

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

12. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
12th NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

5. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
5th 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
Pollack Mihály Faculty of Engineering
H-7624 Pécs, Boszorkány u. 2



Suorganizatori
Co-organizers



Uz potporu
Supported by

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske
Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia

Osijek, 24.- 26.09.2014.

PLIN 2014

ZBRONIK RADOVA 5. MEĐUNARODNOG SKUPA O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI

PROCEEDINGS OF 5th INTERNATIONAL NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

Urednici / Editors:

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

PLIN 2014 Organizacijski odbor / PLIN 2014 Organization committee:

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

Izdavač / Publisher: Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu

Email: plin@sfsb.hr

URL: <http://www.konferencija-plin.com/>

Sponzori / Sponsors



PLIN 2014 Počasni odbor / PLIN 2014 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 2014 Znanstveni odbor / PLIN 2014 Scientific committee:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska
Antun STOIĆ zamjenik pred., Hrvatska
Darko BAJIĆ, Crna Gora
Zoran ANIŠIĆ, Srbija
Károly BELINA, Mađarska
Milorad BOJIĆ, Srbija
Ivan BOŠNJAK, Hrvatska
Aida BUČO-SMAJIĆ, BiH
Zlatan CAR, Hrvatska
Robert ČEP, Češka
Majda ČOHODAR, BiH
Ejub DŽAFEROVIĆ, BiH
Tomislav GALETA, Hrvatska
Antun GALOVIĆ, Hrvatska
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
Antun PINTARIĆ, Hrvatska
Miroslav PLANČAK, Srbija
Marko RAKIN, Srbija
Pero RAOS, Hrvatska
Alessandro RUGGIERO, Italija
Aleksandar SEDMAK, Srbija
Marinko STOJKOV, 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

Pozvana predavanja / Key lectures

Denis Pelin, Vjekoslav Rapčan, Damir Šljivac

**EMULACIJA RAZLIČITIH FOTONAPONSKIH SUSTAVA /
EMULATION OF VARIOUS PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**

Stjepan Aračić, Ivan Samardžić

**ANALIZA KOROZIJSKIH OŠTEĆENJA ČELIČNIH PLINOVODA U
AGRESIVNOM MEDIJU / ANALYSIS OF CORROSION DAMAGE
OF STEEL PIPELINES IN AGGRESSIVE MEDIUM**

SADRŽAJ / CONTENTS

| | |
|--|-----|
| EMULACIJA RAZLIČITIH FOTONAPONSKIH SUSTAVA | |
| D. Pelin, V. Rapčan, D. Šljivac | 1 |
| ANALIZA KOROZIJSKIH OŠTEĆENJA ČELIČNIH PLINOVODA U AGRESIVNOM MEDIJU | |
| S. Aračić, I. Samardžić, M. Dunder | 9 |
| FOTONAPONSKI SUSTAV ZA AUTONOMNO NAVODNJAVANJE POLJOPRIVREDNIH POVRŠINA | |
| S. Nikolovski, G. Knežević, D. Marić, J. Gorup..... | 19 |
| KOKOŠJI IZMET KAO ENERGEN | |
| J. Hrnjica Bajramović ¹ , T. Grizelj | 30 |
| REJONSKE REGULACIJSKE STANICE RRS | |
| T. Grizelj..... | 37 |
| REKUPERACIJA TOPLINE ZA POTREBE GRIJANJA SANITARNE VODE U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI | |
| H. Hadžiahmetović, E. Peco | 47 |
| ANALIZA UTJECAJA FOTONAPONSKE ELEKTRANE NOVOSELAC 3 SNAGE 180 KW NA DISTRIBUTIVNU MREŽU | |
| S. Nikolovski, K. Fekete, M. Kresonja, J.Gorup..... | 55 |
| PREDNOSTI IMPLEMENTACIJE NAPREDNE CRM STRATEGIJE NA MOBILNOJ PLATFORMI KOD OPERATORA DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA | |
| J. Dizdarević, V. Karahodžić | 65 |
| ANALIZA RASPODJELE TROŠKOVA TOPLINSKE ENERGIJE U STAMBENIM ZGRADAMA SA ZAJEDNIČKIM MJERILOM TOPLINSKE ENERGIJE NAKON UGRADNJE RAZDJELNIKA TOPLINE | |
| M. Marjanović, R. Krklec..... | 74 |
| ANALIZA TOPLINSKE UČINKOVITOSTI „TERMOENERGETSKE ZAVJESE“ PRI NOĆNOM REŽIMU GRIJANJA PLASTENIKA | |
| A. Čikić, Z. Janković, M. Stojkov, R. Končić..... | 83 |
| DESIGN OF MICRO-TUNNEL PATH FOR PIPELINE ON WHEEL SUPPORTS | |
| N. Kranjčević, M. Stegić, F. Lukač | 91 |
| LEAN I GREEN GUBICI U DISTRIBUCIJI TOPLINSKE ENERGIJE | |
| Ivica Mihaljević..... | 100 |
| ANALIZA ODRŽIVOSTI PROJEKTA ČISTE ENERGIJE MALIH VODOTOKA POMOĆU RAČUNALNE APLIKACIJE | |
| Em. Trožić, En. Trožić, Ed. Smajić | 110 |

| | |
|---|-----|
| ODRŽIVI MODEL UKLJUČIVANJA BIOMASE U ENERGETSKI PORTFOLIO LOKALNE ZAJEDNICE | |
| Ed. Smajić, Em. Trožić, En. Trožić..... | 120 |
| MODELIRANJE UTJECAJNIH PARAMETARA ZA IZBOR MJERILA PROTOKA U EKSPLOATACIJSKIM UVJETIMA KOD TRETMANA VODE ZA PIĆE | |
| En. Trožić, Em. Trožić, Ed. Smajić | 130 |
| PRIMJENA SOLARNE ENERGIJE KAO DODATNOG IZVORA ENERGIJE ZA SUSTAVE NEPREKIDNOG NAPAJANJA | |
| M. Hornung, K. Hornung | 138 |
| OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE I POTROŠNJA ENERGIJE U SEKTORU OPĆE POTROŠNJE | |
| K. Hornung, M. Stojkov, E. Hnatko, D. Šljivac, D. Topić | 147 |
| STATIC AND ADAPTIVE MODELS IN DAILY NATURAL GAS CONSUMPTION FORECASTING | |
| P. Potočnik, B. Soldo, G. Šimunović, T. Šarić, E. Govekar | 155 |
| UNAPREĐENJE ODRŽAVANJA U PODUZEĆIMA ZA EKSPLOATACIJU PLINA KORIŠTENJEM SUSTAVA ZA UPRAVLJANJE IMOVINOM | |
| T. Šarić, D. Pezer, K. Šimunović, K. Brckan, G. Šimunović..... | 164 |
| ANALIZA I MODELIRANJE POTROŠNJE TOPLINSKE ENERGIJE NA PRIMJERU KOMPLEKSA ZGRADA U SUHOPOLJU | |
| J. Jukić, R. Lujčić, V. Galzina, A. Ravlić..... | 173 |
| SKLOPOVI ENERGETSKE ELEKTRONIKE ZA PRIKLJUČAK GORIVNIH ČELIJA I TROŠILA | |
| D. Pelin, L. Rončević..... | 181 |
| IZBOR METODA PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA | |
| A. Sutlović, M. Vitez, P. Prosenica..... | 189 |
| AUTOMATSKO RASKLAPANJE DOTRAJALIH ELEKTRONIČKIH PROIZVODA | |
| L. Travaš, Z. Kunica | 196 |
| PROVEDBA ENERGETSKOG PREGLEDA JAVNE RASVJETE | |
| H. Glavaš, D. Mesarić, T. Barić, D. Đurđević, M. Ivanović | 205 |
| STANJE I TRENDOVI EMISIJE CO₂ U HRVATSKOJ | |
| M. Stefanović, I. Sutlović, P. Raos..... | 214 |
| ELEKTRIČNI AUTOMOBIL - POVIJEST RAZVOJA I SASTAVNI DIJELOVI | |
| M. Stojkov, D. Gašparović, D. Pelin, H. Glavaš, K. Hornung, N. Mikulandra..... | 222 |
| GOSPODARENJE PLINOM I ZAŠTITA POTROŠAČA U REPUBLICI HRVATSKOJ | |
| S. Franjić..... | 231 |

**ANALIZA SPECIFIČNIH OŠTEĆENJA ELEMENATA ENERGETSKE I PROCESNE
OPREME S "VODENE STRANE"**

L. Marušić, Ž. Rosandić, I. Opačak, V. Marušić236

POSTUPCI ELEKTROLUČNOG ZAVARIVANJA ČELIČNIH CJEVOVODA

M. Horvat, V. Kondić, I. Samardžić243

**OPTIMIRANJE PROIZVODNJE ENERGIJE MIKRO KOGENERACIJSKOG SUSTAVA U
UVJETIMA OTVORENOG ENERGETSKOG TRŽIŠTA**

T. Galić, Ž. Tomšić251

**UTJECAJ RAZVOJA ELEKTRANA NA BIOMASU NA RAZNOLIKOST KRAJOLIKA
ISTOČNE HRVATSKE**

D. Stober, Ž. Jurković, Z. Dolaček-Alduk260

**COMPARISON OF LIQUID NITROGEN AND CARBON DIOXIDE AS A COOLING FLUID
IN MACHINING PROCESSES**

F. Pusavec, A. Stoić and J. Kopač.....270

APPLICATION OF WATER JET FOR CUTTING HEAT SENSITIVE PRODUCTS

M. Duspara, A. Stoić, J.Kopač279

Emulacija različitih fotonaponskih sustava *Emulation of various photovoltaic systems*

D. Pelin^{1,*}, V. Rapčan¹, D. Šljivac¹

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

*Autor za korespondenciju, E-mail: pelin@etfos.hr

Sažetak

Za pet odabranih fotonaponskih modula različitih tehnologija (monokristalni Si, polikristalni Si, visokoučinski monokristalni Si, amorfni silicij i CIS) napravljena je procjena proizvodnje električne energije fotonaponske elektrane vršne snage do 12 kW na osnovu rezultata mjerenja $u-i$ karakteristika fotonaponskih modula za dva mjeseca (travanj i svibanj 2014. godine). Za procjenu proizvodnje električne energije korišten je fotonaponski emulator, pri čemu su mjerenja $u-i$ karakteristika fotonaponskih modula različitih tehnologija poslužila za dobivanje ulaznih parametara programabilnih istosmjernih izvora kao podsustava fotonaponskog emulatora. Na osnovu tih rezultata može se optimizirati fotonaponski sustav prema elementima klime regije.

