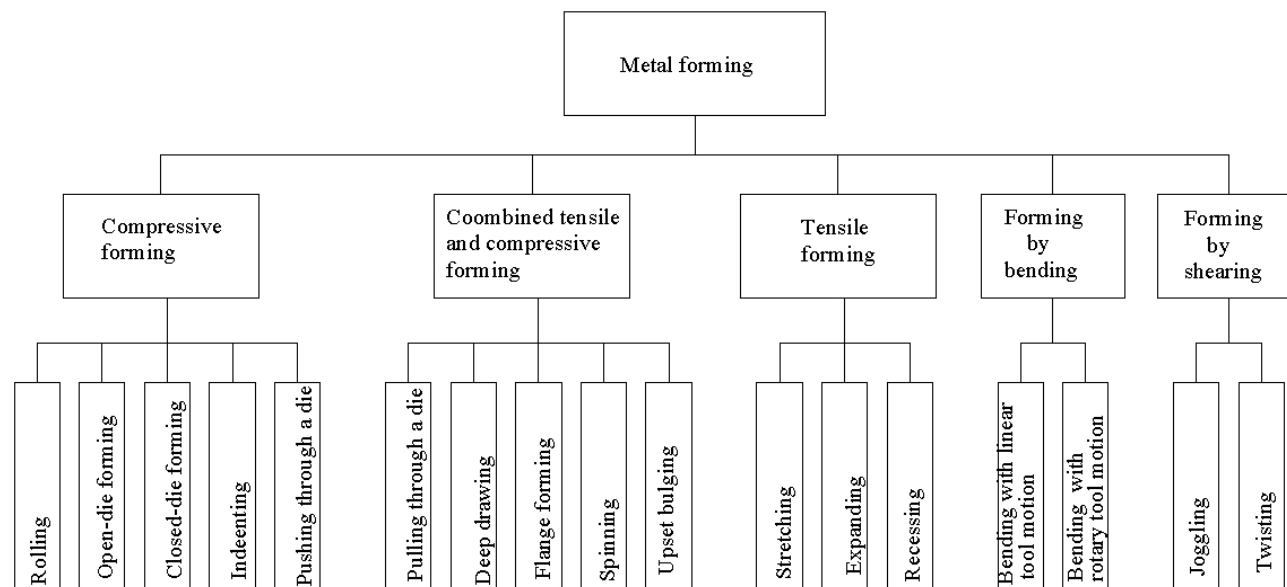
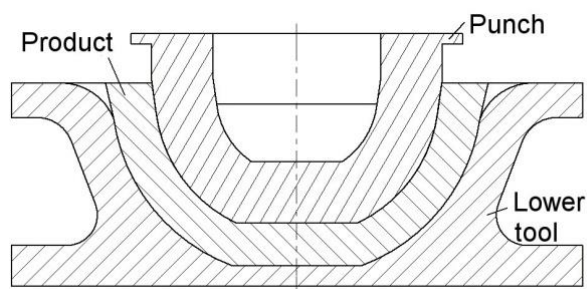


Figure 1. Classification of metal forming methods by subgroups.[1-4]

The production of thick plate steam boiler end caps is usually performed in one or more work travels on hydraulic presses. The designer of hydraulic presses and the engineer responsible for deep drawing of products should be aware of the amount of deep drawing force in the process.

So far, the empirical and theoretical expressions have shown to have very different results. In order to examine deep drawing forces which appear in the deep drawing process, a tool shown in Figure 1. and Figure 2. was used.



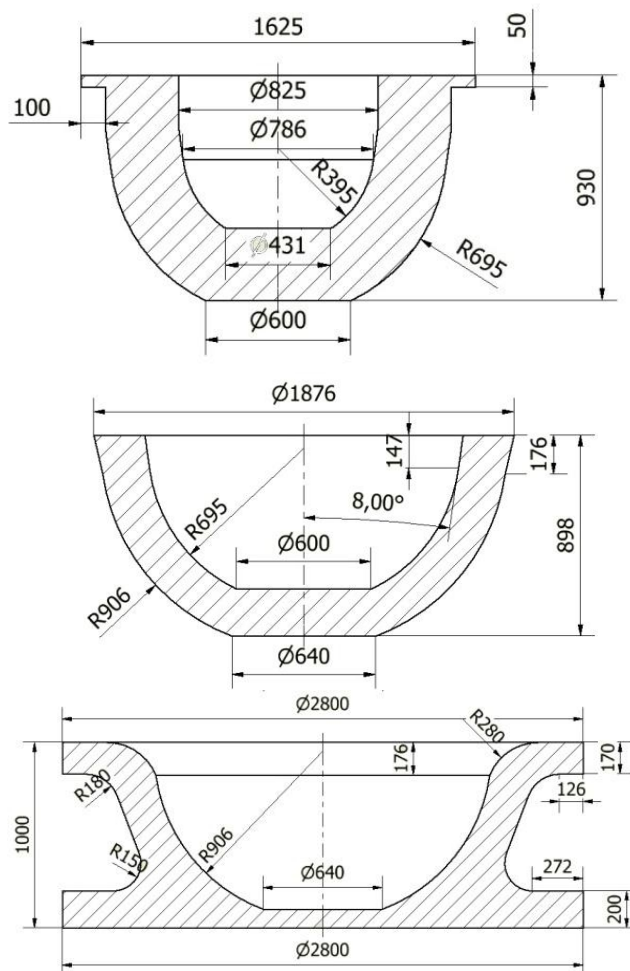


Figure 1. Experimental tool geometry and dimensions.

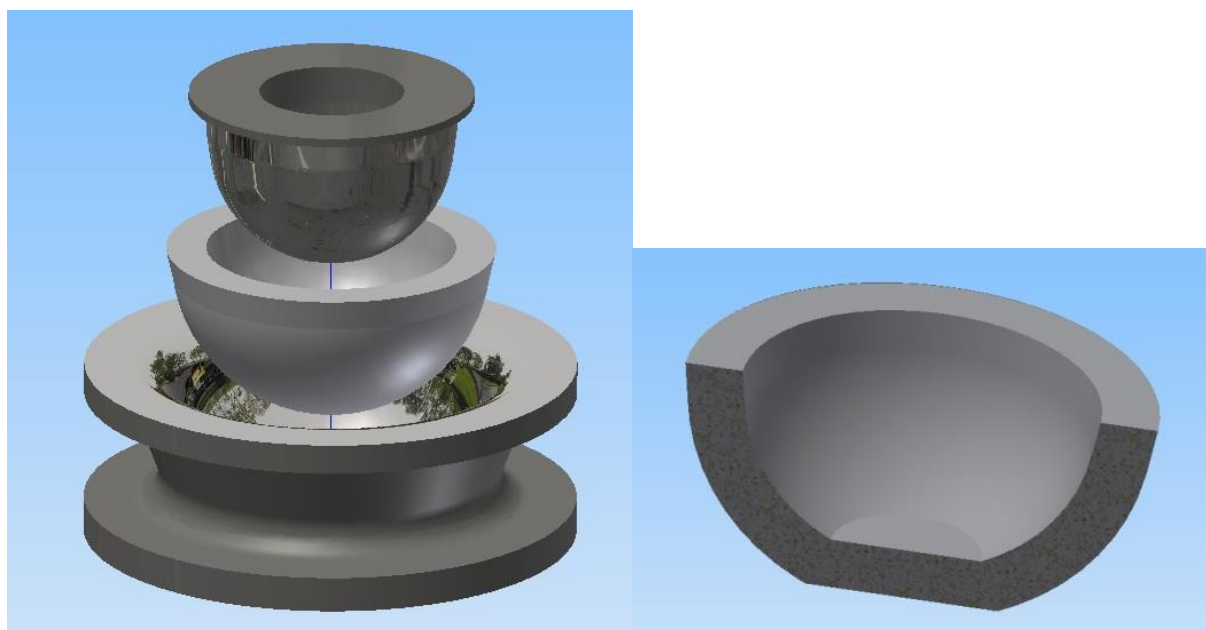


Figure 2. 3D model of experimental tool and deep drawn product.



Deep drawing process is performed in such a way that first a thick metal plate (dimensions 2180 mm in diameter and 210 mm thick) is heated-up to forming temperature, and then it is formed with tools under the pressure of hydraulic press.

2. Force calculation

Plasticity is the capacity of a material to change its shape permanently under the action of forces when the corresponding stress state reaches a material-dependent critical magnitude called yield strength or initial flow stress. As seen from the results of the tension test, when the stress is below the yield strength, the deformation disappears upon unloading: the material behaves elastically. If the stress exceeds the yield strength, permanent deformation results. Upon unloading, the workpiece has a form that is different from its initial one. It is then said to have been plastically or permanently deformed, or, if a definite final shape was sought, it has been transformed. Materials which behave in an elastic-plastic manner can, after having been permanently deformed, again be loaded until the flow stress is reached (it now has a magnitude larger than the initial one) without additional permanent deformation setting in. This increase in the flow stress as a result of prior deformation is called strain hardening. The aim of the theory of plasticity is on theoretical grounds to obtain information on stress and movement condition that prevail in a workpiece during a forming process. This demand has led to a – as confirmed by experiments – true (albeit simplified) description of the physical processes in miniature, je out of the element.

In the design of tools for metal forming processes we will try to determine the magnitude of the deformation zone. These are primarily dependent on the properties of the workpiece, material state of the friction conditions in the active joint and on the tool design. Useful statements about power and labor requirements of a forming process for the selection of the forming machine, and the optimum design of the tools could be made by simplistic assumptions with the methods of the elementary theory of plasticity. The recent developments in the higher plasticity theory methods allow accurate calculations. The basis of these calculation methods is as accurate as possible knowledge of the forming of metals.

In order to obtain the forming force needed for deep drawing process, it is necessary to understand which stresses act on infinitively small element which is shown in Figure 3. and Figure 4.

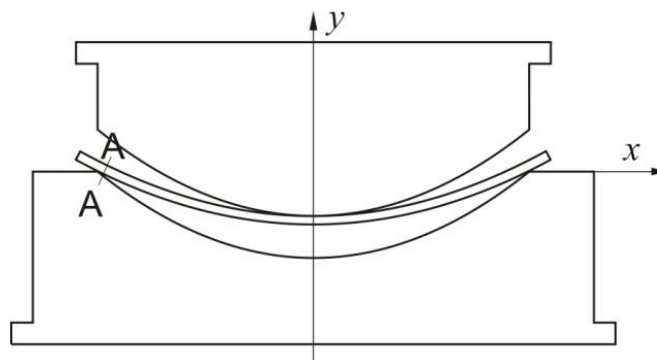


Figure 3. Schematic illustration of bending of plate with marked A-A section [1,4].

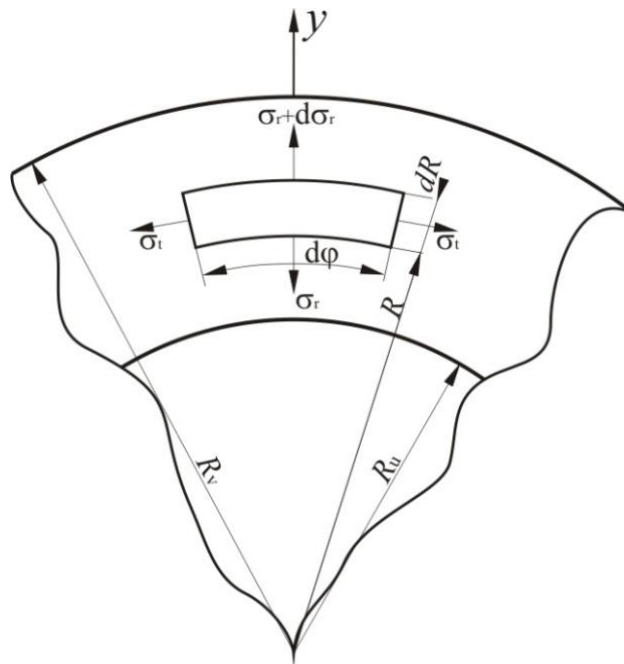


Figure 4. Stresses which act in marked section A-A form Figure 3. [1]

From Figure 3. it can be seen that section A-A is important for understanding stresses which act on the infinitesimal element. These stresses are: plastic deformation stress σ_u , stress from friction over the edge σ_{fr} and bending stress σ_{bend} [1]. Total stress is calculated as:

$$\sigma_{tot} = \sigma_u + \sigma_{fr} + \sigma_{bend} \quad (1)$$

In order to obtain stress of plastic deformation σ_u it is necessary to use infinitesimally small element and forces acting on it which can be seen in Figure 4 [1].

From the condition that all forces in y direction are in equilibrium it can be written that [1,4]:

$$(\sigma_r + \sigma_t)dR + d\sigma_r \cdot R = 0 \quad (2)$$

In order to solve this differential equation (2) one additional expression must be introduced where k_f is forming stress:

$$k_f = \sigma_r + \sigma_t \quad (3)$$

After combining expressions (3) and (4) the solution of differential equation can be found as [1]:

$$\sigma_u = k_f \cdot \ln\left(\frac{R_v}{R_u}\right) \quad (4)$$

During the forming process, a plate is moving over the filleted edge with respective radius r_M and this plate needs to overcome the force of friction. This results in the larger stress near inner radius R_u which consists from bending and friction stresses.

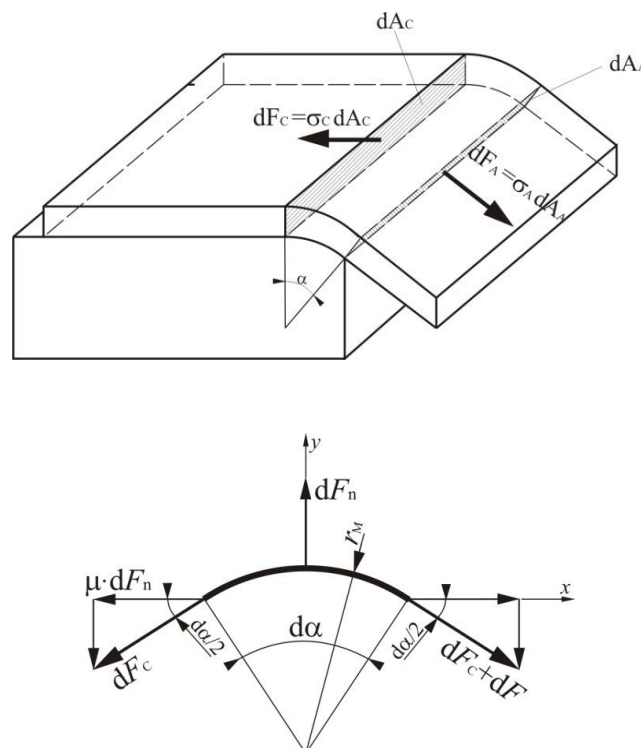


Figure 5. Schematic illustration of a plate moving over filleted edge of the tool and forces acting on the infinitesimally small element. [2]

If force dF_A increases for amount $dF = dF_A - dF_C$ there will be movement of sheet metal. By increasing the bending detail it can be shown that the forces which act on the bended surface looks like in Figure 5. Elementary band shown in Figure 5. has length $dL = r_M \cdot d\alpha$ [2]. From Figure 5., if all forces are set to be in equilibrium, and their values projected on x , and y axis, two equations can be written.

$$\sum X = 0$$

$$(dF_C + dF) \cdot \cos\frac{1}{2}d\alpha - dF_C \cos\frac{1}{2}d\alpha - \mu dF_N = 0 \quad (5)$$

$$\sum Y = 0$$

$$dF_N - (dF_C + dF) \sin \frac{1}{2} d\alpha - dF_C \sin \frac{1}{2} d\alpha = 0 \quad (6)$$

Expressions (5) and (6) can be written as:

$$dF - \mu dF_N = 0 \quad (7)$$

$$dF_N - dF_C \cdot d\alpha = 0 \quad (8)$$

When this two equations are combined it follows that:

$$dF = \mu dF_C \cdot d\alpha \quad (9)$$

$$\Delta F = dF_A - dF_C = dF_C (e^{\mu\alpha} - 1) \quad (10)$$

Then it can be written that

$$\sigma_{fr} = \frac{\Delta F}{\Delta A}, \text{ MPa}$$

$$\sigma_{fr} = \sigma_u (e^{\mu\alpha} - 1), \text{ MPa} \quad (11)$$

$$\sigma_{fr} = k_f \cdot \ln \left(\frac{R_v}{R_u} \right) (e^{\mu\alpha} - 1), \text{ MPa}$$

Bending stresses in the steam boiler cap will be positive in the outer tensile zone, and negative in the inner compressive zone in front of neutral plane.

This stress will increase with the thickness of the plate, and it will decrease with larger radius r_M .

Bending stress can be calculated with the following expression [2]

$$\sigma_{bend} = k_f \cdot \frac{s}{4r_M}, \text{ MPa} \quad (12)$$

This, combined with the expressions (1,5,12) leads to the following expression used for the calculation of total stresses in the material during forming [2]:

$$\sigma_{\text{tot}} = k_f \left(\ln \left(\frac{R_v}{R_u} \right) \cdot e^{\mu\alpha} + \frac{s}{4r_M} \right), \text{ MPa} \quad (13)$$

Since total stresses are known, the forming force can be calculated with the following expression:

$$F_{\text{tot}} = A_A \cdot \sigma_{\text{uk}}, \text{ N}$$

$$F_{\text{tot}} = 2 \cdot R_v \cdot \pi \cdot s \cdot k_f \left(\ln \left(\frac{R_v}{R_u} \right) \cdot e^{\mu\alpha} + \frac{s}{4 \cdot r_M} \right) \quad (14)$$

There are several more expressions with which the forming force can be calculated and for the purposes of this work only two of them will be mentioned.