Abstract

For five chosen photovoltaic modules of different technology (monocrystalline Si, polycrystalline Si, high-efficient monocrystalline Si, amorphous silicon and CIS) an estimation of electricity production of photovoltaic systems power plant with peak power up to 12 kW was obtained based on the measurement of $v-i$ module characteristics for two months (April and May 2014th). The photovoltaic emulator was used for electricity production estimation, where the measurement of PV module $v-i$ characteristics have served for identification of DC programmable source input parameters as emulator subsystem. Based on this results optimization of photovoltaic system regarding climate elements of the region can be performed.

Ključne riječi: fotonaponski sustav, emulacija, različite tehnologije fotonaponskih modula, $u-i$ karakteristika.

1. Uvod

Povećana potražnja i interes za fotonaponskim sustavima proizvođačima fotonaponske opreme postavila je nove zahtjeve. Potrebno je bilo pronaći sofisticiranije načine ispitivanja fotonaponske opreme, pri čemu se to prije svega odnosilo na izmjenjivače i sustave za praćenja maksimalne snage fotonaponskog modula (MPPT). Izlazna snaga fotonaponskih modula je pod utjecajem dva faktora [1]: sunčevog zračenja (insolacije) i temperature fotonaponske ćelije, tj. fotonaponskog modula. Ispitivanja starije generacije fotonaponske, elektroničke opreme su se izvodila u realnim vremenskim uvjetima, jer su sustavi prve generacije bili manjih snaga. Međutim, ispitivanja u realnim uvjetima rada na modernim fotonaponskim sustavima od 100 kilovata (kW) i više često su teško izvediva zbog prostora, cijene i ovisnosti o vremenskim uvjetima koji postaju dominantnim faktorima u ispitivanju takve opreme. Upravo se iz ovih razloga pojavljuje potreba za korištenjem programabilnih istosmjernih izvora, koji oponašaju karakteristike fotonaponskih modula pa su zbog toga dobili naziv; emulatori fotonaponskih modula. S takvim izvorima se dalje

ispituje i razvija elektronička oprema ugrađena u fotonaponske sustave kao što su izmjenjivači i sustavi za praćenje MPPT-a. Na tržištu se trenutno nalazi nekoliko izvedbi programabilnih istosmjernih izvora koji mogu oponašati fotonaponske module, od nekoliko kW snage do čak 2000 kW. Neki od renomiranih proizvođača su Magna - Power Electronics, Energy Systems Group, Newdoll Enterprises LLC, Chroma-System. ET SYSTEM i ostali [2-4].

Nakon što su na ovaj način ispitani izmjenjivači kao i sustavi za praćenje MPPT-a stvoreni su uvjeti za sljedeću zadaću, procjenu proizvodnje električne energije nekog, odabranog fotonaponskog sustava. Elektronički sustav koji služi za procjenu proizvodnje električne energije iz fotonaponskih panela naziva se fotonaponski emulator (FN emulator). Postoji nekoliko različitih pristupa pri realizaciji FN emulatora. Jedan ide ka simulaciji, pri čemu se koristi modeliranje FN emulatora u posebnim programima kao što je npr. MATLAB [5]. Ovaj pristup karakterizira da se fizikalne veličine; struje i naponi skaliraju na iznose koji su sigurni za rukovanje i pristupačni za mjerenja [6]. Drugi pristup, koji je odabran u ovom radu, je energetska pristup pri čemu se struje i naponi neće skalirati već će se mjerenjima dobivati stvarne vrijednosti struje i napona koje su karakteristične za fotonaponske sustave odabranih snaga. Na osnovu mjerenja $u-i$ karakteristika odabranih fotonaponskih modula procijenit će se proizvodnja električne energije fotonaponskih sustava manje snage (do 12 kW) kao i s obzirom na elemente klime, a prije svega; sunčevog zračenja.

2. Fotonaponski emulator

Fotonaponski emulator se prema slici 1. sastoji od 2 programabilna istosmjerna izvora LAB/HP 101000 proizvođača ET SYSTEM, izmjenjivača Powador 12.0 TL3 INT, proizvođača KACO, ugradbenog ormarića s prekostrujnom i prenaponskom zaštitom i odgovarajuće metalne konstrukcije koja služi kao nosač opreme. Prednosti FN emulatora



Slika 1. FN emulator

pri procjeni proizvodnje električne energije fotonaponskih sustava očituju se kroz:

- a) FN emulator zahtjeva manji prostor,
- b) neovisan je o sunčevom zračenju, tj. o dobu dana,
- c) moguće je oponašati sustave različitih tehnologija modula,
- d) zaštita pri izvođenju mjerenja štiti opremu i mjeritelja.

Tehničke karakteristike ispitivanih fotonaponskih sustava:

- 1) maksimalni napon programabilnih izvora je 1000 V,
- 2) maksimalna struja programabilnih izvora je 10 A,
- 3) spoj na izmjeničnu mrežu je trofazan,
- 4) izmjenjivač ima 2 MPPT ulaza, svaki s po 2 ulaza,
- 5) maksimalna snaga sustava od 12 kW.

Dodatno, programabilni izvori imaju mogućnost rada u paralelnom i serijskom načinu rada čime se može oponašati niz fotonaponskih modula nazivne struje 20 A u paralelnom, odnosno napona od 2000 V u serijskom načinu rada. Nadalje, programabilni istosmjerni izvori imaju mogućnost rada i u tzv. master-slave opciji čime se upravljanjem jednog izvora određuju karakteristične vrijednosti i drugog izvora.

3. Postupak procjene proizvodnje fotonaponskih sustava

Procjena proizvodnje električne energije sustava snaga do 10 kW sastavljenh od fotonaponskih modula različitih tehnologija izrade obavljena je kroz nekoliko koraka prema slici 2.



Slika 2. Koraci pri procjeni proizvodnje FN sustava

Koraci procjena proizvodnje električne energije različitih fotonaponskih sustava su:

1. korak: Mjerenje $u-i$ karakteristika fotonaponskih modula odabranih tehnologija,
2. korak: Stvaranje baze podataka o karakterističnim vrijednostima $u-i$ karakteristika (sunčevo zračenje, struja kratkog spoja modula, napon otvorenog kruga modula, struja i napon modula pri proizvodnji maksimalne snage),
3. korak: Programiranje istosmjernih izvora tako da oponašaju module različitih tehnologija izrade,
4. korak: Prikupljanje podataka s izmjenjivača na izmjeničnoj strani (AC strana).

Mjerenja $u-i$ karakteristika fotonaponskih modula različitih tehnologija izrade provedena su u sklopu IPA projekta: "Fotonaponski sustavi kao pokretači regionalnog razvoja", programa Prekogranične suradnje Mađarska-Hrvatska 2007.-2013. godine. Mjerenja su provedena za mjesec travanj i svibanj, a rezultati mjerenja dostupni su na uvid u bazi podataka [7].

Korišteni su sljedeći fotonaponski moduli:

1. BISOL, BMO250, tehnologija monokristalnog silicija, snaga 250 W,
2. BISOL, BMU250, tehnologija polikristalnog silicija, snaga 250 W,
3. SOLAR FRONTIER, SF-150, CIS tehnologija, snaga 150 W,
4. MASDAR MPV100-S, tehnologija amorfno silicija, snaga 100 W,
5. PANASONIC, VBHN2450SE10, visokoučinkovita tehnologija monokristalnog silicija, snaga 245 W.

Zbog tehničkih ograničenja programabilnih izvora (naponsko i strujno ograničenje), te različitih nazivnih snaga modula za emulaciju je odabran fotonaponski sustav snage od 12 kW za svaku tehnologiju. Takav se fotonaponski sustav sastoji od 48 modula monokristalne i polikristalne tehnologije, 80 modula za CIS tehnologije, 120 modula za tankoslojnu amorfnu silicijsku tehnologiju i 50 modula za visokoučinkovitu monokristalnu tehnologiju. Moduli su spojeni u dva jednaka niza, tj. u dva stringa.

4. Emulacija odabranih fotonaponskih sustava

Opisan je postupak emuliranja fotonaponskog sustava snage 12 kW koji se sastoji od modula polikristalne tehnologije (BMU-250). Za ostale tehnologije primjenjuje se identični postupak pri čemu se koriste podaci odgovarajuće tehnologije. U bazi podataka [7] za odabrane mjesece, primijećena su dva karakteristična tipa dana:

- *oblačan dan*; gdje je sunčeva ozračenost smanjena (ispod 400 W/m²),
- *pretežno sunčan dan*, povećana sunčeva ozračenost (iznad 400 W/m²).

Kao predstavnik oblačnog dana odabran je 05.04. i za njega je preuzeto mjerenje za polikristalnu tehnologiju iz baze podataka, slika 3.

| | | |
|----------------------------|-------|----------------------|
| Tip modula | | BISOL BMU-250 |
| Površina (m ²) | 1,634 | |

| Datum | t [h] | vrijeme | θ [°C] | v [m/s] | tlak | vlažnost [%] | G [W/m ²] | I _{sc} [A] | V _{oc} [V] | P [W] | U _{MM} [V] | I _{MM} [A] | η _{modula} | η _{STC} |
|----------|-------|-------------------|--------|---------|------|--------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| 5.4.2014 | 7:23 | oblačno | 15,6 | 1,2 | 993 | 61 | 68 | 0,58 | 34,4 | 16,2 | 28,2 | 0,58 | 0,1457988 | 0,153 |
| | 8:02 | oblačno | 16,2 | 1,2 | 993 | 58 | 87 | 0,76 | 34,7 | 20,6 | 28,7 | 0,72 | 0,1449092 | 0,153 |
| | 9:30 | oblačno | 20,1 | 0,4 | 994 | 47 | 187 | 1,90 | 34,7 | 48,4 | 29 | 1,67 | 0,1583987 | 0,153 |
| | 10:01 | oblačno | 20,5 | 1,4 | 994 | 46 | 231 | 2,30 | 35,2 | 62,7 | 29,1 | 2,16 | 0,166113 | 0,153 |
| | 11:02 | oblačno, svijetlo | 22,6 | 1,2 | 995 | 42 | 321 | 3,17 | 34,4 | 71,2 | 21 | 3,34 | 0,1357447 | 0,153 |
| | 12:02 | oblačno | 23 | 0,4 | 995 | 42 | 317 | 2,97 | 34,7 | 75 | 28,7 | 2,61 | 0,1447938 | 0,153 |
| | 13:02 | oblačno, svijetlo | 23 | 0,8 | 996 | 41 | 408 | 3,94 | 34,3 | 96,8 | 27,1 | 3,53 | 0,1451988 | 0,153 |
| | 14:01 | oblačno | 22,7 | 0,6 | 996 | 41 | 200 | 1,74 | 33,8 | 43,1 | 27,4 | 1,57 | 0,1318849 | 0,153 |
| | 15:03 | oblačno, svijetlo | 23,8 | 0,8 | 996 | 39 | 337 | 3,21 | 34,1 | 80,5 | 27,5 | 2,96 | 0,1461887 | 0,153 |
| | 16:02 | oblačno | 21 | 1,4 | 996 | 44 | 240 | 2,22 | 34,9 | 58 | 28,8 | 2,02 | 0,1478988 | 0,153 |
| | 17:02 | oblačno | 21,5 | 1,4 | 997 | 44 | 300 | 3,02 | 35,5 | 81,9 | 29,4 | 2,83 | 0,1670747 | 0,153 |
| | 18:02 | oblačno | 19,4 | 0,6 | 997 | 48 | 85 | 0,80 | 34 | 20,5 | 28,6 | 0,71 | 0,1475988 | 0,153 |
| | 19:01 | oblačno | 18 | 0 | 997 | 55 | 5 | 0,05 | 29,5 | 0,9 | 24,5 | 0,04 | 0,1101591 | 0,153 |