The expression for calculation of forming force according to Din [3]:

$$F_{\text{tot}} = 2 \cdot R_u \cdot \pi \cdot s \cdot R_m \left(\frac{R_v}{R_u} - b \right), \text{ N} \quad (15)$$

$b = 0,6 \rightarrow$ coefficient

And the expression for the calculation of forming force according to Tomlenov [3]:

$$F_{\text{tot}} = (1,5 \div 2) R_m \cdot \ln \left(\frac{R_v}{R_u} \right) \cdot \pi \cdot R_u \cdot s, \text{ N} \quad (16)$$

According to Siebel's expression, the forming force can be calculated as [3]:

$$F_{\text{uk}} = 1,3 \cdot \pi \cdot R_v \cdot s \cdot R_m \cdot \ln \left(\frac{R_v}{R_u} \right), \text{ N} \quad (17)$$

3. Experiment

For the experiment, a steel plate of 2300 mm in diameter and 210 mm of thickness was used. During the forming plate was coated with graphite mixed with mineral oil. The temperature of heating of a steel plate was 1100°C and by the time the steel plate was mounted on the tool the temperature has dropped to 1040°C.

At the end of the forming process the temperature of the steel plate was 920°C.

The time needed for the plate to be extracted from the furnace and until the end of the forming process was 10-13 minutes. The forming process was performed in the 50 MN

forming hydraulic press. In the production a 23 steam boiler caps were made, and maximal forming force was 28,6 MN.

Maximal difference of forming force in the production of 23 boiler caps was 2 MN.

Since material was heated to the medium temperature of 970°C, the forming stress and the tensile stress were assessed to 76 MPa according to the manufacturer data.

With the above mentioned data, and the use of Figure 1 (from which $R_u = 695$ mm, $R_v = 906$ mm), the forming force F_{tot} can be calculated.

From (14):

$$F_{tot} = 2 \cdot 906 \cdot \pi \cdot 210 \cdot 76 \left(\ln \left(\frac{906}{695} \right) \cdot e^{0,2 \cdot 1,57} + \frac{210}{4 \cdot 280} \right)$$

$$F_{tot} = 50022389 \text{ N} \approx 50 \text{ MN}$$

From (15):

$$F_{tot} = 2 \cdot 695 \cdot \pi \cdot 210 \cdot 76 \left(\frac{906}{695} - 0,6 \right) = 49037842 \text{ N}$$

$$F_{tot} \approx 49 \text{ MN}$$

From (16):

$$F_{tot} = 2 \cdot 76 \cdot \ln \left(\frac{906}{695} \right) \cdot \pi \cdot 695 \cdot 210 = 18477886 \text{ N}$$

$$F_{tot} \approx 18,5 \text{ MN}$$

From (17):

$$F_{tot} = 1,3 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 906 \cdot 210 \cdot 76 \cdot \ln \left(\frac{906}{695} \right) = 31314033 \text{ N}$$

$$F_{tot} \approx 31,3 \text{ MN}$$

4. Conclusion

Deep drawing is one of the most important processes for sheet-metal forming. It is the base for the mass production of part pieces for many different applications, such as lighter casings or parts of automobile bodies. Deep drawing DIN 8584 may be defined as follows:

deep drawing is a process in which a blank or workpiece, usually controlled by a pressure plate, is forced into and/or through a die by means of a punch to form a hollow component in which the thickness is substantially the same as that of the original material.

In this paper the basics of a deep drawing process for the production of a thick plate steam boiler end caps are shown. Theoretical analysis of stresses which appear in the deep drawing process are shown – bending stress, frictional stress and inner stress due to displacement of material are shown.

These stresses are described, and some mathematical formulations are made in order to find total stresses which appear in the material during the forming process.

Later the expression for the calculation of the forming force is shown. Also some other experimental formulations from the literature are presented.

These expressions were used for the calculation of the deep drawing force, and later the results were compared to the experimentally obtained force values in the production of boiler end caps.

The results show that the closest amount of force can be calculated with the expression (17). The difference in the results is from large amount of assumptions and simplifications used in the formulation.

Also some other forces exists in the forming process, and stresses which are caused by this forces needs to be further investigated by FEM methods in order to better understand the deep drawing process.

7. References

- [1] Grizelj, Branko. Oblikovanje metala deformiranjem, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2002.
- [2] Grizelj, Branko. Oblikovanje lima deformiranjem, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2009.
- [3] Über die mechanik des tiefziehens von Kesselboden, Dissertation, TU Clausthal 1975.
- [4] Grizelj, Branko. Oblikovanje metala deformiranjem Umformtechnik Metal forming, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2017.

Review of modelling methods and computer models implemented in recent nowadays CAD systems

M. Karakašić^{1,*}, H. Glavaš², M. Kljajin¹

¹Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

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

*Autor za korespondenciju. E-mail: mkarakas@sfsb.hr

Abstract

Design process is intellectual and complex process. Hence, it is difficult to describe him with unique mathematical algorithm, and much difficult with unique computer tool who would give answer on all challenges contained in design process. Therefore, designer is the main actuator of this process in all its stages. Development of computer and computer systems brings implementation in design process. In that sense inevitable and important role in this process obtain CAD systems. In paper is presented brief review of computer models implemented in nowadays CAD systems. Also, basic modelling methods are presented and their implementation in nowadays CAD systems.

Key words: Computer aided design (CAD), design process, modelling methods, CAD models

1. Introduction

When we talk about design, then for the design can say to be a process. According to [1], the process is a set of activities that use the resources to convert input to the output. Activities represent operations, and resources represent the means to which they are performing.

The design process, according to [2], is possible to represent as a transformation system (Fig. 1). Input information are requirements according to the technical system [2]. The result of the transformation system is the solution as a technical system in its entirety. Such a design process consists of the following elements: designer, working environment, information and management.

Product development takes place entirely in the design process. In the second half of the twentieth century, a number of methods and tools have developed which introduce systematics and formalism into the design process. Therefore, the following methods of the design process have developed design process according to VDI 2221, heuristic methods, generalized method, integrated design process, iterative design process, axiomatic design, simultaneous engineering and concurrent engineering [3].

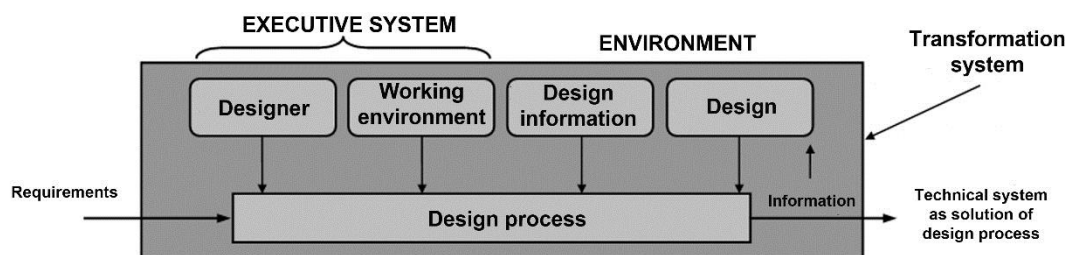


Figure 1. Model of design process [3, 4]

For the purpose of this paper, the design process according to VDI 2221 has accepted, often referred to as the European (German) approach to the design process. Precisely according to the stages of conducting the design process in accordance with VDDI 2221, this paper analyzes the role of the CAD systems in the design process.

According to [5], in the field of design, there is a lack of generally accepted formal representations of no geometric information and product-related data as and design knowledge. Such information and data arise from the conceptual phase, referring to product functions and product's technical requirements. This part of the design process is least automated and covered by computer applications.

When referring to the application of the CAD systems in the design process, according to VDI 2221, their significance is present in the stages of construction realization and detailed design [6]. In these phases, the CAD systems generate the physical (shape) structure of the final product. Technical documentation, parts list, assembly, transport and working documentation have produced. The result of these phases is complete product documentation.

2. Historical development of the capability of CAD systems

The history of the CAD system development and their application from the moment of their creation up to today, it took place systematically as computer capabilities increased.

Computer aided design (CAD) specifies the use of computers in the design process, or in a wider context, in product development process. When this term appeared in the 50s of the last century, it marked the application of computers in the execution of technical calculations. Today it involves the creation of a computer model of construction, different analysis, simulations, optimization and production of technical documentation.

Early modelling systems had modest capabilities and could use only lines for a production of wireframe models. With the development of more modern computers and stronger graphics, there is a better interaction between users and computer programs. At the same time, the automotive and aviation industry have the need to produce forms that are more complex. Thus, surface and solid models have developed that allow faster generation of tool paths and production. CAD systems obtain the more powerful capabilities that make them more involved in product development process and contribute their commercialization (Fig. 2).

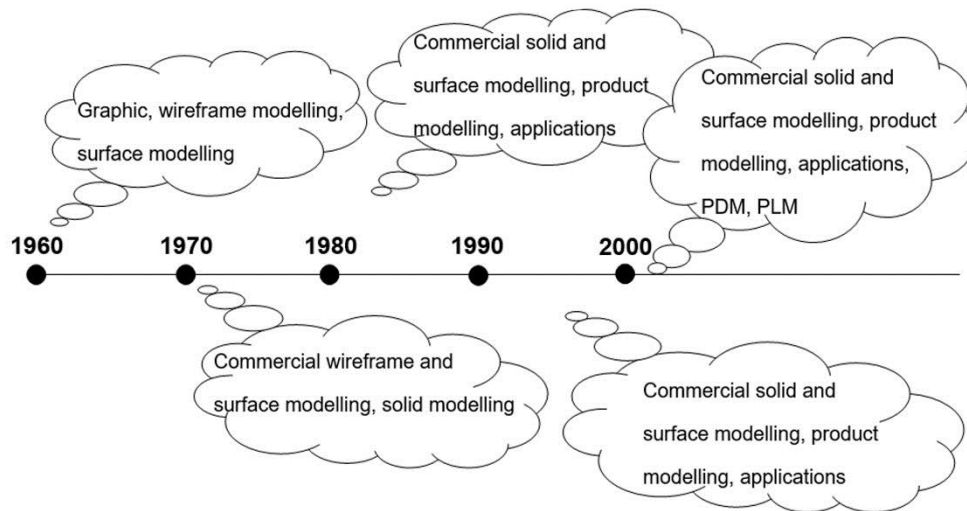


Figure 2. History of CAD and its capabilities [7]

Today's benefits of using CAD technology in product development can be systematized into three segments: productivity increase, management flow of technical information and the impact of CAD systems implementation on increasing quality. The impact of CAD systems implementation on increasing quality that has reflected in the quality of drawings that no longer depends on the skill and experience of the drawer, drawings are of better quality, the possibility of associative quote, standardization of procedures and symbols, rationalization of the product development process and quality of design.

3. Types of space models implemented in CAD systems

The first computer programs designed for drawing have been based on two basic topological elements, point and line. These programs have been designed exclusively for 2D drawing. By moving to 3D space, other topological elements have also been used [7]. As computers developed and became more powerful, so the computer programs designed for drawing got more and more opportunities. The development of these features also leads to the development of graphic representation of space models.

3.1. Wireframe model

A wireframe space model is one of the first modes of space description on a computer screen (Fig. 3). It represents the simplest view of the object in space. Some of the following simple objects such as line, circle, arc, describe this model.

The lack of wireframe models has reflected in ambiguity. This disadvantage derives from the representation of the models by means of edges (Fig. 4). These models are not suitable for numerical analysis because it is not possible to calculate the size such as the surface and volume of the model.

3.2. Surface model

Surface model mathematically is described by edges and surfaces between edges (Fig. 5). In this way, ambiguity of the model has been achieved. Models are suitable for visualization by hiding invisible edges. The lack of these models is reflected in the inability of numerical analysis, because they do not have the interior, as they are described by surfaces and edges. They are suitable for NC tooling machines and surfaces for the design of tools and molds.

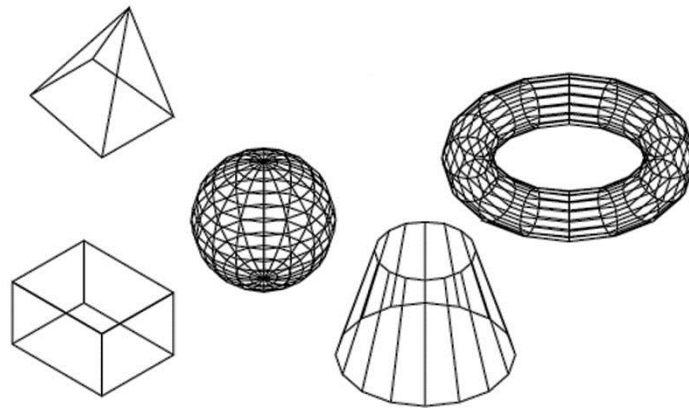


Figure 3. Examples of wireframe models

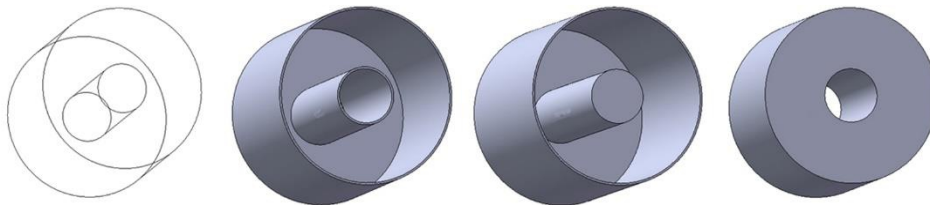


Figure 4. Ambiguity of wireframe model

Surfaces that border the surface model can be surface planes. Surfaces that are more complex is possible to construct by projecting a set of curves per bearing, linear interpolation between two curves or moving one curve to another. Designed surfaces are generating with the set of curves. They can be cubic and space nonanalytic curves (spline curves and NURBS curves).

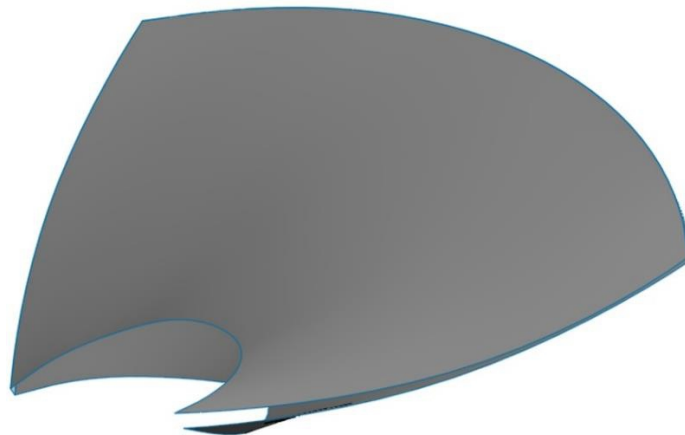


Figure 5. Surface model

3.3. Solid model

The solid model describes the edges, surfaces and volume within edges and surfaces (Fig. 6). Compared to surface models, these models do not have open surfaces and free edges because all surfaces are close and connect. When showing solid models, the physical object divides the 3D Euclid space into two areas. One area is external and the other is internal. The areas are separated by a solid body border [8]. Solid models have a border, they are homogenous and final. Solid models are suitable for numerical analysis and application in CAM systems to generate NC programs.

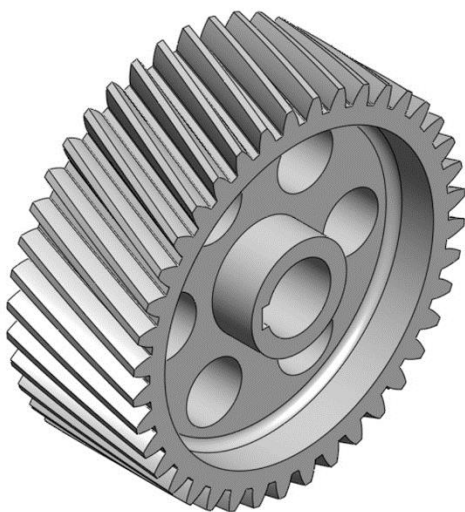


Figure 6. Solid model

3.4. Assembly model

Integrating product information over the entire lifecycle implies an overview of the construction from a rough model to a model that contains detailed information such as product structure, technological process, technical reports, material specification, transport documentation, use and maintenance. Parts and subassemblies represent “building blocks”, the structures of a product assembly [9].

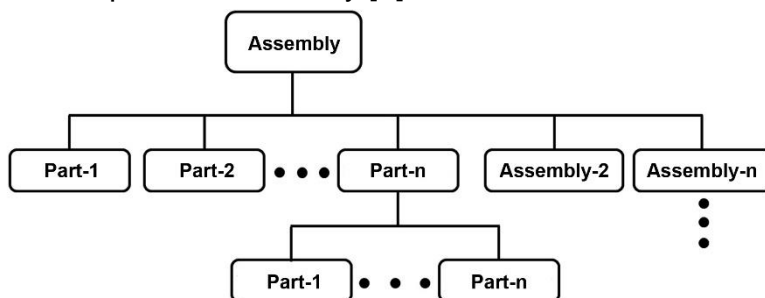


Figure 7. Simplified assembly scheme [9]

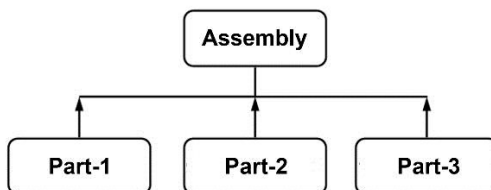


Figure 8. Bottom-up method

Through the product structure is possible to see geometrical and dimensional relations between parts (Fig. 7). Also is possible to see functional relations (binding function) [10]. Through tem is established shape structure of product. Hence, assembly model has important role in design process, because he presents final aim of this process, a product.

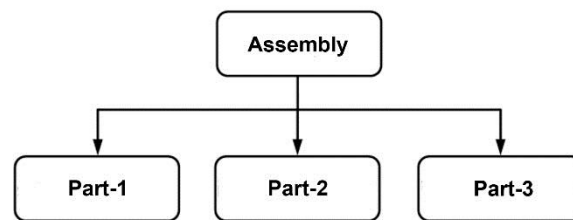


Figure 9. Top-down method

There are two techniques for generation assembly models: bottom-up technique (Fig. 8) and top-down technique (Fig. 9). Figure 10 shows the assembly model of friction unit according to [11].

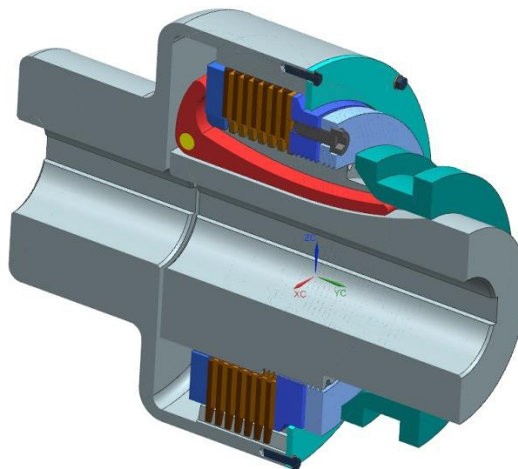


Figure 10. Assembly model of friction unit

4. Methods of modelling space models

Modelling of solid body models in modern CAD systems is accomplished by two following methods: Boundary Representation (B-Rep) and Constructive Solid Geometry (CSG). These two approaches are not the only ones to make solid body models. In [8] there are also four approaches: spatial enumeration, cell decomposition, sweep method and primitive instancing method. Most of today's modern CAD systems use combinations of B-rep and CSG methods. These methods are implemented in feature based modelling method [8]. In this paper, the B-Rep and CSG modelling methods will explain in more detail.

4.1. Boundary representation (B-Rep)

In the B-Rep method, equations of surfaces, curves, and coordinates of points, that define the boundaries of the model, form information about model geometry (Figure 11). The combination of information on geometry and their connection is the basis of the B-Rep approach. This approach is implemented in all CAD systems and is used to display space models. B-Rep method consists of topology and geometry [7]. Topology defines the structure of the model, and geometry its shape. The basic topology elements of the model are the face, edge and tip. Beside of basic elements, there are derived elements such as shell and ring.

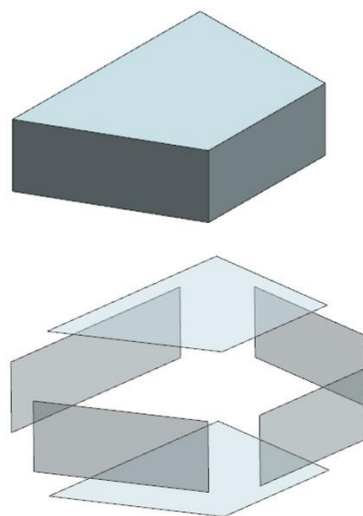


Figure 11. B-Rep modelling method

Topology allows the connection of the structure. For example, if it is a face, then all the edges round the face are interconnected and make a unique structure. Each face is part of the surface, each edge is part of the curve, and the tip lies at the point in the space. This is a precise geometric description, which does not only include the outer surfaces surrounding the space model but also its internal structure.

4.2. Constructive solid geometry (CSG)

During the 60s and early 1970s, were introduced requirements for extending the 2D CAD system with the third dimension [12]. During modelling, the user uses full body primitives. The method of connecting solid bodies is based on the assumption that each physical body is created by combining elemental (primitive) forms. The most used elementary forms are: cube, roller, cone and sphere (Fig. 12). Besides these forms, prism and torus are using as elementary forms.

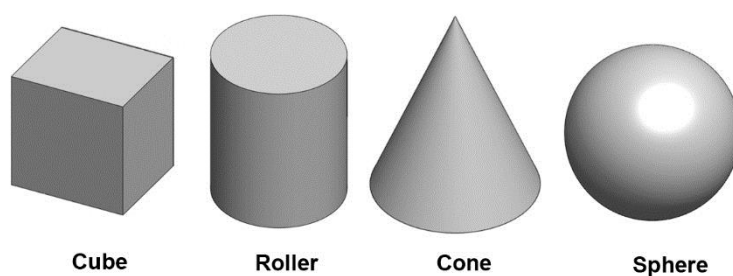


Figure 12. Basic elementary forms

The basement of CSG approach is theory of sets, where by composing primitive forms with Boolean operators they form new bodies. Boolean operators that are used within CSG approach are union, distinction and intersection. Mathematically, this operation is possible to write in the following way. Let U is a set, A and B are his subsets:

- **Union** (Fig. 13) of A set and B set ($A \cup B$) is a set $A \cup B = \{x \in U : x \in A \vee x \in B\}$.
Union of A set and B set is a new set $U = A \cup B$ where all elements of A set and all elements of B set, are elements of U set.

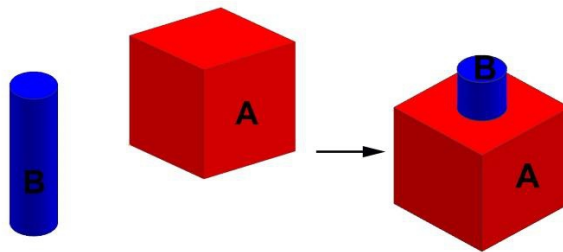


Figure 13. Union $A \cup B$

- **Distinction** (Fig. 14) of A set and B set ($A - B$) is a set $A - B = \{x \in U : x \in A \wedge x \notin B\}$. Distinction of A set and B set is a new set $U = A - B$ where all elements of A set are in this set, but elements of B set are not in this set.

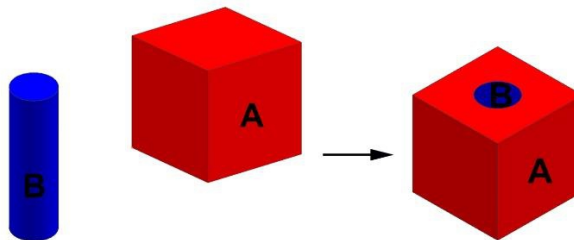


Figure 14. Distinction $A - B$

- **Intersection** (Fig. 15) of A set and B set ($A \cap B$) is a set $A \cap B = \{x \in U : x \in A \wedge x \in B\}$. Intersection of A set and B set represents set of elements that belong A set and B set.

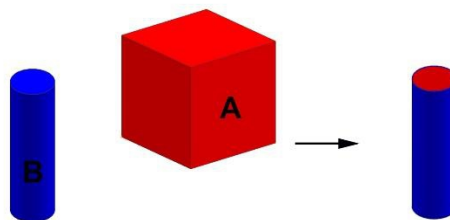


Figure 15. Intersection $A \cap B$

5. Conclusion

In a design process, and wider-in product development process, the implementation of 3D CAD systems today is very significant. It is possible to say that it becomes one of the basic conditions for survival of companies in the global market.

In the 2D CAD system, almost everything was done, so their stagnation began, and emphasis was put on 3D CAD systems. These systems are quality enough today, fast and cost-effective (mid-range CAD systems), and are increasingly used in companies.

3D CAD systems today offer great features such as clear display of models, standardization, space models parametrization, automation of making technical drawings, integrated product development, associativity, generation of NC codes, calculations using the finite element method, etc. Most of the data is stored in a space model. This makes them different in relation to 2D CAD systems whose data are limited to a technical drawing.

The industry in Croatia still has a large share of the 2D system, and the reason is out of date the program and machine equipment. But nowadays a recent rise in the 3D CAD systems, as well as higher quality computer, software and machine equipment.

6. References

- [1] ISO 9000: 2000, Quality management systems-Fundamentals and vocabulary, 2000
- [2] Hubka, Vladimir; Eder, W.E. Theory of Technical Systems. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- [3] Duhovnik, Jože; Tavčar, Jože. Elektronsko poslovanje in tehnični informacijski sistemi. Ljubljana: LECAD, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2000.
- [4] Hubka, Vladimir. Theorie der Konstruktionsprozesse. Berlin: Springer-Verlag, 1976.
- [5] Štorga, Mario. Model rječnika za računalnu razmjenu informacija u distribuiranom razvoju proizvoda. Doktorska disertacija, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2005.
- [6] Hlebanja, Jože. Metodika konstruiranja. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2003.
- [7] Stroud, Ian; Hildegarde, Nagy. Solid Modelling and CAD Systems: How to Survive a CAD Systems. Springer-Verlag, London, 2011.
- [8] Radhakrishnan, P.; Subramanyam, S; Raju, V. CAD/CAM/CIM. New Age International Publisher, Third edition, 2005.
- [9] Duhovnik, Jože; Demšar, Ivan; Drešar, Primož. Modeliranje z značkami na osnovi SolidWorks. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2014.
- [10] Karakašić, Mirko. Model povezivanja funkcija proizvoda, parametara i interval njihovih vrijednosti kod razvoja proizvoda, primjenom matrice funkcije i funkcionalnosti. Doktorski rad, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 2010.
- [11] Kljajin, Milan. Tarna lamelna spojka. Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 1998.
- [12] Kyran, M.D. The CRC Handbook of Mechanical Engineering. New York, 1997.

Menadžment cjevovodnih mreža ***Management of pipeline network***

M. Šavar^{*}, S. Krizmanić, I. Jovan,

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska

^{*}Autor za korespondenciju. E-mail: mario.savar@fsb.hr

Sažetak

Jeftin, siguran i pouzdan transport vode do svakog potrošača glavna je zadaća vodovodne tvrtke. Zbog starenja cijevi povećavaju se troškovi transporta vode, kako zbog curenja vode tako i zbog sve učestalijih popravaka. Kod "ostarjeloga" cjevovoda, zbog učestalih popravaka i čestih prekida u dobavi vode, pouzdanost sustava je vrlo upitna. Najbolji način sanacije takvog stanja je zamjena starih cijevi novima. Glavni problem na koji inženjeri nailaze je kako pravilno odrediti vrijeme zamjene dotrajale cijevi novom i koje su cijevi najkritičnije (koje treba najprije zamijeniti). U ovom radu je izložena metodologija koja pomaže menadžmentu vodovodne tvrtke da iznađu optimalno rješenje. Metoda je definirana sljedećim koracima: počinje se s sakupljanjem podataka za dvije baze podataka: inventar cjevovodnog sustava i baza stanja cjevovodnog sustava. Sljedeći korak je definirati kategorije cijevi i kalibrirati starenje pojedine kategorije. Nakon toga odabire se metoda računanja istrošenosti cijevi te se odabire strategija popravka vodovoda. Na ovaj način menadžment tvrtke može napraviti projekciju budućih ulaganja. Znati će što će se desiti s cjevovodom ako nema ulaganja te što će se desiti ako se obnovi određeni postotak cjevovodne mreže. Moći će se izračunati broj smanjenja puknuća i količina iscurene vode te troškova gubitaka vode. Dobar izbor metode i kvaliteta ulaznih podataka imati će presudni utjecaj na kvalitetu rješenja.

Abstract

A cheap, safe and reliable water transport to every consumer is the main task of a water distribution company. The water transport costs are increased due to the aging of pipes, because of water leakage and frequent pipeline repairing. The reliability of the aged pipeline is very questionable, due to frequent repairs and frequent disruptions in water supply,. The best way to repair such a condition is to replace the old pipes with new ones. The main engineers problem is how to properly determine the time of replacing the pipe with a new one and which pipes are the most critical (to be replaced first). This paper presents a methodology that helps the management of a water company to find an optimal solution. The method is defined by the following steps: It starts with collecting data for two databases: the pipeline inventory and the database of the pipeline condition. The next step is to define pipes categories and calibrate the deterioration of a particular category. After

that, a method of calculating the deterioration of the pipe is selected and a water supply repair strategy is selected. In this way, the management of a company can make a projection of future investments. They will know what will happen to the pipeline if there is no investment and what will happen if a certain percentage of the pipeline network is renewed. It will be possible to calculate the number of breakdowns and the amount of leaked water and the cost of water losses. A good choice of input method and quality will have a crucial impact on the quality of the solution.

Ključne riječi: održavanje cjevovoda, cjevovodni sustavi, rehabilitacija cijevi

Keywords : maintenance of pipelines, pipeline network, pipeline rehabilitation

1. Uvod

Da bi urbana sredina uopće mogla postojati potrebno je osigurati transport svih namirnica potrebnih za kvalitetan život. Jedan dio namirnica transportira se cestama, a drugi dio cjevovodnim sustavima. Ukoliko bilo kojih od ovih transportnih pravaca ne radi ili loše radi život unutar urbane sredine je nemoguć. Ispravna i kvalitetno održavana vodovodna mreža ima presudan utjecaj na kvalitetu života. Tijekom eksploatacije pucanje cijevi je neizbježna pojava kao posljedica vanjskih utjecaja, lošeg održavanja ili upravljanja, detorioracije (istrošenosti) itd. Glavni troškovi u radu cjevovodnog sustava je cijena iscurene vode, troškovi popravaka i troškovi zamjene stare cijevi novima. U ovom radu je izložena metodologija koja pomaže menadžmentu vodovodne tvrtke da iznađu optimalno održavanje.

Poznavanje učestalosti puknuća cijevi (broj puknuća po kilometru i godini za određenu kategoriju cijevi je velika pomoć pri donošenju odluka u procesu održavanja kao i u procesu planiranja sredstava. Glavni problem određivanja broja puknuća predstavljaju nedostatni ili dvojbjeni podaci (često se za različite vrste puknuća koriste isti izrazi) kao i mali broj podataka (za određenu kategoriju cijevi) da bi se podaci statistički mogli obraditi. Često se koriste vrlo složeni matematički modeli da bi riješili te problem. Jedan od mogućih pristupa je da se polazi od hidrodinamičkih parametara kao što su tlak, protok i brzina širenja tlačnog poremećaja. Schmit [1] preporuča numerički model za simulaciju tlačnog udara, Moglia [2] predlaže metodu za prioritizaciju obnove cijevi i reduciranje tlaka na temelju broja puknuća cijevi kao indikatora stanja cijevi. Slični radovi bazirani na pouzdanosti cjevovoda dani su u [3]-[5]. Druga grupa autora se koncentrira na magistralne cjevovode. Sadiq [6] koristi metode fuzzy logike za određivanje stanja cjevovoda na temelju korozivnosti tla. Micevski [7] koristi Markovljeve lance da bi predvidio utjecaja vremenskih nepogoda na cjevovodni sustav.

U modelu rangiranja istrošenosti svakoj cijevi pridružuje se niz faktora kojima se ocjenjuje dotrajnost cijevi. Ti utjecajni faktori mogu biti starost cijevi, materijal cijevi, promjer cijevi, vrsta tla, lokacija, tlak u cijevi, broj prethodnih puknuća itd. kao što je opisano u [8] do [16]. Numeričke vrijednosti svakog od tih faktora grupirane su u intervalne razrede, a zatim je svakom razredu pridružena vrijednost indeksa puknuća (npr. vjerojatnost puknuća cijevi).

U ovom radu će se iznijeti metodologija upravljanja promjenom cijevi. Metoda je definirana sljedećim koracima:

- sakupljanje podataka za inventar cjevovodnog sustava,
- sakupljanje podataka za bazu stanja cjevovodnog sustava,
- definiranje kategorije cijevi,
- kalibriranje starenja pojedine kategorije,
- odabir metode računanja istrošenosti cijevi,
- odabiri strategija popravka vodovoda,
- izračunavanje optimalne strategije prema kriterijima ocjene rehabilitacije.

Iz ovih podataka menadžment tvrtke može napraviti projekciju budućih ulaganja.

2. Dijagram toka rehabilitacije cjevovodnih mreža

Da bi se dobio cjelokupni uvid u korake potrebne za optimalni menadžment cjevovodnih mreža najbolje je cijeli proces prikazati u obliku dijagrama toka. Na dijagramu prikazanom na slici 1 su prikazani svi koraci u strategiji rehabilitacije kao i njihova međudjelovanja. Svaki od tih koraka biti će objašnjen naknadno u ovom članku i ilustriran s nekim primjerom iz prakse.