Slika 3. Mjerni podaci *u-i* karakteristika fotonaponskog modula za kišni dan

4.1. Postupak procjene pomoću FN emulatora

Postupak procjene proizvodnje električne energije fotonaponskog sustava se provodi tako da se iz mjernih podataka odabranog dana za jedan modul, slika 3. izračunaju ukupan napon otvorenog kruga niza modula (V_{ocn}), te ukupna struja kratkog spoja niza (I_{scn}), kao i ukupni napon i struja modula pri maksimalnoj snazi (V_{MMn} i I_{MMn}). Dobivene vrijednosti unose se u programibilne izvore koji emuliraju nizove fotonaponskih ploča:

- Naponi i struje niza modula, V_{ocn} ili V_{MMn} , tj. I_{scn} ili I_{MMn} dobiju se kao:

$$V_{ocn} = n \cdot V_{oc} \text{ (V)}$$

$$I_{MMn} = m \cdot I_{MM} \text{ (A)}$$

gdje je:

n- ukupan broj modula u nizu, a

m- ukupan broj paralelnih grana s modulima u nizu.

Nakon što su ovi podaci uneseni u programibilne izvore, počinje simulacija rada odabranog fotonaponskog sustava. Podaci su unošeni u programibilne izvore svakih sat vremena što je diktirano mjerenjima *u-i* karakteristika. Nakon što je odrađen i zadnji sat emuliranja, podaci su preuzeti iz memorije izmjenjivača, pri čemu su zabilježeni: ulazni podaci (struja, napon, i snaga niza); U_{dcn} , I_{dcn} , P_{dcn} , naponi triju faza; U_{acn} , struja svake faze; I_{acn} , ukupna istosmjerna snaga; P_{dc} , te proizvedena ukupna snaga; P_{ac} u intervalima od 15 minuta (podešeno na izmjenjivaču), slika 4.

| # | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|----|------------|-------------|-----------|------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|-----------|
| 1 | Inverter t | Serial num | RS485 add | IP address | Yield[kWh] | | | | | | | | | | | |
| 2 | Powador | :12.0TL013: | 1 | 0.0.0.0 | 23,11 | | | | | | | | | | | |
| 3 | Time | Udc1[V] | Idc1[A] | Pdc1[W] | Udc2[V] | Idc2[A] | Pdc2[W] | Uac1[V] | Iac1[A] | Uac2[V] | Iac2[A] | Uac3[V] | Iac3[A] | Pdc[W] | Pac[W] | Tsyst[°C] |
| 4 | 6:55:06 | 404,1 | 0,06 | 24 | 436,9 | 0,14 | 65 | 237,2 | 0,8 | 236,6 | 0,82 | 236 | 0,8 | 90 | 88 | 33,9 |
| 5 | 7:10:21 | 403,8 | 0,05 | 22 | 435,4 | 0,15 | 67 | 236,2 | 0,8 | 236,7 | 0,82 | 235,3 | 0,81 | 89 | 88 | 35,3 |
| 6 | 7:25:36 | 403,5 | 0,22 | 91 | 400,9 | 0,32 | 129 | 235,7 | 0,86 | 235,8 | 0,87 | 235,4 | 0,85 | 220 | 215 | 36,4 |
| 7 | 7:40:50 | 403,6 | 0,33 | 134 | 387,6 | 0,43 | 166 | 235,3 | 0,89 | 235,4 | 0,91 | 235,2 | 0,89 | 301 | 296 | 37,2 |
| 8 | 7:56:05 | 403,6 | 0,32 | 133 | 387,7 | 0,43 | 166 | 234,8 | 0,89 | 234,8 | 0,9 | 234,7 | 0,89 | 299 | 296 | 37,8 |
| 9 | 8:11:19 | 403,6 | 0,33 | 134 | 387,2 | 0,43 | 166 | 235,4 | 0,89 | 234,1 | 0,9 | 233,9 | 0,89 | 300 | 296 | 38,3 |
| 10 | 8:26:34 | 401,1 | 0,32 | 128 | 388,7 | 0,4 | 158 | 236,9 | 0,88 | 231,1 | 0,9 | 235 | 0,89 | 287 | 280 | 38,7 |
| 11 | 8:41:48 | 492,1 | 1,65 | 812 | 499,1 | 1,76 | 880 | 235,5 | 2,34 | 231,3 | 2,39 | 235,4 | 2,34 | 1695 | 1661 | 39,2 |
| 12 | 8:57:03 | 502,5 | 1,68 | 845 | 521,7 | 1,79 | 934 | 236,4 | 2,47 | 231,6 | 2,52 | 235,5 | 2,48 | 1780 | 1759 | 39,9 |
| 13 | 9:12:17 | 501,9 | 1,69 | 848 | 520 | 1,8 | 937 | 236,7 | 2,48 | 231,7 | 2,53 | 234,3 | 2,5 | 1788 | 1763 | 40,6 |
| 14 | 9:27:32 | 497 | 1,22 | 606 | 526,6 | 1,29 | 681 | 236 | 1,78 | 231,9 | 1,81 | 234,3 | 1,79 | 1289 | 1264 | 41,2 |
| 15 | 9:42:46 | 492,7 | 1,13 | 557 | 514,3 | 1,3 | 671 | 236,8 | 1,9 | 232,2 | 1,91 | 235,1 | 1,9 | 1229 | 1216 | 41,5 |
| 16 | 9:58:01 | 491,9 | 1,15 | 570 | 512,6 | 1,28 | 657 | 237,6 | 1,69 | 232,4 | 1,73 | 235,5 | 1,71 | 1229 | 1213 | 41,8 |
| 17 | 10:13:15 | 492,3 | 1,13 | 558 | 514,6 | 1,3 | 673 | 238,6 | 1,91 | 232,8 | 1,91 | 233,7 | 1,89 | 1232 | 1219 | 42,1 |
| 18 | 10:28:30 | 536,4 | 1,68 | 903 | 546,2 | 1,85 | 1013 | 237,4 | 2,65 | 233,3 | 2,7 | 234,6 | 2,68 | 1918 | 1893 | 42,4 |
| 19 | 10:43:44 | 590,6 | 2,26 | 1339 | 602,4 | 2,5 | 1509 | 236,8 | 3,95 | 232,1 | 4,03 | 234,1 | 4 | 2850 | 2813 | 43 |
| 20 | 10:58:59 | 591,4 | 2,26 | 1339 | 602,9 | 2,5 | 1508 | 237,3 | 3,95 | 231,6 | 4,04 | 234,5 | 4 | 2851 | 2816 | 43,7 |

Slika 4. Očitani podaci emulacije s izmjenjivača

Na temelju dobivenih podataka određuje se ukupna proizvedena električna energija FN sustava za taj dan, ali se također može odrediti stupanj djelovanja procesa pretvorbe izmjenjivača η kao:

$$\eta = \frac{P_{ac}}{P_{dc}}$$

Stupanj djelovanja izmjenjivača prosječno iznosi 98,4% i koristi se za analitički izračun procjene proizvedene električne energije fotonaponskog sustava.

4.2. Analitički postupak procjene na osnovu mjerenja $u-i$ karakteristika

U analitičkom postupku procjene proizvodnje električne energije fotonaponskog sustava, sve vrijednosti koje je izmjenjivač pohranjivao u svojoj memoriji i koje su se kasnije očitavale u prethodnom postupku, moraju se izračunati iz mjernih podataka $u-i$ karakteristika odabranog fotonaponskog modula. Osim napona i struja koje su se unosile u programibilne istosmjerne izvore i koji su prethodno izračunati (V_{ocn} , V_{MMn} , I_{scn} , I_{MMn} , te η dodatno se trebaju izračunati:

- Istosmjerna snaga odabranog fotonaponskog sustava (P_{DC}):

$$P_{DC} = V_{MMn} \cdot I_{MMn} \cdot Z \quad (W)$$

gdje je: Z - broj stringova.

- Izmjenična snaga (P_{AC})

$$P_{AC} = P_{DC} \cdot \eta \quad (W)$$

- Ukupna proizvedena električna energija (W)

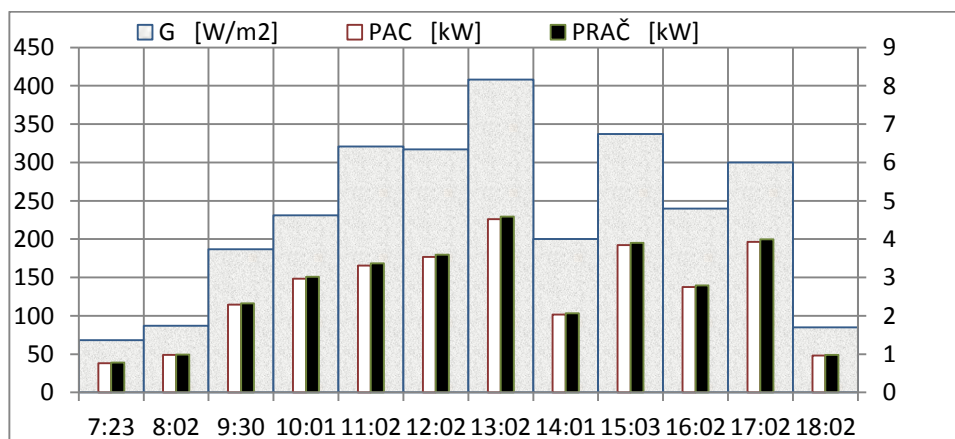
$$W = \frac{P_{ac}}{1000} \cdot t \quad (kWh)$$

gdje je: t – vremenski interval između 2 mjerenja.

| BISOL BMU-250 (05.04.14.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|---------|---------------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------------|--------|--------|------------------|------------------|----------------------|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|------------------|--|
| DOBIVENE VRIJEDNOSTI | | | | | | | | IZRAČUNATE VRIJEDNOSTI | | | | | | | | | | | | | |
| A | t _{očr} | Vrijeme | G | U ₀ | I _{KS} | U _{MPP} | I _{MPP} | Paneli | Br.par | String | U _{STR} | I _{STR} | U _{MPP,STR} | I _{MPP,STR} | P _{RAC} | P _{DC} | P _{AC} | η | W | η _{MOD} | |
| [m] | [h] | | [W/m ²] | [V] | [A] | [V] | [A] | [n] | [n] | [z] | [V] | [A] | [V] | [A] | [kW] | [kW] | [kW] | | [kW] | | |
| 1,63 | 7:23 | oblačno | 68 | 34,4 | 0,58 | 28,2 | 0,575 | 24 | 1 | 2 | 825,6 | 0,58 | 676,8 | 0,575 | 0,778 | 0,778 | 0,766 | 0,984 | 0,498 | 14,59 | |
| 1,63 | 8:02 | oblačno | 87 | 34,7 | 0,759 | 28,7 | 0,72 | 24 | 1 | 2 | 832,8 | 0,759 | 688,8 | 0,72 | 0,992 | 0,992 | 0,976 | 0,984 | 1,432 | 14,53 | |
| 1,63 | 9:30 | oblačno | 187 | 34,7 | 1,9 | 29 | 1,67 | 24 | 1 | 2 | 832,8 | 1,9 | 696 | 1,67 | 2,325 | 2,325 | 2,288 | 0,984 | 1,182 | 15,85 | |
| 1,63 | 10:01 | oblačno | 231 | 35,2 | 2,3 | 29,1 | 2,16 | 24 | 1 | 2 | 844,8 | 2,3 | 698,4 | 2,16 | 3,017 | 3,017 | 2,97 | 0,984 | 3,019 | 16,65 | |
| 1,63 | 11:02 | obl/svi | 321 | 34,4 | 3,171 | 21 | 3,34 | 24 | 1 | 2 | 825,6 | 3,171 | 504 | 3,34 | 3,367 | 3,367 | 3,314 | 0,984 | 3,314 | 13,37 | |
| 1,63 | 12:02 | oblačno | 317 | 34,7 | 2,965 | 28,7 | 2,61 | 24 | 1 | 2 | 832,8 | 2,965 | 688,8 | 2,61 | 3,596 | 3,596 | 3,539 | 0,984 | 3,539 | 14,46 | |
| 1,63 | 13:02 | obl/svi | 408 | 34,3 | 3,94 | 27,1 | 3,53 | 24 | 1 | 2 | 823,2 | 3,94 | 650,4 | 3,53 | 4,592 | 4,592 | 4,52 | 0,984 | 4,444 | 14,35 | |
| 1,63 | 14:01 | oblačno | 200 | 33,8 | 1,738 | 27,4 | 1,571 | 24 | 1 | 2 | 811,2 | 1,738 | 657,6 | 1,571 | 2,066 | 2,066 | 2,034 | 0,984 | 2,102 | 13,17 | |
| 1,63 | 15:03 | obl/svi | 337 | 34,1 | 3,21 | 27,5 | 2,96 | 24 | 1 | 2 | 818,4 | 3,21 | 660 | 2,96 | 3,907 | 3,907 | 3,846 | 0,984 | 3,782 | 14,78 | |
| 1,63 | 16:02 | oblačno | 240 | 34,9 | 2,219 | 28,8 | 2,02 | 24 | 1 | 2 | 837,6 | 2,219 | 691,2 | 2,02 | 2,792 | 2,792 | 2,749 | 0,984 | 2,749 | 14,83 | |
| 1,63 | 17:02 | oblačno | 300 | 35,5 | 3,02 | 29,4 | 2,83 | 24 | 1 | 2 | 852 | 3,02 | 705,6 | 2,83 | 3,994 | 3,994 | 3,931 | 0,984 | 3,931 | 16,97 | |
| 1,63 | 18:02 | oblačno | 85 | 34 | 0,801 | 28,6 | 0,714 | 24 | 1 | 2 | 816 | 0,801 | 686,4 | 0,714 | 0,98 | 0,98 | 0,965 | 0,984 | 0,949 | 14,7 | |
| 19:01 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Total | | | | | | | | | | | | | | | 32,41 | 32,41 | 31,9 | | 30,94 | 14,86 | |

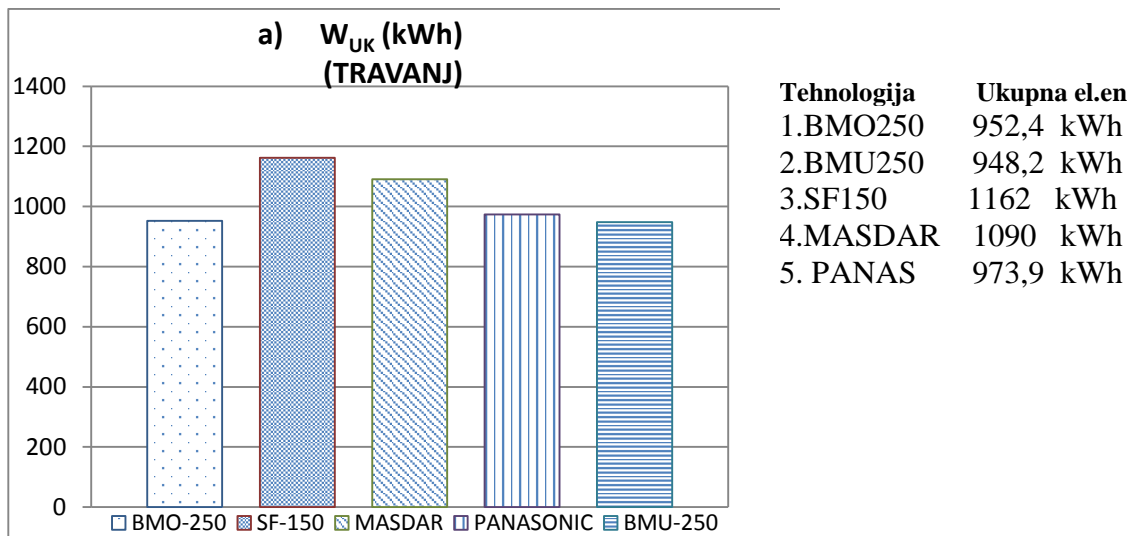
Slika 5. Izračunate vrijednosti analitičkim postupkom

Kada se analitičkim postupkom dobivene vrijednost izmjenične snage iz odabranog fotonaponskog sustava usporede s emuliranima po satima dobiva se prosječno odstupanje od 3% što je tehnički prihvatljivo pa će se daljnja procjena proizvodnje za fotonaponske sustave različitih tehnologija modula provoditi analitički. Usporedba očitanih snage s izmjenjivača (P_{AC}) i analitički izračunatih snaga s obzirom na izmjerene *u-i* karakteristike fotonaponskog modula (P_{RAC}) prikazana je na slici 6.

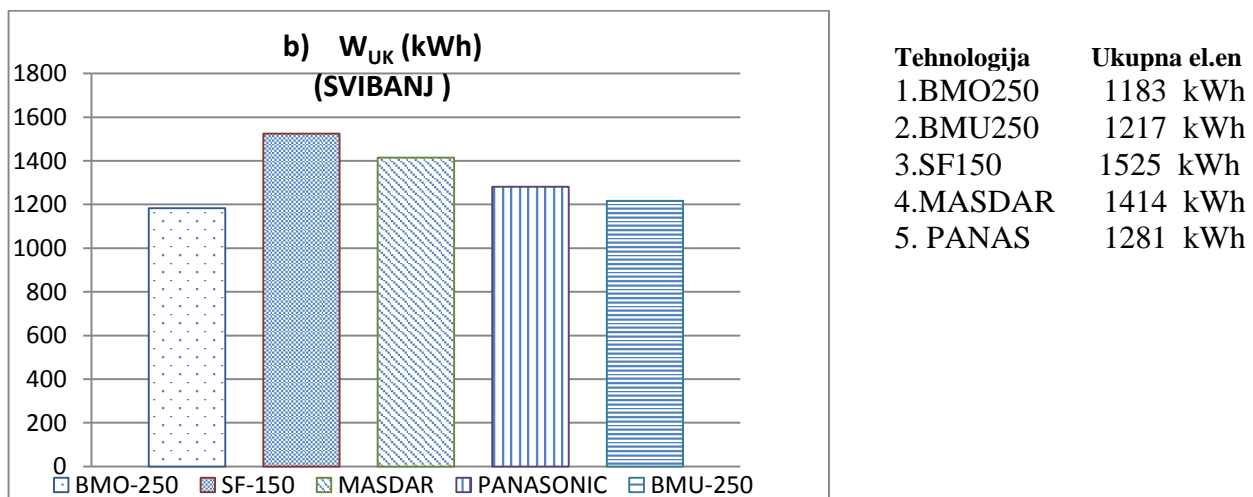


Slika 6. Stupčasti dnevni dijagram snage i sunčevog zračenja, (05.04.) za modul BMU250

Kada se opisani postupak ponovi za sve dane u mjesecu, kao i za različite fotonaponske sustave s obzirom na različite tehnologije izrade fotonaponskih modula dobije se ukupna procijenjena proizvodnja električne energije fotonaponskih sustava kako za mjesec travanj 2014. godine tako i za mjesec svibanj 2014. godine, slika 7. i 8.



Slika 7. Ukupna proizvedena električna energija fotonaponskih sustava za travanj



Slika 8. Ukupna proizvedena električna energija fotonaponskih sustava za svibanj

4.3. Komentar dobivenih rezultata

Uspoređivanjem dobivene procjene proizvodnje različitih fotonaponskih sustava na osnovu mjerenja *u-i* karakteristika jednog modula uočava se sljedeće:

- Proizvedena električna energija različitih fotonaponskih sustava veća je za oko 22% u mjesecu svibnju u odnosu na mjesec travanj što je i bilo za očekivati s obzirom na mjesečne prosjeke sunčeve ozračenosti za područje regije.
- Najveću proizvodnju električne energije pri vremenskim uvjetima u travnju i svibnju imali su fotonaponski sustavi s modulima tzv. tankoslojnih tehnologija (amorfni silicij i CIS). Za navedene mjesece fotonaponski sustav s modulima CIS tehnologije bilježi oko 15-18% veću proizvodnju od fotonaponskih sustava polikristalne i monokristalne tehnologije koji su zbog svoje povoljne cijene po watu snage inače moduli najčešće primjenjivanih tehnologija pri instaliranju malih (do 10 kW) integriranih fotonaponskih sustava.

Dobiveni rezultati predstavljaju samo dio podataka potrebnih pri optimiziranju fotonaponskog sustava za elemente klime regije, međutim za odabir optimalnog fotonaponskog sustava osim tehničkog kriterija (proizvedena električna energija sustava) u obzir treba uzeti i druge kriterije; ekonomski kriterij odnosno analizu isplativosti izgradnje, pogona, održavanja i dekomisije tijekom životnog vijeka fotonaponskog sustava u ovisnosti o tarifnim sustavima poticaja odnosno prodajnoj cijeni električne energije i ekološki kriterij vezan uz zbrinjavanje fotonaponskog otpada i neizravne emisije stakleničkih plinova prilikom proizvodnje samih modula i izgradnje i iskorištavanja sustava.