2.1 Inventar cjevovodnog sustava

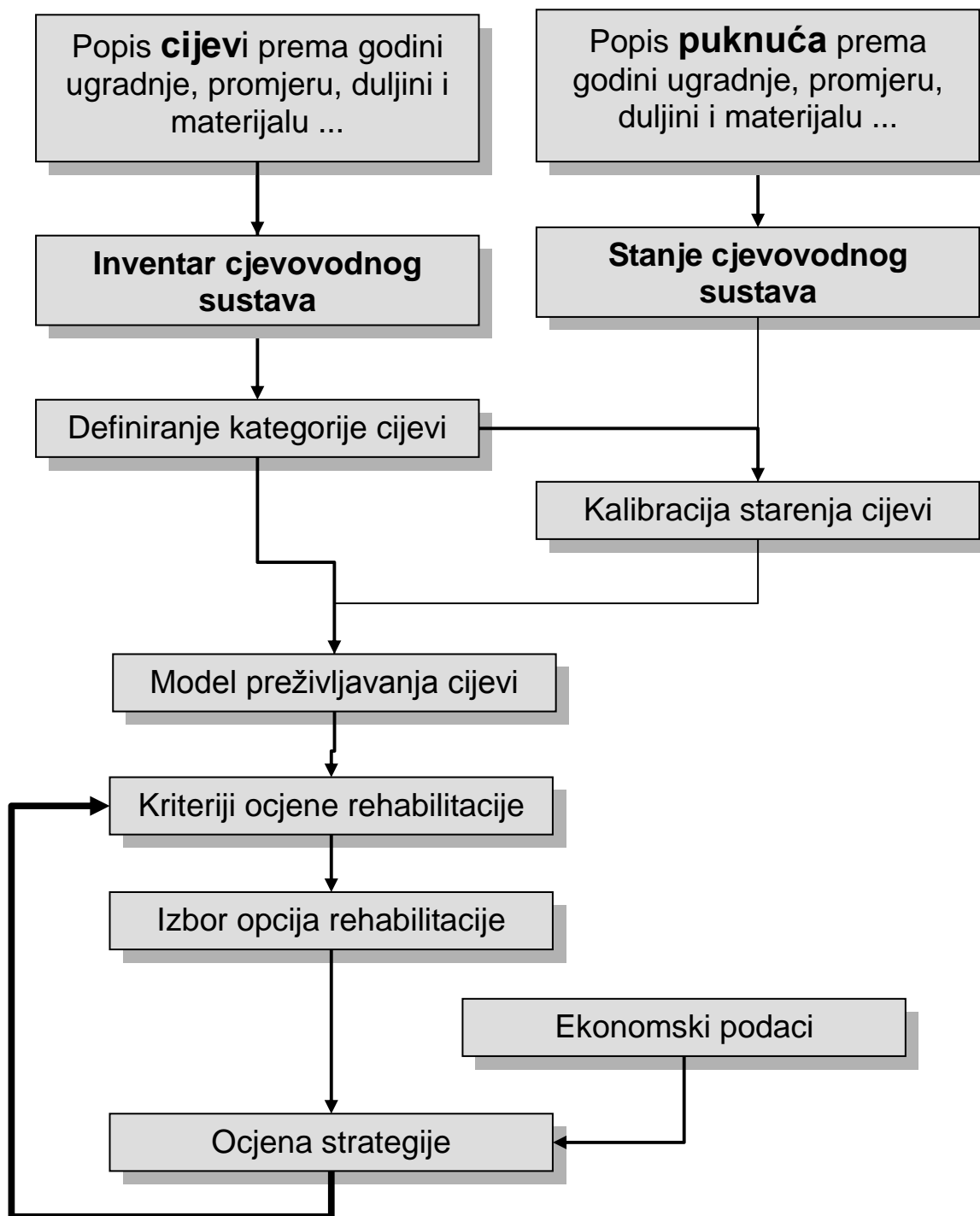
Svaka komunalna organizacija koja se bavi transportom fluida mora imati nekoliko baza podataka. Jedna od važnih baza podataka za upravljanje i održavanje cjevovodnih mreža je inventar cjevovodnog sustava. U ovoj bazi se nalaze podaci o ugrađenim cijevima i ugrađenoj armaturi (zasuni, ventili, pumpe ... itd.). Jako je dobro da ova baza ima što više podataka o ugrađenim cijevima kao što su godina ugradnje, promjer, nazivni tlak, duljina, materijal, gustoća naseljenosti, gustoća prometa itd. Svi ovi parametri mogu biti presudni kod određivanja istrošenosti cijevi.

2.2 Baza kvarova cjevovodnog sustava

Osim inventara cjevovodnog sustava druga najvažnija baza za menadžment cjevovodnih mreža je baza kvarova cjevovodnog sustava. U ovoj bazi su navedeni svi kvarovi i puknuća kao i godina puknuća, razlog puknuća itd. Ukoliko ne postoji ova baza potrebno ju je formirati. Na temelju dvije tri godine zabilježenih podataka moguće je započeti proces upravljanja cjevovodnim mrežama. Naravno za dobru statističku potreban je i velik broj podataka, što je više podataka rezultati će biti bolji.

2.3 Definiranje kategorije cijevi

Inventar cjevovodnog sustava potrebno je razvrstati po kategorijama koje je potrebno definirati. Za svaku kategoriju kasnije će se provesti statistička obrada da bi se istražilo ponašanje te kategorije. Jasno je da bi proces starenje cijevi dobro opisali potrebno je definirati što više utjecajnih faktora (kategorija), međutim što je više kategorija definirano, u svakoj pojedinoj kategoriji sve je manji broj jedinki tako da je upitna statistika na uzorku s tako malo jedinki.



Slika 1. Dijagram toka rehabilitacije cjevovodnih mreža

Najčešće se počinje odabirom dvije osnovne kategorije: materijalom cijevi i starošću cijevi. U većini slučajeva već i ova osnovna podjela vodi do toga da pojedina kategorija ima premalo cijevi. Kada u kategoriji imamo jednu ili samo nekoliko cijevi rezultati analize mogu biti vrlo nepredvidivi. Česti trik je da se cijevi u periodu pet godina stavljaju u istu

kategoriju, dakle cijevi dvije godine mlađe i dvije godine starije po kvaliteti bitno se ne razlikuju od promatrane godine, a broj cijevi se bitno uvećao.

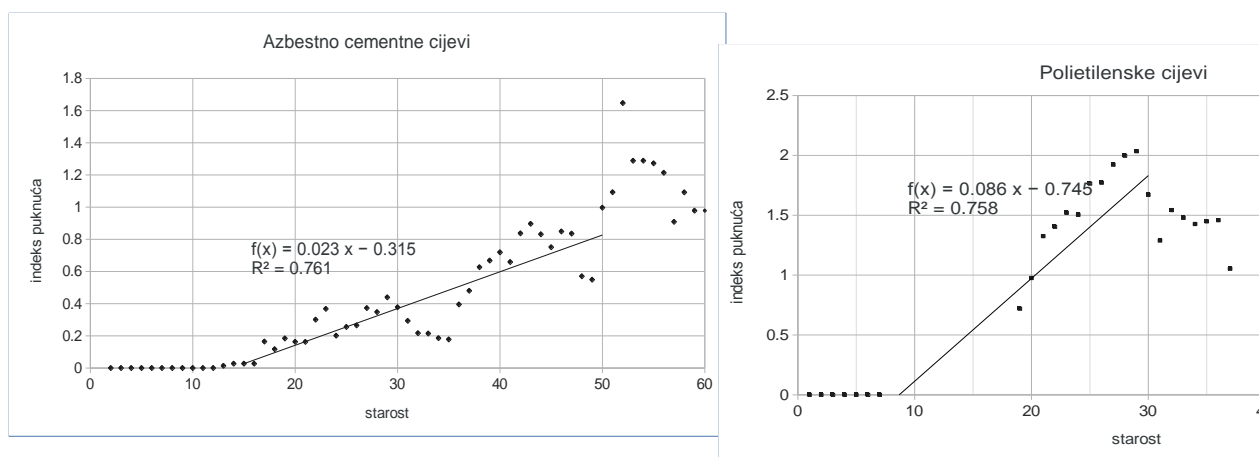
2.4 Kalibracija starenja cijevi

Za sve cijevi definirane u bazi puknuća cjevovodnog sustava potrebno je odrediti kvalitetu. Najbolji način za određivanje kvalitete je preko broja puknuća cijevi. Da ukupni broj puknuća cijevi ne bi ovisio o duljini cjevovoda uvodi se indeks puknuća. Indeks puknuća predstavlja broj puknuća u promatranom periodu po kilometru duljine, a definiran je kao:

$$z = \frac{N}{T \cdot L} \quad (1)$$

gdje je: z – indeks puknuća cijevi, N - broj puknuća cijevi u promatranom periodu, T – vrijeme observacije u godinama, L – duljina cijevi u kilometrima. Jedinica indeksa puknuća je [broj puknuća/(km · godina)].

Sve indekse puknuća za određeni materijal cijevi moguće je i statistički obraditi te napraviti matematičku funkciju kako se indeks puknuća povećava s vremenom. Na dijagramu na slici 2 prikazan je indeks puknuća za dva materijala cjevovoda do kojih se došlo analizom jednog većeg grada u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.



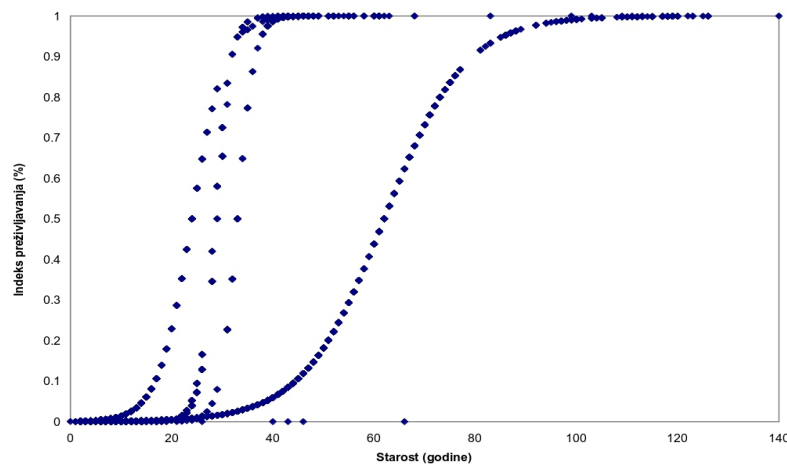
Slika 2. Dijagrami indeksa puknuća za azbestne i polietilenske cijevi

Naravno da prema ovim dijagramima treba imati određenu sumnju premda su napravljeni najbolje što se moglo. Naime na dijagramima se nalaze cijevi različitih dobavljača, različitih izvođača radova, različitih proizvođača, različite kvalitete materijala itd. Međutim ono što je za nas interesanto je da se te cijevi tako ponašaju u našem gradu (tlak u cjevovodu, promet, kvaliteta zemljišta, temperaturne oscilacije itd.). Iz dijagrama je vidljivo da postoje dva različita perioda tijekom starenja cijevi. Period bez puknuća (ili s minimalnim brojem puknuća) i period progresivnog starenja. Obzirom na sva ograničenja sustava i velikog broja nepoznatih varijabli odabrao se najjednostavniji matematički model za opisivanje

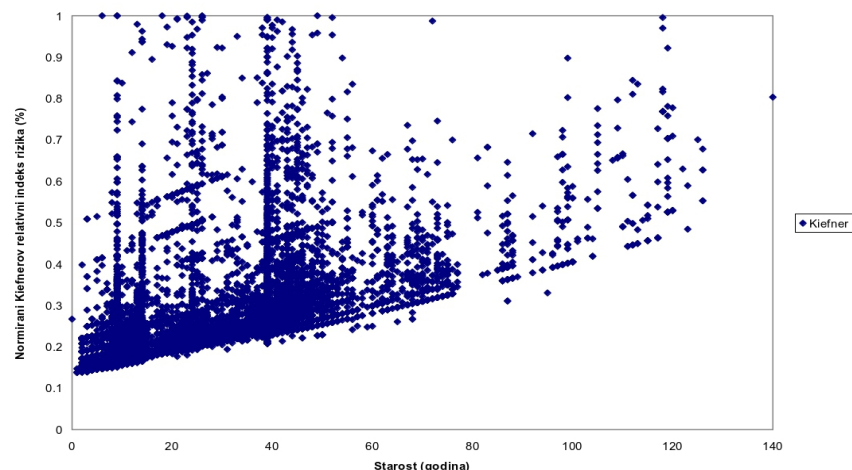
povećanja indeksa puknuća tijekom perioda progresivnog starenja. Krivulja linearnog povećanja indeksa puknuća dobivena je metodom najmanjih kvadrata.

2.5 Model preživljavanja cijevi

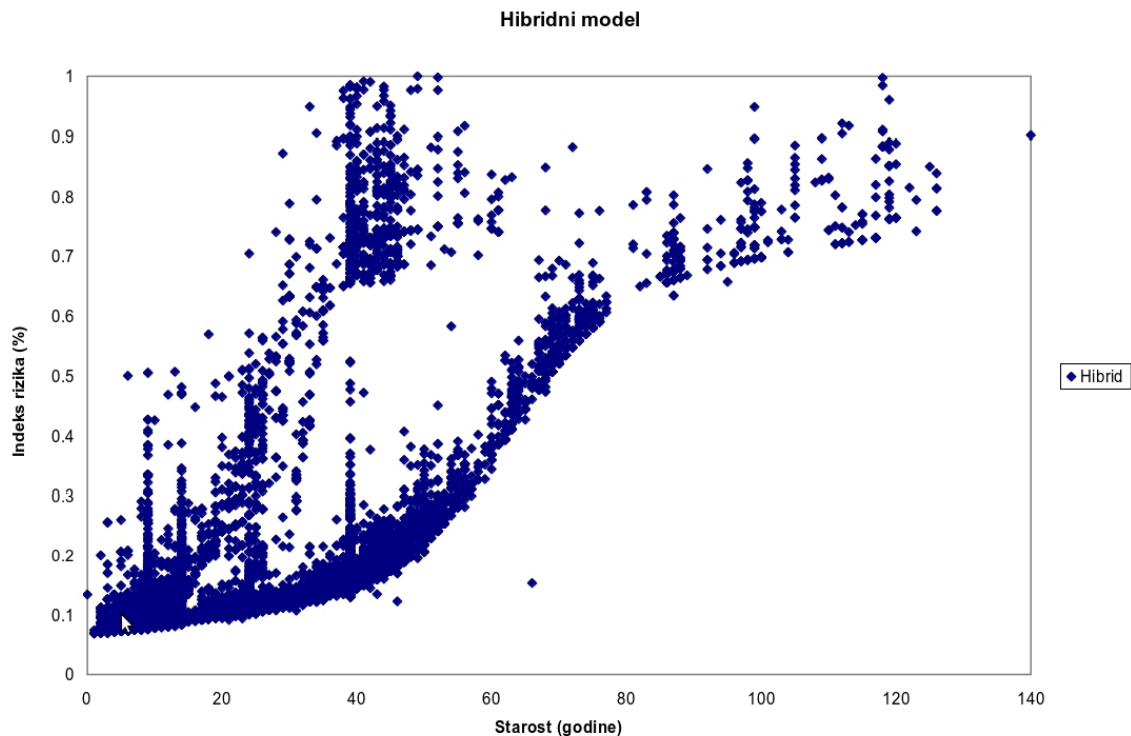
Nakon što je istraženo pucanje cijevi potrebno je odrediti model preživljavanja cijevi. Pojednostavljeno rečeno odabrati metodu prema kojoj će se odrediti koja je cijev prije na redu za zamjenu, a koja malo kasnije. U svijetu postoji čitav niz metoda koje određuju prioritet zamjene cijevi. Neke se baziraju isključivo na starosti cijevi (Herz [17] stare cijevi se zamjenjuju najprije), druge koje uzimaju u obzir niz faktora po principu upravljanja rizicima (Kiefner [16]) ili neke koje uzimaju u obzir broj puknuća određene cijevi. Na slici 3, 4 i 5 su dijagrami preživljavanja cijevi prema tri različite metode. Najprije se zamjenjuju cijevi s najvećim indeksom rizika.



Slika 3 Herzove krivulje preživljavanja



Slika 4 Normirani Kiefnerov relativni indeks rizika



Slika 5 Indeks rizika hibridnog modela

2.6 Kriteriji ocjene rehabilitacije

Da bi mogli odabrati dobru strategiju rehabilitacije potrebno je prije toga definirati kriterije ocjene kvalitete. Kriteriji mogu biti vrlo različiti, od tipično strojarskih: duljina saniranih cjevovoda, smanjenje iscurene vode, smanjenja broja puknuća, do tipično ekonomskih: vrijeme povrata sredstava, stopa povrata ulaganja, "cost/benefit" analiza, ukupna dobit itd. Najčešći način analize je da se odabere nekoliko strategija i da se izračuna puno raznih kriterija ocjene. Kompariranjem kriterija raznih strategija odabire se optimalna.