Također, treba uzeti u razmatranje i površinu koju zauzimaju moduli neintegriranih fotonaponskih sustava malih snaga jer se obično takvi sustavi instaliraju na krovove stambenih objekata.

5. Zaključak

S pomoću fotonaponskog emulatora moguće je procijeniti proizvodnju različitih fotonaponskih sustava pod uvjetom da postoji unaprijed pripremljena baza podataka $u-i$ karakteristika fotonaponskih modula od kojih se fotonaponski sustav sastoji. Baza podataka i procjena proizvedene električne energije različitih fotonaponskih sustava samo su jedan od kriterija za određivanje optimalnog fotonaponskog sustava s obzirom na elemente klime regije.

Mjerenja za dva mjeseca svakako nisu dovoljna da bi nedvojbeno izdvojila jednu tehnologiju izrade fotonaponskih modula, no mjerenja za dva, uglavnom kišna mjeseca, pokazala su da je pri uočenim vremenskim uvjetima veća proizvodnja električne energije iz fotonaponskih sustava izvedenih s modulima tankoslojnih tehnologija. Procijenjena je veća proizvodnja tankoslojnih tehnologija za odabrane mjesece od oko 15-20%.

6. Literatura

- [1] J.S.Kumari, Ch.S.Babu: Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell using Matlab-Simulink Environment. – *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. 1. pp. 26–34, 2012.
- [2] Magna-Power; Programmable DC Power Supplies; <http://www.magna-power.com/products>, pristup adresi 02.08.2014:
- [3] Chroma- System; Solar-Photovoltaic Array Analysis; <http://www.chromausa.com/applications/solar.php>, pristup adresi 02.08.2014:
- [4] ET-System; DC Sources; „PV Simulator option“: Technical Handbook; <http://www.et-system.de/en/applications/dc-sources.html>, pristup adresi 02.08.2014.
- [5] Hayrettin Can: „Model of a photovoltaic panel emulator in MATLAB-Simulink“; *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, doi:10.3906/elk-1105-29, pp.301-308, 2013.
- [6] David L. King, William E. Boyson and al, “Application and Validation of a New PV Performance Characterization Method”, 26th *IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 8-13th. May, Sweden, Volume 11, page 2930-2937, 2011.
- [7] Fotonaponski sustavi kao pokretači regionalnog razvoja; Baza podataka mjerenja: <http://www.regphosys.eu/hr/node/90/1910>, pristup adresi 02.08.2014

Analiza korozijskih oštećenja čeličnih plinovoda u agresivnom mediju

Analysis of corrosion damage of steel pipelines in aggressive medium

S. Aračić^{1,*}, I. Samardžić¹, M. Dunder²

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

²Odjel za politehniku, Filozofski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Hrvatska

Sažetak

U ovom radu su prikazana korozijska svojstva dobivena postupkom zavarivanja pri montaži cjevovoda i mjerno-regulacijske opreme. Uzorci su dobiveni zavarivanjem dva različita čelika i korozijski ispitani u dostavnom, normaliziranom i toplinski obrađenom stanju. Korozijska svojstva uzoraka ispitana su u 3% NaCl i vlažnoj atmosferi, a određena su vizualnom metodom, gravimetrijskom metodom i metalografskom analizom. Dobiveni rezultati ukazali su na potencijalno loše konstrukcijsko rješenje te nastanak povoljnih uvjeta za stvaranje korozijskih oštećenja.

Ključne riječi: korozija, čelici, zavarivanje, ispitivanje korozije

Abstract

The article shows corrosion properties given by welding during the assembly of pipeline and control-regulation equipment. The specimens have been given through welding process of two different type of steels and afterward have been investigated in delivered, normalised and heat treatment state.

Specimens corrosion properties have been tested in 3% sodium chloride (NaCl) and moisture atmosphere and afterward have been inspected by visual method, gravity method and metallographic analysis. Given results, indicate that construction is potentially poorly made and convenient for corrosion.

Keywords: corrosion, steel, welding, corrosion investigation

1. Uvod

Moderna tehnologija spajanja cjevovoda i montaža mjerno regulacijske opreme zahtjeva poznavanje funkcionalnost opreme, poznavanje materijala i tehnologije zavarivanja. Narušavanje funkcionalnosti opreme je kompleksan problem razumijevanja uzroka i mehanizma korozijsko djelovanja. Laboratorijskim i industrijskim Ispitivanjima mehanizma korozije procjenjuje se, planiraju i provode odgovarajuće zaštitne mjere. [1]

Koroziju nije moguće u potpunosti zaustaviti a u otežanim korozijskim uvjetima niti svesti na željenu razinu. Procjena rizika od korozije je jedna od najvažnijih zadaća pri izboru materijala i tehnologije montaže. Cilj je smanjiti rizik od incidenta i produžiti vijek trajanja cjevovoda uz optimalne troškove održavanja, inspekcije i monitoringa korozije. [2,3]

Korozivno postojani čelici obuhvaćaju širok raspon legura nudeći velike mogućnosti primjene. Međutim korozivno postojani ne znači da ti materijali imaju apsolutnu zaštitu od korozivnih oštećenja. Upravo suprotno, u određenim uvjetima oni postaju vrlo sklone posebno lokalnim korozivnim oštećenjima. [3, 4]

Korozivni procesi su poticani ili uvjetovani različitim pokretačkim silama, kao što su kloridi u vodenom mediju u kombinaciji sa naprezanjima, napetosnom korozijom i korozijom u procijepu. [2, 3]

provedena su ispitivanja zavarenih raznorodnih materijala S235JR i X6CrNiMoTi 17-12-2 koji su prethodno različito toplinski obrađeni. Cilj ovih ispitivanja je utvrđivanje uzroka i brzine korozije i utvrđivanje preostalog vijeka uporabe.

2. Eksperimentalni dio

U eksperimentalnom dijelu ispitan je utjecaj agresivnoga medija na uzorke. Uzorci su u dostavnom stanju zavareni i različito toplinski obrađeni. Upotrijebljeni materijali su:

- opći konstrukcijski (ugljični) čelik- S235JR i
- austenitni nehrđajući čelik X6CrNiMoTi 17-12-2

Ispitivanja su provedena u slanoj komori s destiliranom vodom u oba spremnika. Uzorci su podvrgnuti i nerazornim metodama ispitivanja vizualnim pregledom, mjerenjem težine i debljine materijala, te metalografskom ispitivanju prije i poslije te razorne metode ispitivanja.

2.1 Tehnički podatci o materijalima

S235JR (Broj:1.0038,Standard: EN 10025 2 : 2004,Klasifikacija: Opći konstrukcijski čelik)

Tablica 1. Kemijski sastav materijala S235JR [%]

| C | Mn | P | S | N | Cu | CEV |
|----------|---------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| max 0.17 | max 1.4 | max 0.04 | max 0.04 | max 0.012 | max 0.55 | max 0.35 |

Svojstva materijala:

Ovaj čelik je pogodan za zavarivanje. [1]. Također je prikladan i za hladno provlačenje i profilirano valjanje.

X6CrNiMoTi 17-12-2, Broj:1.4571 (Klasifikacija: Austenitni nehrđajući čelik)

Tablica 2. Kemijski sastav materijala X6CrNiMoTi 17-12-2 [%]

| C | Si | Mn | Ni | P | S | Cr | Mo | Ti |
|----------|-------|-------|-------------|-----------|-----------|-------------|---------|---------|
| max 0.08 | max 1 | max 2 | 10.5 – 13.5 | max 0.045 | max 0.015 | 16.5 – 18.5 | 2 – 2.5 | max 0.7 |

Svojstva materijala:

Ovaj materijal je otporan na interkristalnu koroziju i u dostavnom stanju i u reguliranom / senzibiliziranom / stanju. Ne bi se trebao koristiti na temperaturama nižim od – 196°C. [1] Uz dodatke sumpora pokazuje bolja svojstva pri rezanju. Pogodan je za zavarivanje svim postupcima (osim plinskoga zavarivanja).

2.2. Uzorci u dostavnom stanju

Uzorci brojčano označeni kao uzorci 1, 2 i 3 su u dostavnom stanju već bili zavareni toplinski obrađeni i na njima je bilo obavljeno metalografsko snimanje. Ovim će se poglavljem obraditi povijest izvedenih pokusa na uzorcima.

2.3. Zavarivanje

Materijali S235JR i X6CrNiMoTi 17-12-2, debljine 8 mm su zavareni MAG postupkom. MAG zavarivanje je izvršeno pod zaštitnim plinom mješavine 18% ugljičnoga dioksida (CO₂) i 82% argona (Ar) (M21 prema ISO 14175, $f = 15$ l/min) sa austenitno – feritnom žicom za zavarivanje elektrodom W / G 23 12 L Si (DIN EN ISO 12072) promjera Ø 1 mm i sa dodavanjem keramičkih pločica na korijenu zavora.[2]

2.4. Toplinska obrada

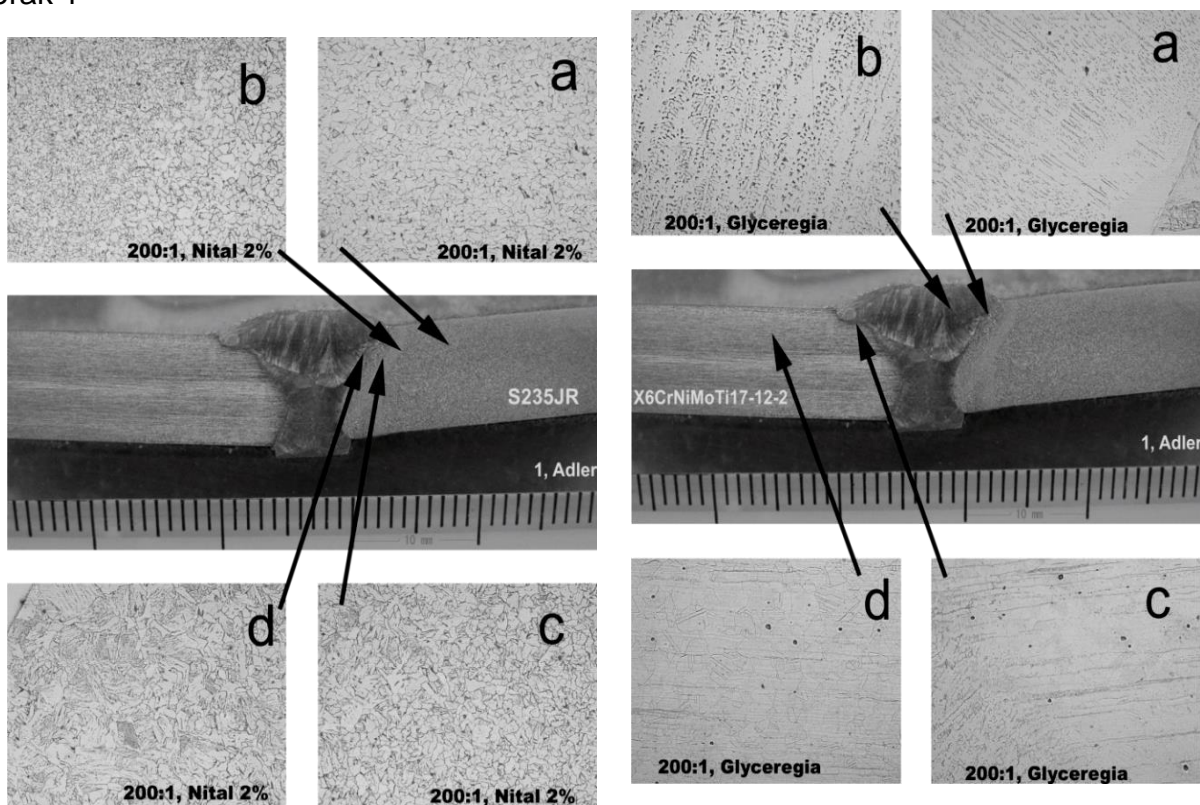
Toplinske obrade uzoraka obavile su se u peći NABERTHERM koja se vidi na slici 2.1, koja ima sljedeće karakteristike:

Nakon MAG zavarivanja uzorci su obrađeni:

- uzorak 1: nije toplinski obrađen.
- uzorak 2: uzorak je zagrijan na 900 °C na 15 minuta, te ohlađen na zraku
- uzorak 3: uzorak je zagrijan na temperaturu 900 °C na 15 minuta, ohlađen u peći na 400 °C, te onda ohlađen na zraku. [2]

2.5. Metalografske snimke uzoraka

Uzorak 1



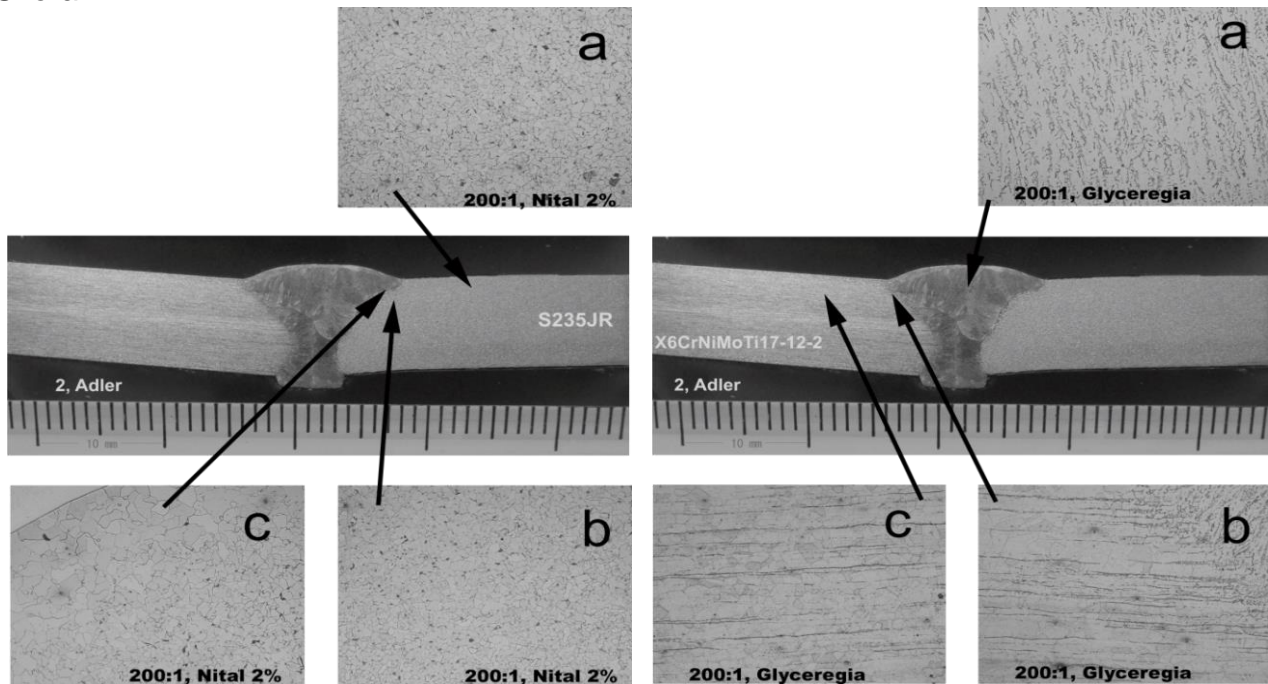
Slika 1. Metalografska slika strukture materijala X6CrNiMoTi 17-12-2 nije toplinski obrađen Povećanje:200:1, nagrizanje Nital 2%

Slika 2. Metalografska slika strukture materijala S235JR nije toplinski obrađen Povećanje:200:1 Nagrizanje Glyceregija

Uzorak 1 nije toplinski obrađen nakon zavarivanja MAG postupkom.
Iz slike 1 metalografske strukture može se vidjeti da je struktura materijala S235JR feritno - perlitnoga tipa.

Iz slike 2 metalografske strukture materijala X6CrNiMoTi 17-12-2 se vidi da je struktura materijala karakterističnoga austenitnoga tipa sa prisutnošću karbida unutar strukture, određena za ovaj tip korozijski otpornih krom - nikl čeličnih legura.[2]

Uzorak 2



Slika 3. Metalografska slika strukture materijala S235JR (toplinski obrađen) Povećanje: 200:1 Nagrizanje: Nital 2%

Slika 4. Metalografska slika strukture, materijala X6CrNiMoTi 17-12-2 (toplinski obrađen) Povećanje: 200:1] Nagrizanje : Glycergia [2]

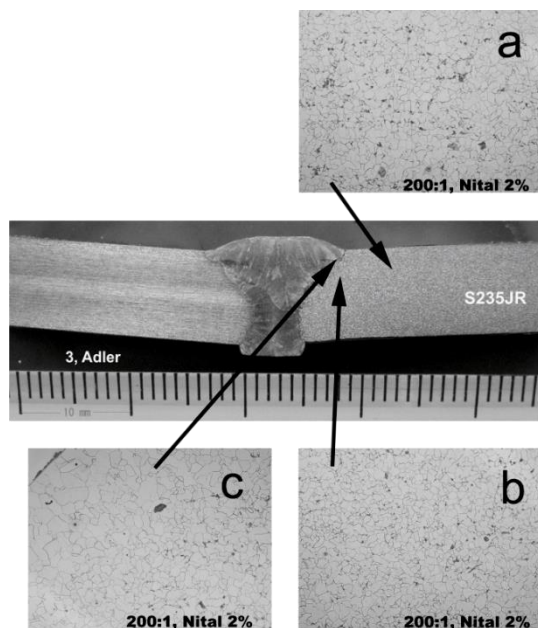
Uzorak 2 je nakon zavarivanja MAG postupkom toplinski obrađen (normaliziran) na temperaturi 900 °C na 15 minuta te ohlađen na zraku.

Iz slike 3 se vidi da je materijal S235JR doživio malu promjenu u zoni utjecaja topline. Sami materijal još uvijek ima strukturu feritno – perlitnog tipa uz ogрубjela zrna u blizini zvara.

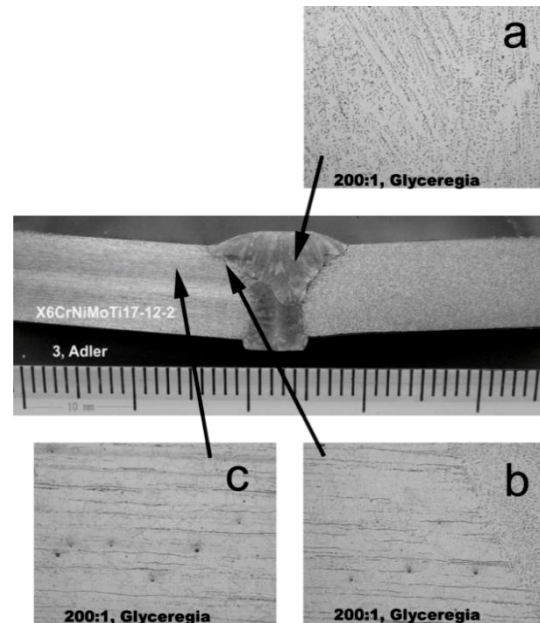
Iz slike 4 vidljivo je da se struktura materijala X6CrNiMoTi 17-12-2 nije promjenila i da je još uvijek austenitnog tipa.[2]

Uzorak 3 je nakon zavarivanja MAG postupkom toplinski obrađen- normaliziran na temperaturi 900 °C na 15 minuta, hlađen u peći do temperature 400 °C, te onda ohlađen na zraku.

Uzorak 3



Slika 5. Metalografska slika strukture materijala S235JR (toplinski obrađen) Povećanje: 200:1 Nagrizanje: Nital 2% [2]



Slika 6. Metalografska slika strukture materijala X6CrNiMoTi 17-12-2 (toplinski obrađen) Povećanje: 200:1 Nagrizanje: Glyceregia [2]

Uzorak je priređen za snimanje brušenjem, poliranjem te odmašćivanjem.

Iz slike 5 se vidi da je materijal S235JR i ovoga uzorka koji je toplinski obrađen još uvijek feritno – perlitnog tipa strukture uz ogrubjelost zrna blizu zavara.

Iz slike 6 je vidljivo da se struktura materijala X6CrNiMoTi 17-12-2 nije promijenila u odnosu na materijal X6CrNiMoTi 17-12-2 uzorka 1, te je još uvijek austenitnoga tipa sa prisutnošću karbida. [2]

2.6. Ispitivanje korozijske postojanosti u vlažnoj komori

Laboratorijsko ispitivanje korozijske postojanosti zavarenih raznorodnih čelika S235JR i X6CrNiMoTi 17-12-2 izvodilo se u komori SC 450. Vrijeme ispitivanja materijala u vlažnim komorama tretiranje uzoraka je trajalo 120 sati. Temperatura u komori bila je konstantna na 40 °C, a vlažnost 100%.

2.7. Vizualni pregled



Slika 7. Uzorci 1, 2 i 3 zavarenih S235JR i X6CrNiMoTi 17-12-2 čelika prije stavljanja u vlažnu komoru

Nakon 48 sati uzorci su izvađeni iz vlažne komore. Nakon vizualnoga pregleda i slikanja (slike 8 i 9) očišćeni su od korozivnih produkata mekanom četkom, izvagani, odmašćeni otopinom 80%-noga alkohola, osušeni i ponovo vraćeni u vlažnu komoru.