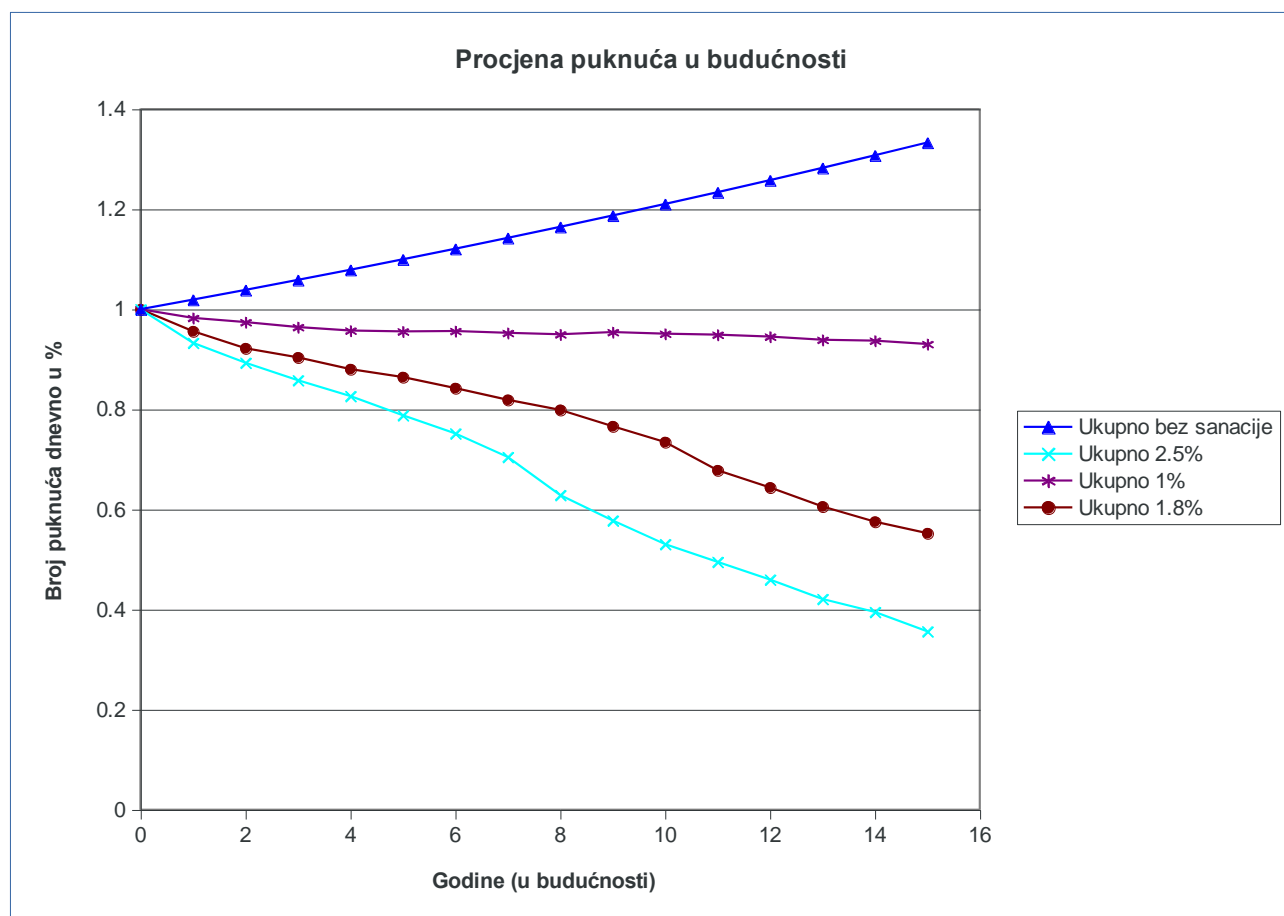
2.7 Izbor opcija rehabilitacije

Kada se odlučimo da će do rehabilitacije doći najprije moramo znati s kakvim sredstvima raspoložemo. To je ujedno i najvažniji kriterij koji uvijek mora biti zadovoljen tj. da je trošak rehabilitacije unutar planiranoga proračuna.

Slijedeće što je potrebno odabrati je način zamjene cijevi. Cijevi se mogu zamijeniti istovrsnim, ali moguće je ugraditi cijevi od kvalitetnijeg i manje kvalitetnog materijala. Naravno kvalitetnija cijev znači i skuplja cijev pa će se moći sanirati manja duljina cjevovoda. Isto tako potrebno je odrediti da li će se cijevi zamjenjivati ili samo sanirati metodama bez iskapanja. Postoji čitav niz mogućnosti te je potrebno odabrati nekoliko za koje će se provesti analiza i onda odlučiti za optimalno rješenje odabrano prema kriterijima ocjene rehabilitacije. U tablici 1 dan je pregled dvije opcije opcija A je zamjena starih cijevi novima istog materijala, dok je u opciji B samo trećina cijevi zamijenjena novima dok su dvije trećine rehabilitirane metodama bez iskapanja

Tablica 1. Usporedba dvaju opcija rehabilitacije

Kriterij odluke	Strategija A		Strategija B	
	Nakon 15 god	Nakon 45 god	Nakon 15 god	Nakon 45 god
Postotak rehabilitiran	9 %	54 %	13.5 %	58 %
Prosječna starost cijevi	+11g.	+ 4 g	+9 g.	+3g.
Pros. preostali životni vijek	-2 g.	+30 g	- 4 g.	+5g.
Smanjenje indeksa puknuća	4 %	70 %	4 %	46 %
Smanjenje curenja vode	4 %	70 %	19 %	75 %
Godina povrata ulaganja		29		19
Stopa povrata ulaganja		7		11
Bolja strategija				B



Slika 6. Smanjenje broja puknuća rehabilitiranog cjevovoda

Na slici 6 dan je prikaz rehabilitacije cjevovoda grada na sjeveru - zapadu Hrvatske. Na slici je prikazan broj puknuća tijekom 15 godina u slučajevima zamjene 0%, 1%, 1,8% i 2,5% najkritičnijih dionica cjevovoda. Strategija rehabilitacije je da se sve istrošene cijevi zamijene cijevima od nodularnog lijeva. Vidljivo je da će se nakon 15 godina rehabilitacije s 2.5% godišnje zamijenjenih cijevi broj puknuća cjevovoda smanjiti na 35,6%. Dakle mogu se očekivati uštede od 65% za popravke te isto toliko za iscurenu vodu.

3. Zaključak

Dobro upravljanje vodovodnim sustavom podrazumijeva jeftin, siguran i pouzdan transport vode do svakog potrošača. Kod istrošenog cjevovoda, zbog učestalih popravaka i čestih prekida u vode, pouzdanost sustava je vrlo upitna. Najbolji način sanacije je zamjena starih cijevi novima. Glavni problem na koji inženjeri nailaze je kako pravilno odrediti vrijeme zamjene pojedine cijevi. Iz ovog članka je očito da je to vrlo složen iterativan proces koji ovisi o velikom broju čimbenika. Nisu samo strojarski kriteriji značajni u odlučivanju već je vrlo često ekonomski kriterij presudan. Bez obzira koliko je potrebna promjena neke dionice cjevovoda bitno je da li stane unutar planiranog proračuna ili ne. U modernom dobu nedozvoljeno je da se tako skupi zahvati kao što je zamjena cjevovodnog sustava rade bez opsežne tehno – ekonomske analize. U ovom članku dan je dijagram toka koji bi inženjerima u distributivnim organizacijama olakšao postupak rehabilitacije cjevovodne mreže.

4. Literatura

- [1] Schmitt, C., Pluinage, G., Hady-Taieb, E. and Akid, R. (2006) Water Pipeline Failure Due to Water Hammer Effects. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 29, 1075-1082. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1460-2695.2006.01071.x>
- [2] Moglia, M., Burn, S. and Meddings, S. (2006) Decision Support System for Water Pipeline Renewal Prioritisation. *Decision Support Systems for Infrastructure Management*, 11, 237-256.
- [3] Pelletier, G., Mailhot, A. and Villeneuve, J.P. (2003) Modeling Water Pipe Breaks—Three Case Studies. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129, 115-123. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2003\)129:2\(115\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:2(115))
- [4] Jin, Y. and Mukherjee, A. (2010) Modeling Blockage Failures in Sewer Systems to Support Maintenance Decision Making. *Journal of performance of Constructed Facilities*, 24, 622-633. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000126](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000126)
- [5] Jin, Y. and Mukherjee, A. (2010) Analyzing Municipal Blockage Failure Datasets for Sewer Systems. *Construction Research Congress 2010@ Innovation for Reshaping Construction Practice*, Banff, 597-606. [http://dx.doi.org/10.1061/41109\(373\)60](http://dx.doi.org/10.1061/41109(373)60)
- [6] Sadiq, R., Rajani, B. and Kleiner, Y. (2004) Fuzzy-Based Method to Evaluate Soil Corrosivity for Prediction of Water Main Deterioration. *Journal of Infrastructure Systems*, 10, 149-156. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2004\)10:4\(149\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2004)10:4(149))
- [7] Micevski, T., Kuczera, G. and Coombes, P. (2002) Markov Model for Storm Water Pipe Deterioration. *Journal of Infrastructure Systems*, 8, 49-56. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2002\)8:2\(49\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(2002)8:2(49))

- [8] Deb, A.K., Momberger, K.A., Hasit, Y.J. and Grablutz, F.M.: *Guidance for Management of Distribution System Operation and Maintenance*, Denver, Colo.: AWWARF and AWWA, 2000.
- [9] Jamieson, R. M. and McDonald, J. S.: *Pipeline Monitoring*, Pipeline Engineering Symposium-1986, ASME (February 23-27, 1986).
- [10] Davis, M. J.: *Tenneco's Efforts for Verifying Pipeline Integrity*, American Gas Association Operating Section, Distribution and Transmission Conference (May 16, 1988).
- [11] Nunez, S. and Martch, H. B.: *A Proposal for Risk Assessment of EPNG Pipelines*, A report for the Renovation Task Force and the Pipeline Safety Committee (October 7, 1988).
- [12] British Gas, Anon, *Allocation of Points for Pipeline Inspection Scheduling Scheme*
- [13] Mouser, G. G.: *Evaluation Criteria for Replacement of Transmission Pipelines*, American Gas Association Operating Section, Distribution and Transmission Conference (May 16, 1988).
- [14] Ahmad, H.: *Economic and Risk Analysis for Gas Line Replacement*, Pipe Line Industry, pp 17-19 (February, 1988).
- [15] Muhlbauer, W. K.: *RIPS Identifies Pipeline Risks*, Pipeline Risk Assessment, Rehabilitation and Repair, Houston, Texas (May 20-23, 1991).
- [16] Kiefner, J. F. and Vieth, P. H.: *Methods for Prioritizing Pipeline Maintenance and Repair*, Pipeline Research Committee (A.G.A.) Catalog No. L61631 (1991).
- [17] Deb, A.K., Hasit, Y.J., Grablutz, F.M. and Herz, R.K.: *Quantifying Future Rehabilitation and Replacement Needs of Water Mains*, Denver, Colo.: AWWARF and AWWA. . 1998.

Analiza recikličnosti električnih kućanskih aparata ***Analysys of recyclability of household appliances***

I. Lovrić, G. Rozing, A. Katić*

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

*Autor za korespondenciju. E-mail: anita.katic.os@gmail.com

Sažetak

Rad se zasniva na ispitivanju metode isplativosti recikliranja postupkom ručnog rastavljanja dotrajalih malih kućanskih aparata provedenog u sklopu završnog rada na Fakultetu. Dokumentirano i analizirano je rastavljanje kućanskih uređaja na osnovne komponente. Opisana je metoda vrednovanja recikličnosti. Upotrijebljen je model ekonomsko-ekološke analize na sva tri proizvoda koji se temelji na računu troškova i dobiti. Na kraju je predložen postupak zbrinjavanja dotrajalih proizvoda. Rezultati su pokazali da ručno rastavljanje ovih proizvoda nije isplativo i da treba primijeniti neku drugu metodu, a kao prijedlog je preporučeno mehaničko rastavljanje zbog bržeg i jednostavnijeg rastavljanja, a samim time i isplativijeg.

Abstract

The paper, which is part of a final paper at the Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information technology Osijek, addresses the cost-effectiveness of recycling of small household appliances using the manual disassembly process. Disassembling of home appliances to their basic components is documented and analyzed. The method of evaluating the recycling process is described. The economic and environmental analysis method based on cost and profit account was used for all three products. In the end, the procedure for disposing of worn-out products is proposed. The results have shown that manual disassembly of these products is not cost effective and that another method should be applied. We recommend mechanical disassembly, which is faster and simpler and therefore more cost-effective.

Ključne riječi: recikliranje, mali kućanski aparati, ekonomsko-ekološka analiza

1. Uvod

U vremenu suvremene tehnologije i sve većeg tehnološkog napretka čovječanstva, kao posljedica pojavljuje se povećana količina svih vrsta otpada. Razvojem tehnologije i povećanom proizvodnjom nepovratno se iscrpljuju resursi i zalihe neobnovljivih izvora sirovina, što izravno utječe na buduće naraštaje i njihov opstanak [1].

Kako bi se sačuvao zdrav okoliš, smanjila potrošnja materijalnih dobara, ali i dalo priliku gospodarskom i tehnološkom razvoju, potrebno je reciklirati. Recikliranje dotrajali proizvoda i materijala ima ekonomsku i ekološku korist. Preradom odbačenih materijala se dobiva sirovina koja se može upotrijebiti za proizvodnju novih uređaja te tako uštedjeti na korištenju toliko vrijednih zaliha neobnovljivih izvora sirovina [2].

Pod pojmom recikliranja podrazumijeva se proces ili postupak obrade otpadnih materijala radi dobivanja sirovina i energije te zaštite okoliša od onečišćenja. Otpadni električni i elektronički uređaji i oprema sadrže polimere, metale i druge materijale koji se mogu nakon recikliranja ponovno koristiti kao sekundarna sirovina za neki novi proizvod. Oni dijelovi otpada koji se ne mogu ponovno koristiti moraju se zbrinuti na ekološki prihvatljiv način.

Važnost recikliranja očituje se u ekonomskom i ekološkom pogledu. Zaštita okoliša smanjivanjem količine deponiranog otpada u okolinu, očuvanje zaliha i resursa neobnovljivih izvora sirovina preradom odbačenih materijala te ušteda energije pri dobivanju materijala iz sekundarnih sirovina, najvažnije su prednosti recikliranja.

Budući da svaki proizvod ima svoju vrijednost u obliku cijene na tržištu, ali i upotrebnu vrijednost, koja je svojstvo proizvoda da se može reciklirati, postoji velika mogućnost ekonomske isplativosti recikliranja.

2. Model vrednovanja recikličnosti

Desetljeća primjene recikliranja su donijela brojna iskustva uobličena u preporuke i smjernice za konstruiranje recikliranju prikladnih proizvoda. Pri tome recikličnost, kao novi zahtjev pri konstruiranju, označava prikladnost proizvoda ili materijala odvajanju iz otpada i vraćanju u uporabu kao funkcionalnog ispravnog dijela ili kao sirovine za ponovno dobivanje materijala [2].

Sve veća važnost recikliranja nametnula je potrebu vrednovanja recikličnosti proizvoda. Danas postoji više metoda, ali niti jedna opće prihvaćena. To otvara prostor za manipulaciju pojmom recikličnosti u marketinške svrhe .

Metoda vrednovanja recikličnosti proizvoda (R), proizvodu pristupa kao sklopu sastavljenom od određenog broja dijelova [3]. Kako bi se odredila vrijednost recikličnosti, odnosno potencijal iskoristivosti proizvoda, potrebno je napraviti analizu recikličnosti proizvoda. Proizvod je definiran kao osmišljen, dizajniran i izrađen predmet u svrhu stavljanja na tržište, odnosno upotrebe potrošača te može biti sastavljen od manjeg ili većeg broja dijelova.

Prvi korak strukturne analize proizvoda pri određivanju stupnja recikličnosti je rastavljanje proizvoda na dijelove ili elemente. Dotrajali proizvod je potrebno rastaviti na elemente kako bi se mjerenjem, istraživanjem i popisivanjem podataka došlo do elementarnih pokazatelja nužnih za ocjenu recikličnosti. Utvrđivanjem elementarnih pokazatelja dobiva se uvid u svojstva pojedinog dijela kao što su masa, vrsta materijala, vrijeme rastavljanja, recikličnost dijela te naziv i broj komada elemenata u proizvodu. Kako bi se olakšala analiza recikličnosti pojedinog elementa, koriste se primjeri primjene vrednovanja recikličnosti EE uređaja prikazani tablicom 1.

Tablica 1. Primjeri primjene vrednovanja recikličnosti [3]

Ocjena recikličnosti, r_i	Opis kriterija
0	tiskane pločice, katodne cijevi, kondenzatori (PCB), baterije, negoriva plastika, živin prekidač, dijelovi koji sadrže azbestna vlakna, živu (prekidači, žarulje), selen, LCD, toneri, itd.
1	duroplasti, viskeri, nerazvrstani usitnjeni otpad, kompoziti
2	polimeri nepoznate vrste, materijali na bazi celuloze
3	željezo-bakar pomiješani, elektromotori, mješavina polimera
4	kabeli i izolirani vodiči, željezo + keramika, metal + plastika
5	željezo, bakar, aluminij i slitine, polimeri poznate vrste

Kao mogući nedostatak ovakvog načina vrednovanja recikličnosti, može se smatrati subjektivnost kod ocjenjivanja recikličnosti pojedinih dijelova. Zato treba pretpostaviti kako će metodu koristiti stručna osoba koja je upoznata sa tehnologijama recikliranja. Završna faza analize sastoji se od izračuna stupnja recikličnosti proizvoda kao ključnog pokazatelja mogućnosti materijalne iskoristivosti dotrajalog proizvoda, koji se računa prema izrazu (1).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot m_i \cdot r_i}{M \cdot r_{\max}} \quad (1)$$

gdje je:

- R recikličnost proizvoda
- b_i broj ponavljanja i-tog dijela u proizvodu
- m_i masa i-tog dijela, kg
- r_i ocjena recikličnosti i-tog dijela
- r_{\max} najveća ocjena recikličnosti, koja ovdje iznosi pet
- M ukupna masa proizvoda, kg

Izračunatu vrijednost recikličnosti treba prihvaćati kao svojevrsni potencijal preradivosti proizvoda. Rezultat izračuna recikličnosti može se svrstati u tri kategorije, to su 0,75 do 1,00 kao poželjna recikličnost, 0,50 do 0,74 upućuje na potrebu rekonstrukcije proizvoda ili selektivnog rastavljanja i ispod 0,50 upućuje na down-cycling postupke (niža kvaliteta reciklata) ili odlaganje [3].