Slika 8. Uzorci 1, 2 i 3 zavarenih S235JR i X6CrNiMoTi 17-12-2 čelika nakon 48 sati, pogled A



Slika 9. Uzorci 1, 2 i 3 zavarenih S235JR, X6CrNiMoTi 17-12-2 čelika nakon 48 sati, pogled B

Nakon 120 sati uzorci su izvađeni iz vlažne komore te su osušeni. Nakon sušenja slikani su rezultati izlaganja uzoraka korozivnoj atmosferi bez uklanjanja korozivnih produkata (slike 10 i 11).



Slika 10. Uzorci 1, 2 i 3 zavarenih S235JR iX6CrNiMoTi 17-12-2 čelika nakon 120 sati, pogled A



Slika 11. Uzorci 1, 2 i 3 zavarenih S235JR iX6CrNiMoTi 17-12-2 čelika nakon 120 sati, pogled B

2.8. Mjerenje debljine materijala

Mjerenje debljine materijala izvršeno je radi utvrđivanja promjene dimenzija zbog korozijskoga utjecaja. Mjerenje debljine obavljeno je mikrometrom PROMAT na prethodno pripremljenom uzorku. Prvo mjerenje je mjerenje materijala u dostavnom stanju, dok je drugo mjerenje obavljeno nakon izlaganja materijala uvjetima vlažne komore. Izmjerene vrijednosti materijala S235JR i X6CrNiMoTi 17-12-2 mogu se vidjeti u tablici 3.

Tablica 3. Izmjerene vrijednosti debljine uzoraka

| Broj uzorka | 1. mjerenje, mm | | 2. mjerenje, mm | |
|-------------|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | materijal | | materijal | |
| | X6CrNiMoTi 17-12-2 | S235JR | X6CrNiMoTi 17-12-2 | S235JR |
| 1. | 7,99 | 7,95 | 7,99 | 7,92 |
| 2. | 7,94 | 7,90 | 7,93 | 7,88 |
| 3. | 7,93 | 7,91 | 7,92 | 7,89 |

2.9. Mjerenje prosječne brzine korozije uzoraka

Vaganje uzoraka prije izlaganja agresivnoj sredini i nakon izlaganja i uklanjanja korozijskih produkata izvršeno je radi utvrđivanja prosječne brzine korozije. Vaganje je obavljeno preciznom vagom SCALTEC SPB 32 na prethodno pripremljenom uzorku.

Prvo mjerenje je mjerenje uzoraka u dostavnom stanju. Drugo mjerenje je obavljeno nakon vađenja uzoraka iz vlažne komore i njihovoga sušenja, a treće mjerenje je obavljeno nakon mehaničke predobrade uzoraka i odmaščivanja.

Izmjerene vrijednosti uzoraka mogu se vidjeti u tablici 4.

Tablica 4. Izmjerene vrijednosti težine uzoraka

| Broj uzorka | 1. mjerenje, mg | 2. mjerenje, mg | 3. mjerenje, mg |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. | 55,9753 | 55,9320 | 55,9054 |
| 2. | 46,3342 | 46,2911 | 46,2610 |
| 3. | 44,3863 | 44,3319 | 44,3009 |

2.10. Metalografsko ispitivanje uzoraka

Metalografska ispitivanja materijala su provedena u tri koraka:

- pripremom uzoraka
- snimanjem struktura oba materijala svih uzoraka mikroskopom Leitz
- analizom struktura oba materijala svih uzoraka.

2.10.1 Metalografske snimke uzoraka



Slika 12. Mikrostruktura uzorka 1, čelika S235 JR nakon ispitivanja u vlažnoj komori
Povećanje: 200:1, Nagrizanje: Glycergia
Struktura: feritno- perlitna



Slika 13. Mikrostruktura uzorka 1, čelika X6CrNiMoTi 17-12-2 nakon ispitivanja u vlažnoj komori
Povećanje: 200:1, nagrizanje: Glycergia
Struktura: austenitna sa prisutnošću karbida



Slika 14. Mikrostruktura uzorka 2, čelika S235 JR nakon ispitivanja u vlažnoj komori
Povećanje: 200:1, Nagrizanje: Glycergia
Struktura: feritno- perlitna



Slika 15. Mikrostruktura uzorka 2, čelika X6CrNiMoTi 17-12-2 nakon ispitivanja u vlažnoj komori
Povećanje: 200:1, nagrizanje: Glycergia
Struktura: austenitna sa prisutnošću karbida



Slika 16. Mikrostruktura uzorka 3, čelika S235 JR nakon ispitivanja u vlažnoj komori
Povećanje: 200:1, Nagrizanje: Glycergia
Struktura: feritno- perlitna



Slika 17. Mikrostruktura uzorka 3, čelika X6CrNiMoTi 17-12-2 nakon ispitivanja u vlažnoj komori,
Povećanje: 200:1, nagrizanje: Glycergia
Struktura: austenitna sa prisutnošću karbida

2.11. Analiza rezultata ispitivanja

2.11.1 Vizualni pregled:

a) nakon 48 sati :

Uzorak 1: na materijalu S235JR se pojavila korozija na oko 40% površine, a na materijalu X6CrNiMoTi 17-12-2 joj nema vidljivih tragova. Zavar materijala je korozijski postojan.

Uzorak 2: na materijalu S235JR se pojavila korozija koja pokriva oko 90% uzorka, dok se na materijalu X6CrNiMoTi 17-12-2 pojavila u na oko 30% površine. Korijen zavara je postojan, dok je na površinu zavara djelovala korozija.

Uzorak 3: na materijalu S235JR korozija se javlja jednoliko po cijeloj površini materijala, dok se na materijalu X6CrNiMoTi 17-12-2 javila na oko 60% površine. Na korijen zavara je utjecala korozija, dok je površina zavara ostala korozijski postojana.

b) nakon 120 sati

Uzorak 1: na materijalu S235JR korozija se proširila na oko 70% površine, a na materijalu X6CrNiMoTi 17-12-2 joj nema vidljivih tragova. Zavar je u maloj mjeri nagrižen korozijom i to na strani materijala S235JR.

Uzorak 2: na materijalu S235JR korozija pokriva cijelu površinu materijala, dok se na materijalu X6CrNiMoTi 17-12-2 nije dalje širila. Korijen zavara je još uvijek postojan, a na površini zavara se nije dalje širila.

Uzorak 3: na materijalu S235JR korozija se javlja jednoliko po cijeloj površini materijala, dok se na materijalu X6CrNiMoTi 17-12-2 javila na oko 70% površine. Na korijen zavara je utjecala korozija, dok je površina zavara ostala korozijski postojana, osim mjesta spoja čelika sa zavaram.

2.11.2 Mjerenje debljine materijala

Uzorak 1: materijal X6CrNiMoTi 17-12-2 nije izgubio na debljini, dok je materijal S235JR koji nije korozijski postojan izgubio 0,03 mm

Uzorak 2: materijal X6CrNiMoTi 17-12-2 je izgubio 0,01 mm, a materijal S235JR 0,02 mm

Uzorak 3: materijal X6CrNiMoTi 17-12-2 je izgubio 0,01 mm, a materijal S235JR je izgubio 0,02 mm.

2.11.3 Mjerenje prosječne brzine korozije uzoraka

Sva tri uzorka izgubila su na masi nakon izlaganja uvjetima vlažne komore.

Uzorak 1: izgubio je 0,0699mg, uzorak 2 je izgubio 0,07322mg, a uzorak 3 je izgubio 0,0854mg.

2.11.4 Metalografske snimke

Uzorak 1:

- materijal S235JR: struktura materijala je feritno – perlitna. Javlja se prve naznake interkristalne korozije, te jamičasta korozija po rubovima materijala,

- materijal X6CrNiMoTi 17-12-2: struktura materijala je austenitna sa prisutnošću karbida.

Nema vidljivih korozijskih oštećenja

Uzorak 2:

- materijal S235JR: javlja se interkristalna korozija u manjoj mjeri, te jamičasta korozija po rubovima materijala, materijal X6CrNiMoTi 17-12-2: javljaju se prve naznake jamičaste (pitting) korozije.

Uzorak 3:

- materijal S235JR: vidljiva su veća oštećenja materijala uslijed djelovanja interkristalne korozije, materijal X6CrNiMoTi 17-12-2: javljaju se naznake jamičaste korozije.

3. Zaključak:

Cilj ovih ispitivanja je utvrđivanje uzroka i brzine korozije i utvrđivanje preostalog vijeka uporabe. Pravilnim odabirom čelika, parametara i tehnike zavarivanja te naknadnom obradom moguće je znatno smanjiti rizik od korozije. Iz rezultata se može zaključiti da je korozijski najpostojaniji ostao uzorak na kojem nakon zavarivanja je provedena toplinska obrada. Na materijalu S235JR korozija se javlja jednoliko po cijeloj površini materijala, dok se na materijalu X6CrNiMoTi 17-12-2 javila na oko 70% površine.

4. Literatura:

- [1] Martinez, S. Proces izravnog ispitivanja korozije u okviru menadžmenta integriteta metalnih konstrukcija, Zbornik radova Hrvatskog društva za zaštitu materijala, I. Stojanović, V. Alar/ur/ISSN 1848-4255, KOROMAT 2014. Zagreb(23-31)
- [2] Pomenić, I., Iljkić, D. Tomić, M. Korozijska svojstva poboljšanog čelika i čeličnog lijeva, Zbornik radova Hrvatskog društva za zaštitu materijala, I. Stojanović, V. Alar/ur/ISSN 1848-4255, KOROMAT 2014. Zagreb(7-16)
- [3] Juraga, V. Šimunović, I. Stojanović: Utjecaj odabira materijala i tehnologije zavarivanja na pojavu korozijskih oštećenja nehrđajućih čelika u postrojenju za desalinizaciju, Zbornik radova Hrvatskog društva za zaštitu materijala, I. Stojanović, V. Alar /ur /ISSN 1848-4255, KOROMAT2014 Zagreb (17-22) Koromat 2014, Zagreb
- [4] I. Esih, Z. Dugi: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga

Fotonaponski sustav za autonomno navodnjavanje poljoprivrednih površina *Photovoltaic system for autonomous irrigation agricultural area*

S. Nikolovski^{1*}, G. Knežević¹, D. Marić², J. Gorup²

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

²Solarniprojekti d.o.o., Stjepana Radića 29. Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: srete@etfos.hr

Sažetak

Do sada su fotonaponski sustavi korišteni uglavnom za proizvodnju električne energije uz poticajnu tarifu kao povlašteni proizvođači električne energije koji su spojeni na elektroenergetsku mrežu HEP ODS-a (on-grid sustavi). Zbog tarifnog sustava najčešće izvedbe fotonaponskih sustava su snage 10kW i 30kW, a u posljednje vrijeme pretežito snage od 100kW do 300kW, te nekoliko fotonaponskih sustava snage 1MW. U ovom radu je prikazan prvi praktično izvedeni u Hrvatskoj fotonaponski sustav za autonomno navodnjavanje poljoprivrednih površina korištenjem el. energije dobivene iz fotonaponskih modula. Sustav predstavlja realizaciju II. nagrade na natječaju za najbolje poduzetničke ideje na području Osječko-baranjske županije, koju je 2012. godine dobila tvrtka Solarniprojekti d.o.o. Sustav povezuje područje nove tehnologije i zelenu ekonomiju. Tehničke značajke fotonaponskog sustava za navodnjavanje su sljedeće: sadrži 10 fotonaponskih modula tipa ENBENKON DIAMOND snage 250 Wp svaki, to jest ukupna snaga fotonaponskog generatora od 2,5 kWp. centrifugalni dubinski pumpni set Lorentz PS1800 C-SJ8-7 snage 1,7 kW. Dubina bunara koji je iskopan je 40 m, a podzemni nivo vode lociran je na dubini od 10 m. Dnevni protok crpljenja vode je projektiran na 100 m³ dnevno. Ta količina vode dovoljna je za navodnjavanje poljoprivredne površine reda 3-4 hektara.