2.1 Analiza recikličnosti odabranih uređaja

Istraživanjem je obuhvaćena analiza rastavljanja i recikličnosti na primjeru tri dotrajala kućanska uređaja. Sljedeći su uređaji obrađeni u svrhu analize recikličnosti: sušilo za kosu, glačalo i mikser. Nakon utvrđenih osnovnih podataka o uređajima pristupilo se rastavljanju uređaja na sastavne dijelove, kako bi se utvrdili elementarni pokazatelji potrebni za vrednovanje recikličnosti, slika 1.



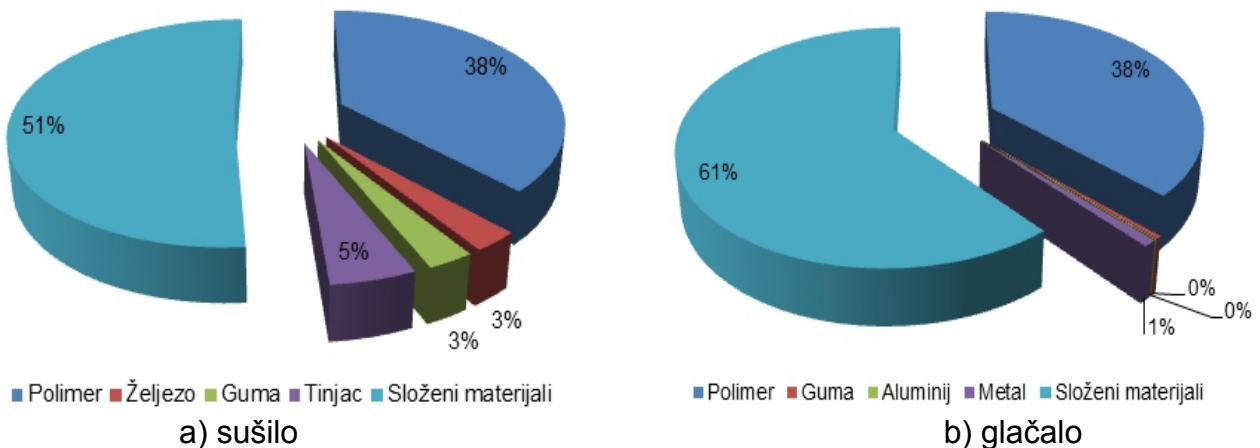
Slika 1. Analizirani uređaji nakon rastavljanja

Izmjereno je vrijeme rastavljanja svakog pojedinog dijela uređaja te je nakon toga na analitičkoj vagi, Kern ALS 220-4N, osjetljivosti 0,0001 g., izmjerena masa pojedinih dijelova. Rezultati provedene analize rastavljanja i određivanja elementarnih pokazatelja recikličnosti prema izrazu 1, prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati provedene analize rastavljanja i recikličnosti

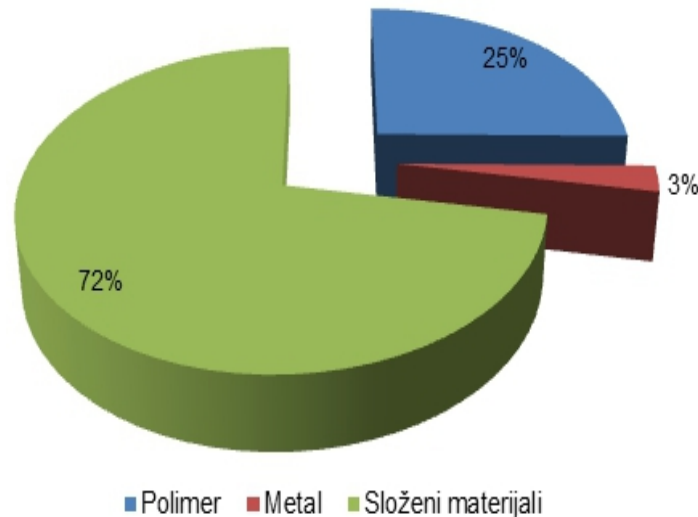
Uređaj	Vrijeme rastavljanja	Broj komponenti	Masa, kg	Recikličnost
Sušilo	242,5	29	0,421	0,76
Glačalo	158	25	1,098	0,78
Mikser	99	20	1020	0,78

Iako maseni udjeli materijala ovise o vrsti proizvoda u analiziranim uređajima prednjače metali i polimeri. Udio pojedinih materijala u analiziranim uređajima prikazan je na slici 2 i slici 3.



Slika 2. Prikaz udjela pojedinih materijala u analiziranim uređajima

Iz prikaza udjela materijala na slici 2, uočava se da su najzastupljeniji "složeni materijali", (spoj više različitih vrsta materijala), odnosno pojedini dijelovi uređaja određenim tehnologijama spojeni su u dijelove i sklopove koji imaju nizak stupanj recikličnosti, što u konačnici smanjuje recikličnost proizvoda.



Slika 3. Prikaz udjela materijala u mikseru

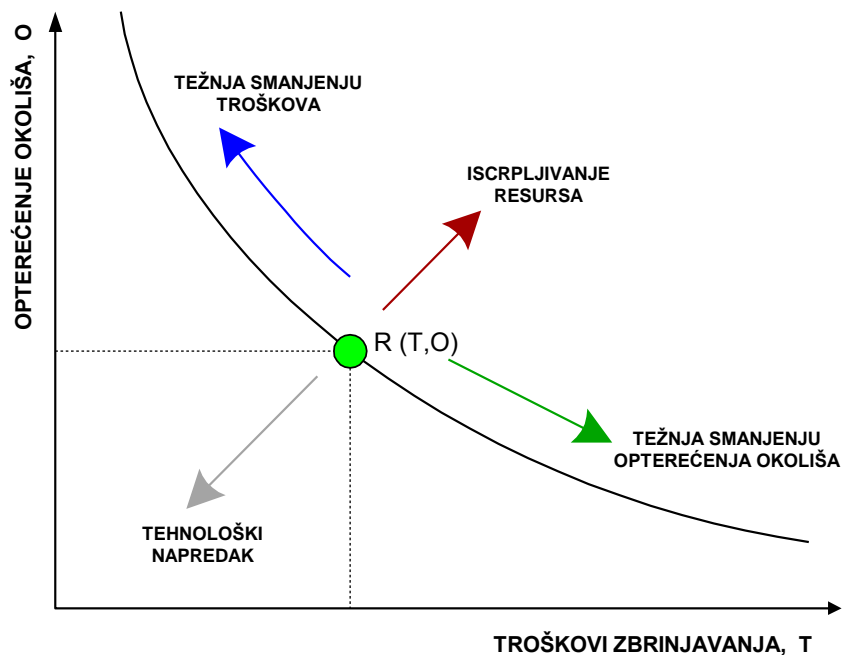
U slučaju miksera, slika 3, uočava se također da su najzastupljeniji "složeni materijali". Unatoč činjenici da su pojedini dijelovi ovog uređaja sastavljeni od više vrsta materijala, njegova ukupna recikličnost je poželjna. Razlog tome nalazi se u visokoj zastupljenosti metala te polimera poznate vrste, koji imaju visoki stupanj recikličnosti i poznate tehnologije recikliranja.

3. Ekonomsko i ekološka analiza recikliranja odabranih uređaja

Model ekonomsko-ekološke analize temelji se na izračunu troškova i dobiti te za pretpostavljeni način zbrinjavanja pruža korisniku podatke o apsolutnoj i relativnoj dobiti. Ovaj model predstavlja dobru pomoć u vrednovanju različitih varijanti zbrinjavanja, kako bi se ispunila ekonomska i ekološka opravdanost recikliranja. Model prikazuje dobru pokrivenost ekoloških i ekonomskih utjecaja procesa zbrinjavanja proizvoda [4], iako bi postupci poput izbjegavanja nastajanja otpada, ponovne uporabe ili energetskog iskorištavanja imali povoljniji ekološki i ekonomski ishod.

Polazište u izradi modela je analiza troškova i dobiti, te njihov međusobni odnos. Da bi se dotrajali uređaj ili proizvod reciklirao, on za to mora imati ekološko, ali i ekonomsko opravdanje. To znači da se od recikliranja nekog proizvoda može očekivati određena dobit. Ta dobit se najčešće očituje u smanjenju potrošnje materijala, energije te smanjenju otpada i utjecaja na okoliš.

Na slici 4 je prikazan utjecaj recikliranja na troškove i opterećenje okoliša u odnosu na referentni postupak recikliranja R s parametrima (T,O).



Slika 4. Utjecaj recikliranja na troškove i opterećenje okoliša [4]

Iz dijagrama je vidljivo da postoje četiri temeljna pravca koristi od recikliranja. Smanjenje opterećenja okoliša zahtjevat će povećanje troškova i obrnuto. Usavršeni postupci recikliranja pružaju mogućnost smanjenja utjecaja na okoliš uz iste troškove. Najmanje su povoljni postupci koji stvaraju štetu i od kojih u konačnici nema dobiti. Ukupni troškovi zbrinjavanja prema izrazu (2) predstavljaju sumu troškova rastavljanja, usitnjavanja, recikliranja i odlaganja [2].

$$T = T_{ra} + T_u + T_r + T_o \quad (2)$$

gdje je:

- T_{ra} troškovi rastavljanja
- T_u troškovi usitnjavanja
- T_r troškovi recikliranja
- T_o troškovi odlaganja

Prihodi od recikliranja prema izrazu (3) sastoje se od tri različita prihoda.

$$P = P_r + P_{\Delta e} + P_E \quad (3)$$

gdje je:

- P_r prihodi od prodaje reciklata
- $P_{\Delta e}$ prihod od uštede energije
- P_E prihod od smanjenja emisija

Dobit od recikliranja D_A , (prema izrazu 4), razlika je ukupnih prihoda i ukupnih troškova.

$$D_A = (P_r + P_{\Delta e} + P_E) - (T_{ra} + T_u + T_r + T_o) \quad (4)$$

Relativna dobit od recikliranja je dodatna informacija koja se računa ako postoje dva ista iznosa apsolutne dobiti. U tom slučaju povoljnije je reciklirati proizvod koji ima veću

relativnu dobit. Relativna dobit (D_R), predstavlja odnos ukupnih prihoda i ukupnih troškova prema izrazu (5).

$$D_R = (P_r + P_{\Delta e} + P_E) - (T_{ra} + T_u + T_r + T_o) \quad (5)$$

U svrhu izračuna konačne dobiti od recikliranja analiziranih uređaja, provedena je ekonomsko-ekološka analiza istih, koja uključuje izračun troškova rastavljanja, recikliranja, odlaganja te usitnjavanja.

Dobiveni podaci o ukupnim troškovima (tablica 3) uspoređuju se s ukupnim приходima (tablica 4) od recikliranja te se računa dobit. Tablica 3 daje uvid o ukupnim troškovima, potrebnim da bi se proveo postupak recikliranja analiziranih uređaja.

Tablica 3. Rekapitulacija troškova analiziranih uređaja

Troškovi/Uređaj	Sušilo	Glačalo	Mikser
Troškovi rastavljanja, T_{ra} , €	0,804	0,530	0,330
Ukupni troškovi recikliranja, T_r , €	0,133	0,280	0,172
Ukupni troškovi odlaganja, T_d , €	0,007	0,00	0,154
Ukupni troškovi usitnjavanja, T_u , €	0,099	0,340	0,157
Ukupni troškovi, €	1,040	1,150	0,813

Iz rezultata prikazanih u tablici 3 uočava se da je najmanji iznos troškova odlaganja za sva tri uređaja, u rasponu od 0,0 do 0,15 €. Najveći troškovi su kod postupka rastavljanja, koji se kreću u rasponu od 0,33 do 0,80 €.

Tablica 4. Rekapitulacija prihoda analiziranih uređaja

Prihodi/Uređaj	Sušilo	Glačalo	Mikser
P_r - prihodi od prodaje reciklata	0,017	0,042	0,0256
$P_{\Delta e}$ - prihod od uštede energije	0,009	0,011	0,0098
P_E - prihod od smanjenja emisija	0,310	0,601	0,3962
Ukupni prihodi, €	0,336	0,654	0,4316
Ukupni prihodi, €	0,336	0,654	0,431

Tablica 5 daje uvid u ukupne troškove i prihode od recikliranja analiziranih uređaja te izračuna dobiti. Također, korištenjem izraza 4 i 5, dolazi se do podatka o dobiti.

Tablica 5. Dobiti od recikliranja analiziranih uređaja

	Sušilo	Glačalo	Mikser
Ukupni troškovi, T, €	1,04	1,15	0,81
Ukupni prihodi, P, €	0,33	0,65	0,43
Dobit, P-T, €	-0,71	-0,50	-0,38
Relativna dobit, P/T, €	0,31	0,57	0,53



Analizom podataka utvrđeno je da nije ostvarena dobit od recikliranja na odabranim uređajima, a to znači da su ukupni prihodi manji od ukupnih troškova, tablica 5.

4. Rasprava rezultata

U ovom poglavlju dan je osvrt na rezultate ispitivanja triju dotrajalih električnih kućanskih uređaja, koji su rastavljeni u svrhu analize recikličnosti.

Prvi uređaj koji se analizirao je sušilo za kosu. Uređaj ukupne mase 421 grama, za čije rastavljanje je bilo potrebno nešto više od četiri minute. Ukupan broj dijelova od kojih je sušilo sastavljeno je 29, a broj operacija rastavljanja je 12. Sve operacije rastavljanja obavljene su uglavnom jednostavno uz pomoć ručnog alata i pribora. Jedinu poteškoću predstavljali su nestandardni vijci koji su odvrnuti prilagođenim izvijačem. Nakon rastavljanja utvrđeno je da se uređaj sastoji od velikog broja različitih materijala te da sadrži pojedine dijelove u kojima je zastupljena guma i opasni otpad, što je u konačnici rezultiralo nižom recikličnosti proizvoda. Provedenom analizom recikličnosti na uređaju, može se vidjeti da je uređaj ove vrste prikladan za recikliranje, jer njegova recikličnost iznosi 76%. Nakon provedene ekonomsko-ekološke analize uređaja dobiveni rezultati prikazuju negativnu dobit.

Glačalo za rublje, drugi je rastavljeni uređaj. Proces rastavljanja je trajao 158 sekundi, a masa uređaja je 1098 grama. Rastavljanje je obavljeno u 13 operacija, upotrebom ručnog alata i pribora. Uređaj se sastoji uglavnom od materijala koji imaju visoki stupanj recikličnosti, najviše od poznatih polimera tako da je njegova recikličnost iznosila 78%, što spada u poželjnu recikličnost nekog uređaja. Također, i ovdje je ostvarena negativna dobit recikliranja nakon provedene ekonomsko-ekološke analize uređaja.

Posljednji analizirani uređaj je mikser proizvođača Gorenje, ukupne mase 1020 grama. Uređaj je rastavljen u 9 operacija. Izračunata recikličnost dotrajalog miksera iznosi 78%, što spada u poželjnu recikličnost nekog proizvoda. Mikser se sastoji od elektromotora te ostalih polimernih dijelova i opasnog otpada. Ručnim rastavljanjem nije bilo moguće rastaviti pojedine sklopove uređaja, tako da se trećina ukupne mase uređaja ne može reciklirati i koristi se u postupku odlaganja.

5. Zaključak

Smjer kojim se svijet razvija, velikom brzinom donosi sve veće onečišćenje okoliša i sve veću količinu otpada. Jedan od načina da se to zaustavi, ili barem smanji taj utjecaj, je da se razvijamo u skladu s održivim razvojem. Tako će se zadovoljiti sve naše potrebe te će se očuvati zalihe neobnovljivih izvora sirovina za generacije iza nas. Ponovna uporaba, održavanje, obnavljanje, recikliranje i odlaganje, mogućnosti su kojima možemo preraditi dotrajali proizvod te tako dobiti korist iz, već jednom potrošenih sirovina i energije.

Nakon provedene analize recikličnosti na primjeru tri različita uređaja iz kućanstva, može se zaključiti da su sva tri uređaja imala poželjnu recikličnost proizvoda. Budući da se mali kućanski aparati uglavnom sastoje od poznatih polimera i metala koji imaju visoki stupanj recikličnosti, uređaji ove vrste prikladni su za recikliranje.

Izradom modela ekonomsko-ekološke analize utvrđeno je da su dobiti od recikliranja ovih uređaja negativne, odnosno da ekonomska isplativost recikliranja ovih uređaja nije opravdana. Relativna dobit od recikliranja je najveća kod glačala, koje je imalo i najveće troškove recikliranja, a najmanja relativna dobit je kod sušila za kosu. U radu su se koristile vlastite procjene o visinama cijena troškova i prihoda pa se samim time, moguće unijela i određena pogreška u ishod samih rezultata.

S obzirom da metoda ručnog rastavljanja ova tri uređaja iz kućanstva nije dala pozitivnu dobit, način rastavljanja bi se trebao promijeniti. Preporuka je koristiti kombinaciju ručnog i mehaničkog rastavljanja, u cilju povećanja brzine rastavljanja analiziranih uređaja i ostvarivanja pozitivne ekonomske dobiti.

6. Literatura

- [1] Martens, Hans. Recyclingtechnik: Fachbuch für Lehre und Praxis, Springer, 2010. (ISBN 978—3-8274-2640-6).
- [2] Werner, Nickel. Recycling-Handbuch: Strategie – Technologie – Produkte, Düsseldorf, VDI Verlag, 1996. (ISBN 3-540-62191-1).
- [3] Kljajin Milan; Opalić Milan; Pintarić Antun. Recikliranje električnih i elektroničkih proizvoda, Sveučilišni udžbenik, Slavonski Brod, Zagreb, Osijek, 2006. (ISBN 953-6048-37-X).
- [4] Pintarić, Antun. Model ekonomsko-ekološke analize zbrinjavanja proizvoda // Prva hrvatska konferencija Ekoinženjerstvo 2002. / Natalija Koprivanac (ur.). Hrvatsko društvo kemijskih inženjera i tehnologa, Plitvička jezera 22. 10. – 24. 10. 2002.

Primjena infracrvene termografije u zgradarstvu *Application of infrared thermography in building sector*

H. Krstić*, M. Teni, Ž. Koški

Građevinski fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: hrvoje.krstic@gfos.hr

Sažetak

Infracrvena termografija u zgradarstvu se najčešće primjenjuje za kvalitativnu evaluaciju građevina i njezinih dijelova. To je široko rasprostranjena nerazorna metoda ispitivanja toplinskih svojstava građevnih dijelova zgrada, najčešće vanjskih zidova. Metoda je beskontaktna brza i precizna. Primjena infracrvene termografije često se smatra kontrolnim mjerenjem, ali se ne koristi za kontrolu zadovoljavanja propisa već samo kao smjernica za izbor prikladnih mjera poboljšanja energetske učinkovitosti. U radu je prikazana primjena termografije na vanjskim zidovima zgrada na primjeru stambenih zgrada u gradu Osijeku. Kvalitativna analiza dobivenih termografskih snimki otkriva mjesta gubitka topline kroz nezaštićene građevne dijelove, toplinske mostove. Toplinski mostovi mjesta su u konstrukciji vanjske ovojnice zgrade koja imaju značajan utjecaj na ukupnu potrošnju energije. U radu je prikazano kako se na temelju rezultata termografije i analize termografskih snimki vanjske ovojnice može osigurati detaljan pristup u projektiranju sanacije vanjskih ovojnica zgrada.

Ključne riječi: infracrvena termografija, zgrade, tehnologija izvođenja zidova

Abstract

Infrared thermography is mostly used for qualitative evaluations of buildings and its parts. It is a widely employed non-destructive technique for evaluation of energy performance of building parts, most often external walls. Method itself is non-contact, quick and accurate. Application of infrared thermography is often considered as a control measurement but it is not used to control compliance with regulations, but as a guideline for choosing suitable energy efficiency improvement measures. This paper presents the application of infrared thermography on external walls of residential buildings in the city of Osijek. Qualitative analysis of the obtained infrared thermographic images reveals places of heat losses through unprotected building parts i.e. thermal bridges. Thermal bridges are parts of external building envelope that have a significant impact on the total energy consumption. The paper presents how results of infrared thermography and the analysis of thermographic images of the building envelope can ensure detailed approach in the design and refurbishment of buildings.

Key words: infrared thermography, buildings, building technology

1. Uvod

Na području Europske Unije zgrade su odgovorne za 40% ukupne potrošnje energije, a s obzirom na širenje sektora očekuje se i povećanje potrošnje [1]. Slična situacija je i u Republici Hrvatskoj. Naime, prema posljednjem objavljenom godišnjem energetskom pregledu iz 2015. godine udio ukupne potrošnje energije u zgradama, koje čine kućanstva i usluge, u ukupnoj potrošnji finalne energije povećao se u odnosu na prethodnu 2014. godinu te iznosi 48,18 % u ukupnoj potrošnji finalne energije [2, 3]. Najveći udio pri tome, u potrošnji energije, ali i u ukupnoj izgradnji imaju stambene zgrade koje čine 86% ukupnog fonda zgrada Republike Hrvatske [4]. Navedena velika potrošnja energije posljedica je najvećim dijelom godine izgradnje, različitih tehnologija gradnje, vrste primijenjenih materijala i nedostatka propisa iz područja toplinske zaštite zgrada koji se u Republici Hrvatskoj prvi put pojavljuju 1970. godine [5]. Stambene zgrade izgrađene do 1987. godine, koje čine oko 68% ukupnog fonda zgrada u RH troše najveću količinu energije [4]. Slična situacija je i u ostalim zemljama EU gdje je $\frac{3}{4}$ stambenog fonda izgrađeno do 70ih godina prošlog stoljeća [6]. Prema istraživanjima, kod takvih zgrada gubici topline kreću se i do 300 kWh/m² godišnje [7]. S obzirom na to da će se takve zgrade nastaviti koristiti još dugi niz godina i trošiti nepotrebno velike količine energije nužno je poduzeti mjere kako bi se smanjila potrošnja i kako bi se ostvarili zadani ciljevi Europske Unije. Pri obnovi tih zgrada toplinska svojstva se određuju istim metodama i proračunima kao i za nove zgrade pri projektiranju što može predstavljati problem zbog nepostojanja preciznih podataka o vrstama slojeva, njihovoj debljini i toplinskim karakteristikama pojedinih građevnih dijelova. In situ mjerenje vrijednosti koeficijenta prolaska topline (U vrijednosti) je izuzetno vrijedan alat koji se može koristiti za određivanje toplinskih svojstava građevnih dijelova za koje ne postoje već spomenuti podaci [8]. Primjenom infracrvene termografije (IRT) u zgradarstvu može se osigurati bolje razumijevanje toplinskih svojstava građevnih dijelova koji utječu na toplinske gubitke, ali isto tako i bolji uvid u ponašanje različitih materijala kako bi se osiguralo smanjenje potrošnje energije u sektoru zgradarstva [9].

2. Toplinski gubici u zgradama

Toplinska izolacija vanjskog omotača zgrada je ključan faktor za osiguranje toplinske ugodnosti krajnjim korisnicima zgrada i smanjenje toplinskih gubitaka, njome se osigurava smanjenje potrošnje energije za grijanje i hlađenje pravilnim izborom materijala i tehnologije građenja [10]. Nedovoljna toplinska izolacija dovodi do povećanih toplinskih gubitaka zimi, hladnih obodnih konstrukcija, oštećenja nastalih kondenzacijom (vlagom), te pregrijavanja prostora ljeti [11]. S druge strane važnost kvalitete izvedbe i ugradnje prozora i vrata također utječe na veličinu gubitaka toplinske energije [12] naime istraživanja su pokazala kako i do 21% ukupnih toplinskih gubitaka tijekom sezone grijanja [13] se javlja kao posljedica slabije kvalitete prozora i vrata. Okviri prozora obično čine 20 do 30% ukupne površine otvora, no njihov utjecaj na gubitke topline puno je veći [14]. Značajni toplinski gubici u zgradama se javljaju zbog toplinskih mostova. Prema Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama toplinski



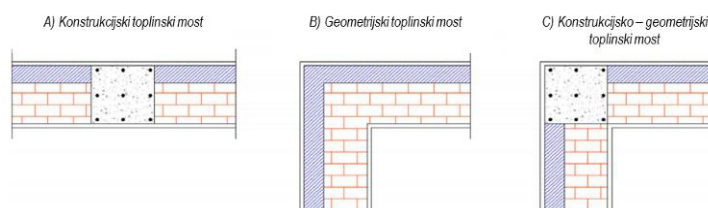
most jest manje područje u ovojnici grijanog dijela zgrade kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene proizvoda, debljine ili geometrije građevnog dijela [15]. Toplinski mostovi ograničena su područja u vanjskoj ovojnici karakterizirana osim većom gustoćom toplinskog toka i niskom unutarnjom plošnom temperaturom [16]. Najčešće su to mjesta prekida kontinuiteta toplinske izolacije, mjesta bez toplinske izolacije ili mjesta prekida u toplinskoj izolaciji zbog prodora elementa povećane toplinske vodljivosti. Toplinski mostovi djeluju u uvjetima razlike između unutarnje i vanjske temperature, a u zgradama se pojavljuju zbog pogrešaka i nepažnje prilikom projektiranja i izvedbe. Prema rezultatima istraživanja provedenih u Francuskoj i Grčkoj utjecaj toplinskih mostova kreće se u rasponu od 5 do 35% [17, 18]. U hladnoj Švedskoj, utjecaj toplinskih mostova na toplinske gubitke, prema istraživanju, kreće se između 20 i 38% u slučaju predgotovljenih sendvič zidova te između 12 i 26% za zidove s drvenom konstrukcijom [19]. Isto tako, brojne analize pokazale su da se povećanjem izoliranosti ovojnice zgrade povećava i utjecaj toplinskih mostova na globalne toplinske gubitke, a samim tim i na energetske potrebe za grijanje zgrade [20, 21]. Njihova pojava može dovesti do lokalnih pojava koje utječu na toplinsku ugodnost kao što su hladni zidovi ili dijelovi zidova, pojava vlage i plijesni [22], loše kvalitete zraka u unutarnjem prostoru [23]. Pojava vlage preduvjet je za stvaranje plijesni i gljivica, što s higijenskog stajališta može imati negativan utjecaj na ljudsko zdravlje, slika 1.



Slika 1. Pojava plijesni i gljivica kao posljedice toplinskih mostova [24, 25]

Osim posljedica vezanih uz ljudsko zdravlje, dugotrajna pojava vlage i plijesni uzrokuje i oštećenje konstrukcije te je jedan od najčešćih uzroka degradacije kvalitete građevine. Hladne površine zidova i podova kao još jedna od posljedica toplinskih mostova direktno nepovoljno utječu na smanjenje toplinskog ugođaja korisnika u zgradi. Jaki toplinski mostovi uzrokuju mehanička oštećenja konstrukcije zbog smrzavanja te narušavaju tri temeljna zahtjeva za građevinu (mehanička otpornost i stabilnost, higijena, zdravlje i okoliš te gospodarenje energijom i očuvanje topline) [7]. Kako bi se istražili navedeni problemi na postojećim zgradama IRT predstavlja jednu od najpouzdanijih metoda za pouzdanu kvalitativnu ocjenu vanjskog omotača zgrada [23]. Toplinski mostovi mogu se podijeliti s obzirom na uzrok povećane toplinske vodljivosti, uzrok nastanka i oblik [7]. Prema osnovnoj podjeli, odnosno s obzirom na uzrok povećane toplinske provodljivosti, razlikuju se konstrukcijski, geometrijski, konstrukcijsko-geometrijski, konvektivni i toplinski mostovi

uvjetovani okolinom. Na slici 2 prikazani su primjeri konstrukcijskog, geometrijskog i konstrukcijsko-geometrijskog toplinskog mosta [7].



Slika 2. Karakteristični toplinski mostovi u zgradama: A) konstrukcijski toplinski most, B) geometrijski toplinski most, C) konstrukcijsko-geometrijski toplinski most [26]

Posljedica kombinacije različitih vrsta materijala je različita gustoća toplinskog toka u pojedinim dijelovima konstrukcije. U tim slučajevima izvodnice jednakih temperatura nisu više paralelne s graničnim ploham konstrukcije pa se javlja poprečno vođenje topline te se toplinski tok raspršuje [16]. Prisutnost konstruktivnog toplinskog mosta u zgradi doprinosi mjerljivom gubitku topline, a njihov utjecaj moguće je smanjiti pažljivim projektiranjem detalja. Primjer konstrukcijskog toplinskog mosta je prikazan su na slici 3.



Slika 3. Primjeri konstrukcijskog toplinskog mosta [27]

Točkasti toplinski mostovi toplinski su mostovi s nejednolikim poprečnim presjekom u svim smjerovima [28]. Za razliku od linijskih toplinskih mostova točkasti toplinski mostovi su trodimenzionalan problem te su karakterizirani točkastim koeficijentom prolaska topline χ [W/K] [29]. Prodor armature balkonske ploče te različita pričvršćenja i sidrenja na vanjskom zidu prilikom postavljanja toplinske izolacije, sjenila, instalacija i sl. materijalima povećane toplinske vodljivosti karakteristični su primjeri točkastih toplinskih mostova. Primjer točkastih toplinskih gubitaka kao posljedica točkastih toplinskih mostova prilikom postavljanja toplinske izolacije prikazan je na slici 4.



Slika 4. Primjer točkastih toplinskih gubitaka [30]

Prikazane pojave se lako mogu otkriti primjenom IRT. Posljednjih godina je došlo do značajnih pomaka na području dijagnostike u zgradarstvu, nerazorne metode ispitivanja izuzetno su popularne zbog svoje brzine, preciznosti ispitivanja i toga što su neke od njih bez kontaktne kao na primjer IRT, što im osigurava široku primjenu [31].

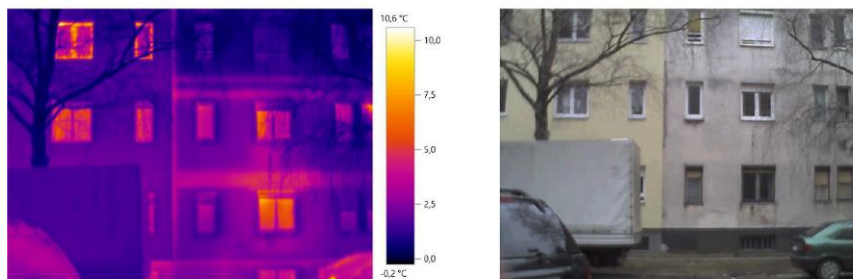
3. Primjena infracrvene termografije u zgradarstvu

IRT u zgradarstvu se koristi za procjenu toplinskih svojstava ovojnice zgrade, pronalazak toplinskih mostova i mjesta prekomjernih gubitaka topline, mjesta nekontroliranog propuštanja zraka, mjesta na kojima nedostaje toplinska izolacija ili je došlo do njezina oštećenja, uzroka pojave vlage, ali i preglede i očuvanje povijesno važnih zgrada i spomenika te održavanje zgrada [31]. Dosadašnja istraživanja su pokazala kako je velik dio troškova životnog ciklusa građevina vezan uz uporabne troškove pa je potreban poseban oprez pri projektiranju zgrada jer se teži k energetske i troškovno učinkovitom rješenjima koja neće ugroziti toplinsku ugodnost unutarnjeg prostora i narušiti zahtijevana toplinska svojstva zgrada [32]. Ovaj problem može se uspješno riješiti primjenom infracrvene termografije. IRT se najčešće koristi za definiranje toplinskih svojstava fasada, ovojnice zgrada. Pouzdani podaci o tim svojstvima su mogući samo ukoliko su tijekom mjerenja osigurani stabilni klimatski uvjeti, no kako je to u stvarnosti teško ostvarivo takav zahtjev je rijetko ispunjen [33]. Kako bi se osigurala ispravna primjena IRT potrebno je definirati koeficijent emisivnosti, temperature zraka i relativnu vlažnost zraku i što je najvažnije osigurati tijekom mjerenja razliku temperature između unutarnjeg i vanjskog prostora od najmanje 10 °C [31]. Tijekom mjerenja temperaturu površine zida treba održavati konstantnom kako bi se promjene fluktuacije koje uzrokuju nestabilan toplinski tok u uzroku na kojem se provodi ispitivanje [10]. Nadalje, istraživanja su pokazala kako i izloženost sunčevom zračenju fasade ima utjecaj na rezultate mjerenja stoga bi mjerenja na tako izloženim zidovima trebala raditi 13 do 14 sati po prestanku izloženosti sunčevom zračenju [34]. Upravo zato se često u literaturi nalaze preporuke o primjeni IRT u noćnim ili rano jutarnjim satima ili čak kada su dani izuzetno oblačni no bez kiše i drugih padalina. Dodatna preporuka je provedba mjerenja kada nema vjetra ili je brzina vjetra izuzetno mala (manja od 5 m/s), a sve kako bi se smanjio utjecaj konvencijskih toplinskih gubitaka [34, 35]. Nažalost termo snimke često se ne interpretiraju pravilno posebno u slučajevima kada termalna masa, refleksija i vlažnost utječu na toplinska svojstva ovojnice [36]. No bez obzira na to IRT ima puno prednosti u odnosu na ostale metode, bezkontaktna je metoda, brza, pouzdana, bez štetnih zračenja i neinvazivna [37]. Trenutno znanstvena zajednica i

stručnjaci provode istraživanja s ciljem razvoja novih tehnologija za otkrivanje nedostataka na ovojnica zgrada i mjerenje toplinskih svojstava ovojnica zgrada primjenom IRT [36].

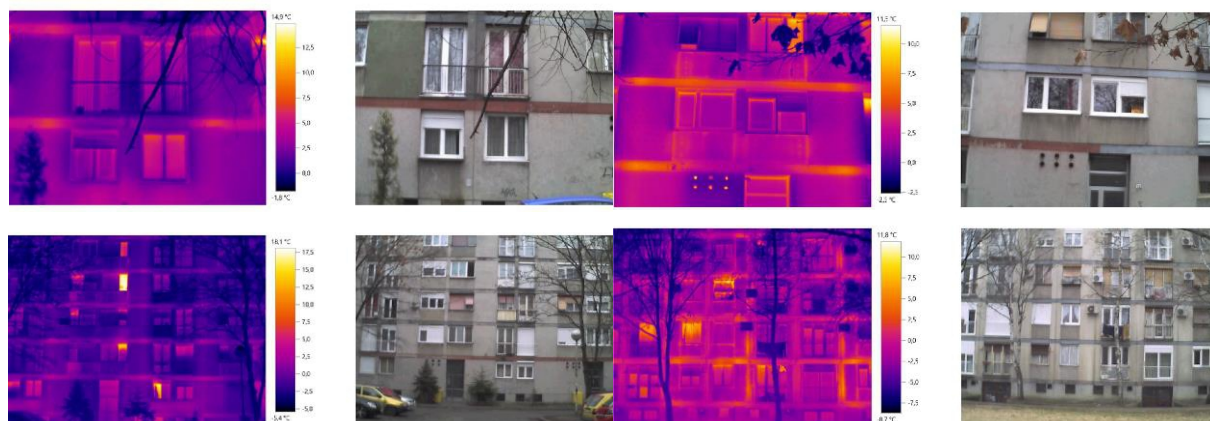
4. Rezultati ispitivanja

U ovom poglavlju je prikazana primjena IRT na vanjskim zidovima zgrada na primjeru stambenih zgrada u gradu Osijeku. Analizirane zgrade smještene su u osječkim naseljima Sjenjak, Vijenac Ivana Meštrovića i Drvljanik. Za zgrade prikazane u radu toplinska svojstva vanjskih zidova su utvrđena vizualnim pregledom, uvidom u projektnu dokumentaciju i termografskim snimkama. Kvalitativna analiza dobivenih termografskih snimki otkriva mjesta gubitka topline kroz nezaštićene građevne dijelove, toplinske mostove. Vrijednosti koeficijenta prolaska topline građevnih elemenata vanjske ovojnice analiziranih zgrada određene su prije terenskih mjerenja. Na slici 5 prikazana je termografska snimka postojeće zgrade smještene u naselju Vijenac Ivana Meštrovića koja na lijevom dijelu ima postavljenu toplinsku izolaciju. Na neizoliranom desnom dijelu zgrade vidljiv je povećan gubitak topline kroz nezaštićene građevne elemente.



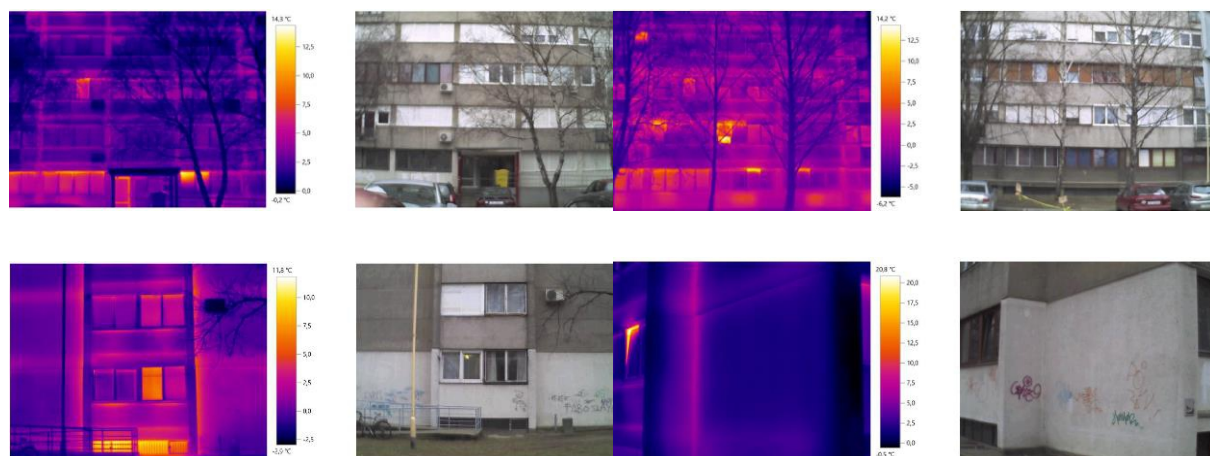
Slika 5. Termografska snimka usporedbe detalja izoliranog i neizoliranog pročelja postojeće zgrade

Kako bi se vizualizirala mjesta povećanih toplinskih gubitaka kroz toplinske mostove provedeno je terensko mjerenje infracrvenom kamerom Testo 882 (toplinske osjetljivosti <math>< 50 \text{ mK}</math> na $+30 \text{ }^\circ\text{C}</math> i raspona mjerenja -20 do $+100 \text{ }^\circ\text{C}</math>; 0 do $+350 \text{ }^\circ\text{C}</math>). Mjerenje je provedeno u skladu s normom EN 13187:2001 [38]. Termografsko snimanje postojećeg stanja vanjskih pročelja zgrada obavljeno je 8. i 9. veljače 2017. godine pri razlici temperature između unutarnjeg i vanjskog zraka od $25 \text{ }^\circ\text{C}</math>. Termografskim snimkama i analizom građevinskih karakteristika vanjske ovojnice višestambene zgrade 1 utvrđena mjesta karakterističnih toplinskih mostova su spoj unutarnjeg i vanjskog podrumskog zida, spoj unutarnjeg i vanjskog zida prizemlja i katova, spoj vanjskih zidova, spoj vanjskog zida i ravnog krova, horizontalni serklaži, reške morta u zidu od opeke, spoj prozora sa parapetom i spoj prozora/vrata i vanjskog zida. Kroz postojeće građevne dijelove koji ne zadovoljavaju postojeće propise o toplinskoj zaštiti zgrada i brojne toplinske mostove višestambena zgrade 1 gubi se stoga znatan dio toplinske energije što je uočeno i na termografskim snimkama. Termografske snimke višestambene zgrade 1 s vidljivim mjestima povećanih toplinskih gubitaka prikazane su na slici 6.$$$$



Slika 6. Termografske snimke stanja vanjske ovojnice višestambene zgrade 1 i karakteristični toplinski mostovi

Termografskim snimkama i ocjenom postojećeg tehničkog stanja vanjske ovojnice višestambene zgrade 2 utvrđena mjesta karakterističnih toplinskih mostova su nezaštićeni armiranobetonski stupovi i ploče, spoj vanjskih zidova (uglovi zgrade), spoj vanjskog zida i ravnog krova, spoj vanjskog zida i stropne ploče, spoj prozora sa parapetom i spoj prozora/vrata i vanjskog zida. Na termografskim snimkama prikazanim na slici 7 vidljivi su karakteristični toplinski mostovi te pojačan protok topline kroz skeletni armiranobetonski sustav, nezaštićene armiranobetonske stupove i ploče.

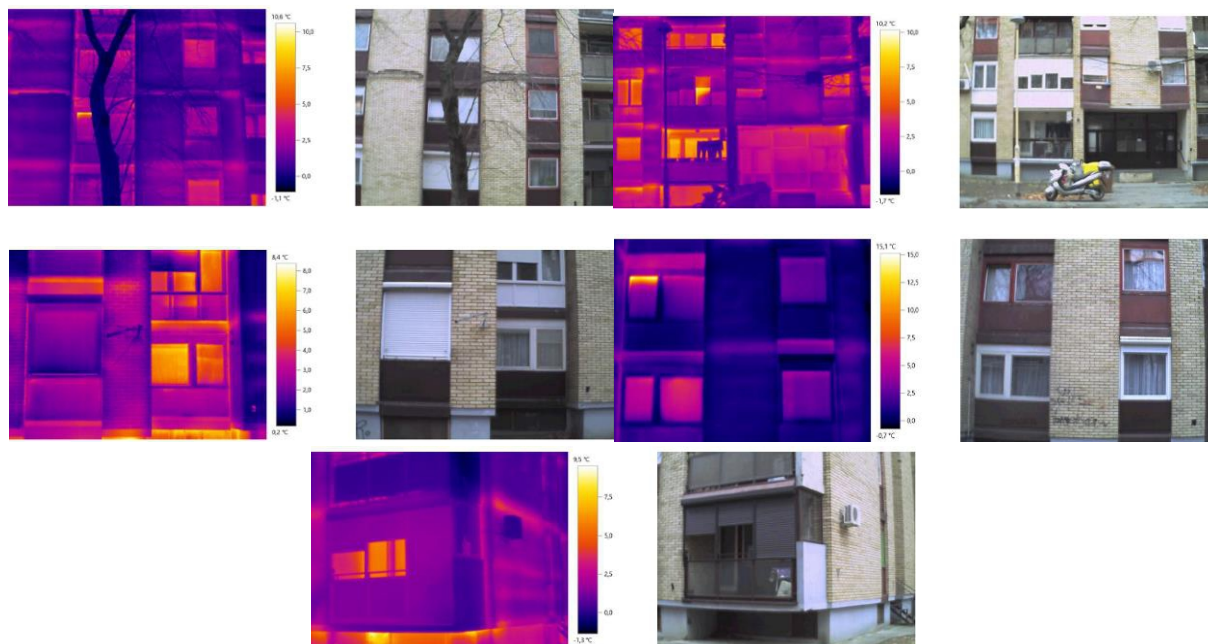


Slika 7. Termografske snimke stanja vanjske ovojnice višestambene zgrade SZ2 i karakteristični toplinski mostovi

Termografskim snimkama i ocjenom postojećeg tehničkog stanja vanjske ovojnice višestambene zgrade 3 utvrđena mjesta karakterističnih toplinskih mostova su spoj unutarnjeg i vanjskog podrumskog zida, spoj unutarnjeg i vanjskog zida prizemlja i katova, spoj vanjskih zidova (uglovi zgrade), spoj vanjskog zida i ravnog krova, spoj vanjskog zida i stropne ploče, spoj prozora sa parapetom, spoj prozora/vrata i vanjskog zida, prodor balkonske ploče i reške morta u zidu od fasadne opeke. Termografske snimke



višestambene zgrade 3 s vidljivim mjestima povećanih toplinskih gubitaka prikazane su na slici 8.



Slika 8. Termografske snimke stanja vanjske ovojnice višestambene zgrade 3 i karakteristični toplinski mostovi

5. Zaključak

Toplinski mostovi mjesta su u konstrukciji vanjske ovojnice zgrade koja imaju značajan utjecaj na ukupnu potrošnju energije. Povećanjem izoliranosti ovojnice zgrade povećava se i njihov utjecaj na globalne toplinske gubitke. Energetska obnova ima za cilj smanjiti energetska potrošnja i emisiju stakleničkih plinova. Međutim, ukoliko se ona temelji samo na dodavanju slojeva toplinske izolacije na vanjsku ovojnicu zgrade bez adekvatnog pristupa rješavanju detalja toplinskih mostova, kao posljedica će se javiti povećani toplinski gubici kroz toplinske mostove u odnosu na postojeće stanje. U radu je na primjeru tri izabrane postojeće višestambene zgrade u Osijeku, izgrađene u periodu intenzivne stambene izgradnje, analizirana mogućnost energetske obnove toplinskih mostova prilikom rekonstrukcije vanjske ovojnice zgrada. Uz vizualni pregled i uvid u projektnu dokumentaciju, postojeća tehnička svojstva građevnih dijelova zgrada te mjesta povećanog gubitka topline kroz toplinske mostove utvrđena su kvalitativnom IRT metodom. Na temelju prikazanih rezultata IRT te s obzirom na značajan utjecaj toplinskih mostova na zgradama moguće je dati kvalitetan prijedlog energetske obnove s detaljnom razradom rješenja karakterističnih detalja toplinskih mostova.

6. Literatura

- [1] Directive 2010/31 EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Communities. **L 153/21-2.**

- [2] Program energetske obnove obiteljskih kuća za razdoblje od 2014. do 2020. godine s detaljnim planom za razdoblje od 2014. do 2016. godine. „Narodne novine“ broj 36/15; Available from: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_04_43_793.html.
- [3] Energija u Hrvatskoj 2015. Godišnji energetske pregled, Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske, 2015.
- [4] Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency Official Journal of the European Union. **L 315/1**.
- [5] Flanagan, R., et al., Life Cycle Costing Theory and Practice. 1989, Oxford: BPS Professional Books.
- [6] Ghazi Wakili, K., et al., Efficiency verification of a combination of high performance and conventional insulation layers in retrofitting a 130-year old building. Energy and Buildings, 2014. **82**(0): p. 237-242.
- [7] UNDP, Prirucnik za energetske certificiranje zgrada-1 dio, 2010, Program UN-a za razvoj: Zagreb.
- [8] Baker, P., U-values and traditional buildings, 2011, Glasgow Caledonian University.
- [9] Xeni, F., et al., In situ U-value measurements for today's Cypriot houses. International Journal of Sustainable Energy, 2014: p. 1-11.
- [10] Asdrubali, F., et al., Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries—A case study. Case Studies in Construction Materials, 2014. **1**(0): p. 53-59.
- [11] UNDP, Prirucnik za energetske certificiranje zgrada-2 dio, 2012, Program UN-a za razvoj: Zagreb.
- [12] Gustavsen, A., S. Uvsløkk, and B.P. Jelle, Numerical and Experimental Studies of the Effect of Various Glazing Spacers on the Window U-Value and the Glazing Temperature Proceedings of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. 2005, The Icelandic Building Research Institute: Reykjavik. p. 1003-1010.
- [13] Butkus, J., A. Vladišauskas, and L. Jakevičius, The use of ultrasound for investigation of glazing units. ULTRAGARSAS journal, 2004.
- [14] Arlid, G., et al. Experimental and Numerical Examination of the Thermal Transmittance of High Performance Window Frames. in Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings XI International Conference, December 5-9, 2010. Clearwater Beach, FL.
- [15] Technical Regulation on the Rational Use of Energy and Thermal Insulation in Buildings. „Narodne novine“ broj 128/15; Available from: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/dodatni/438515.pdf>.
- [16] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama. „Narodne novine“ broj 97/14; Available from: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_08_97_1938.html.
- [17] Déqué, F., F. Ollivier, and J.J. Roux, Effect of 2D modelling of thermal bridges on the energy performance of buildings: numerical application on the Matisse apartment. Energy and Buildings, 2001. **33**(6): p. 583.
- [18] Theodosiou, T.G. and A.M. Papadopoulos, The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. Energy and Buildings, 2008. **40**(11): p. 2083.
- [19] Berggren, B. and M. Wall, Calculation of thermal bridges in (Nordic) building envelopes - risk of performance failure due to inconsistent use of methodology. Energy and Buildings, 2013. **65**(null): p. 331.

- [20] Capozzoli, A., A. Gorrino, and V. Corrado, A building thermal bridges sensitivity analysis. *Applied Energy*, 2013. **107**: p. 229-243.
- [21] Ilomets, S., et al., Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2017. **23**(1): p. 96-104.
- [22] Quinten, J. and V. Feldheim, Dynamic modelling of multidimensional thermal bridges in building envelopes: Review of existing methods, application and new mixed method. *Energy and Buildings*, 2016. **110**: p. 284-293.
- [23] Bianchi, F., et al., Infrared Thermography Assessment of Thermal Bridges in Building Envelope Experimental Validation in a Test Room Setup. *Sustainability*, 2014. **6**(10): p. 13.
- [24] BRE. The importance of thermal bridging. 2016 4.11.2016.]; Available from: <https://www.bre.co.uk/certifiedthermalproducts/page.jsp?id=3073>.
- [25] Desideri, U., et al., Design of a multipurpose "zero energy consumption" building according to European Directive 2010/31/EU: Architectural and technical plants solutions. *Energy*, 2013. **58**: p. 157-167.
- [26] Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske. „Narodne novine“ broj 130/09; Available from: http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2009_10_130_3192.html.
- [27] Brás, A., F. Gonçalves, and P. Faustino, Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: Thermal performance and cost evaluation. *Energy and Buildings*, 2014. **72**: p. 296-308.
- [28] Al-Homoud, D.M.S., Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, 2005. **40**(3): p. 353-366.
- [29] Koški, Ž., Ušteda energije u kolektivnim stambenim zgradama povećanjem toplinske moći obodnih građevinskih konstrukcija, 1989: Beograd.
- [30] Krstić, H., M. Teni, and I. Šandrk Nukić, Sensitivity analysis of cost-effective recommendations for improving building energy efficiency, in 12th international conference organization, technology and management in construction conference proceedings 2015: Primošten, Croatia. p. 434-442.
- [31] Kylili, A., et al., Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. *Applied Energy*, 2014. **134**(0): p. 531-549.
- [32] Alanne, K., et al., Economic viability of energy-efficiency measures in educational buildings in Finland. *Advances in Building Energy Research*, 2013. **7**(1): p. 120-127.
- [33] Lehmann, B., et al., Effects of individual climatic parameters on the infrared thermography of buildings. *Applied Energy*, 2013. **110**(0): p. 29-43.
- [34] Albatici, R., A.M. Tonelli, and M. Chiogna, A comprehensive experimental approach for the validation of quantitative infrared thermography in the evaluation of building thermal transmittance. *Applied Energy*, 2015. **141**(0): p. 218-228.
- [35] Fokaides, P.A. and S.A. Kalogirou, Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes. *Applied Energy*, 2011. **88**(12): p. 4358-4365.
- [36] Fox, M., et al., Thermography methodologies for detecting energy related building defects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014. **40**(0): p. 296-310.
- [37] Usamentiaga, R., et al., Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing. *Sensors*, 2014. **14**(7): p. 12305-12348.
- [38] Thermal performance of buildings -- Qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes -- Infrared method (ISO 6781:1983 modified; EN 13187:1998).