Ključne riječi: Fotonaponski sustav, fotonaponski moduli, dubinska pumpa navodnjavanje, zelene ekonomija

Abstract

Until now, the photovoltaic systems were used mainly for electricity production stimulated by the feed in tariff as eligible electricity producers that are connected to the HEP ODS grid (on-grid systems). Due to the tariff definition, photovoltaic systems usually have rated power of 10 kW and 30 kW, and lately from 100 kW to 300 kW, and several photovoltaic system have rated power of 1 MW. This paper presents the first practical photovoltaic system made in Croatia for autonomous agricultural irrigation using electricity produced by photovoltaic modules. The system is the realization of 2nd prize in the competition for the best business ideas in the Osijek-Baranja County, which was received by company Solar Projects Ltd in 2012. The system connects the area of new technologies and the green economy. Technical

characteristics of photovoltaic systems for irrigation are as follows: it contains 10 photovoltaic modules, type of ENBENKON DIAMOND with rated power of 250 Wp each, the total rated power of the photovoltaic system is 2,5 kWp; centrifugal pump set is Lorentz PS1800 C-SJ8-7, rated power of 1,7 kW; the depth of the dug well is 40 m and underground water level is located at a depth of 10 m; daily flow of water extraction is 100 m³ per day. This amount of water is sufficient to irrigate agricultural land of 3-4 hectares.

Keywords: Photovoltaic system, photovoltaic modules, deep well pump, irrigation, green economy

1. Uvod

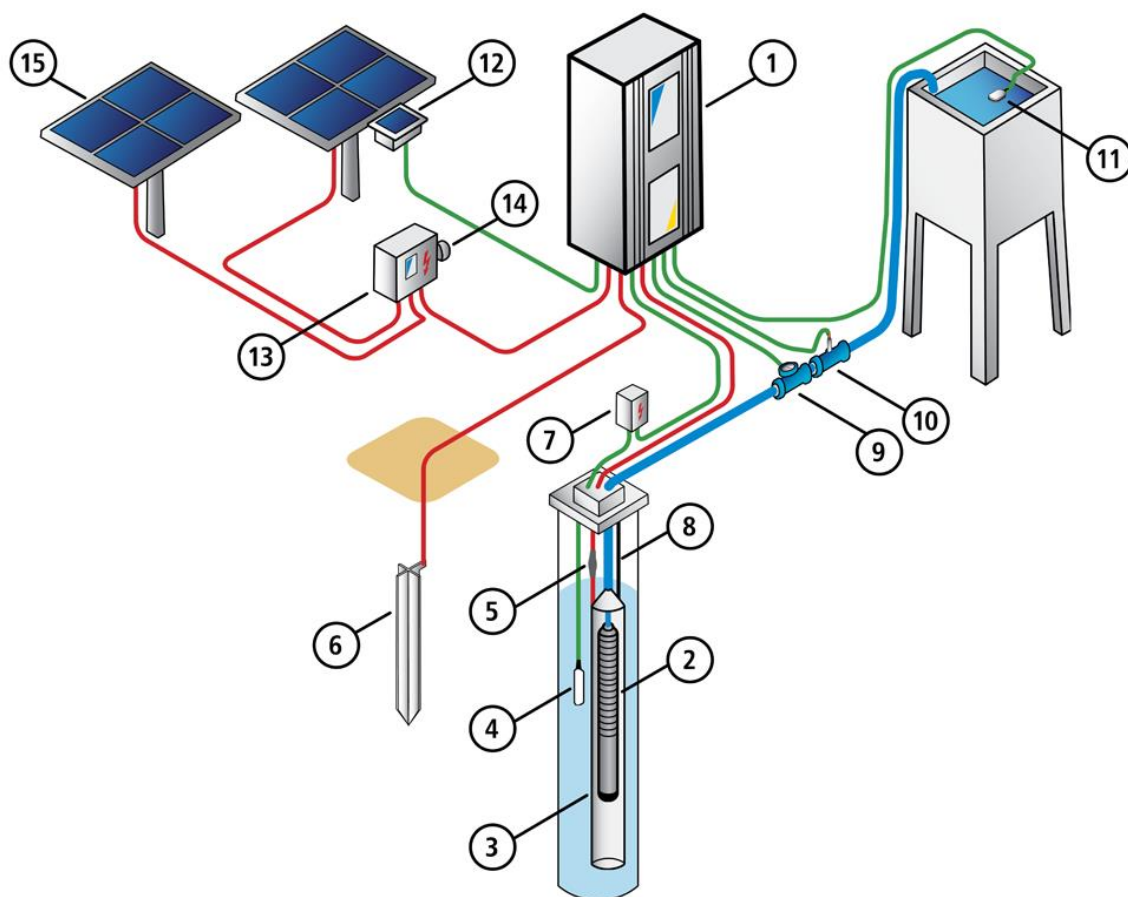
U ovome radu prikazan je prvi u Hrvatskoj, praktično izvedeni fotonaponski sustav za autonomno navodnjavanje poljoprivrednih površina korištenjem električne energije dobivene iz fotonaponskih modula (slika 1). Sustav predstavlja realizaciju II. nagrade na natječaju za najbolje poduzetničke ideje na području Osječko-baranjske županije, koju je 2012. godine dobila tvrtka Solarniprojekti d.o.o. Ovaj je sustav projektiran na način da svoju primjenu može pronaći u uzgoju svih kultura, od povrtnarskih, voćarskih, ratarskih te šumarskih. Također, sustav se može koristiti i za napajanje stoke u intenzivnom uzgoju, ali i za napajanje divljih životinja u šumskim prostranstvima gdje je to do sada bilo gotovo nemoguće odraditi, ribnjačarstvu za prepumpavanje bazena i nizu drugih primjena, a u ovoj primjeni koristiti će se za uzgoj drveta paulovnije [1].



Slika 1. Fotonaponski sustav za autonomno navodnjavanje poljoprivrednih površina

2. Tehničke karakteristike sustava

Na slici 2 dan je shematski prikaz realiziranog fotonaponskog sustava za autonomno navodnjavanje poljoprivrednih površina [2].

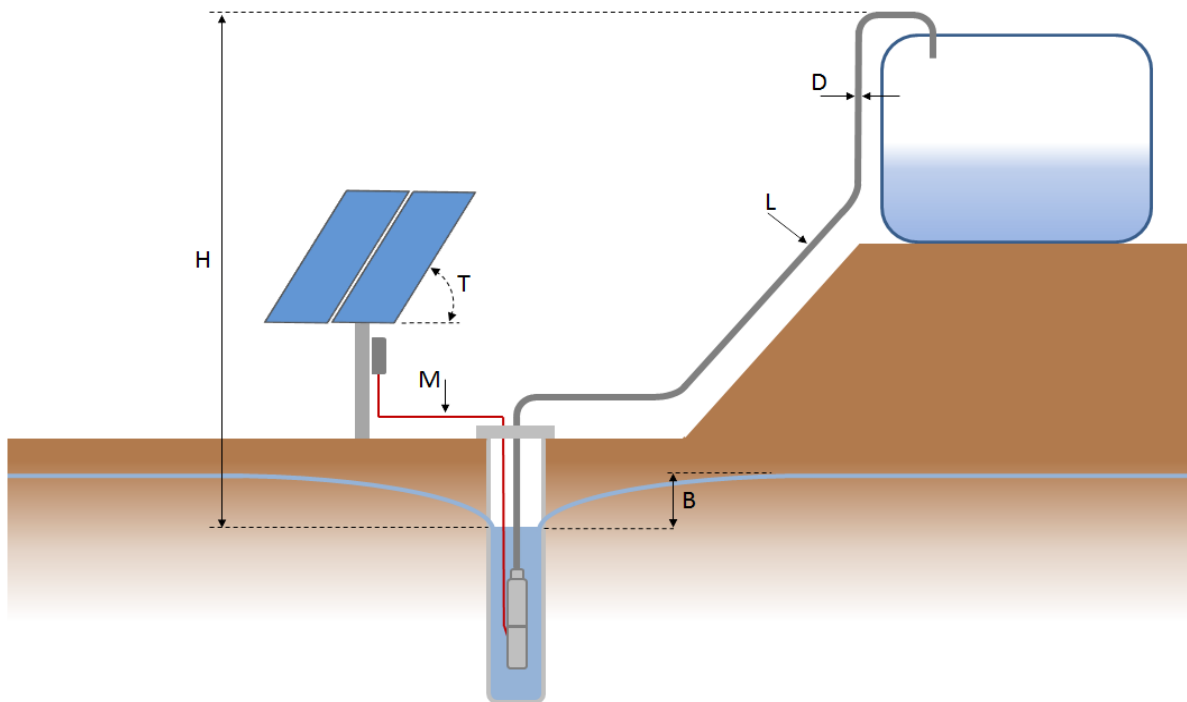


Slika 2. Shema realiziranog fotonaponskog sustava za autonomno navodnjavanje poljoprivrednih površina

Tablica 1. Objašnjenje pojmova prikazanih na Slici 2.

| | | | |
|----|----------------------|-----|------------------------------------|
| 1. | Kontroler | 9. | Brojilo protoka vode |
| 2. | Potopna pumpa | 10. | Senzor tlaka |
| 3. | Cijev | 11. | Plutajući prekidač |
| 4. | Sonda | 12. | Senzor sunčevog zračenja |
| 5. | Spoj kabela | 13. | Prekidač |
| 6. | Uzemljivačka sonda | 14. | Zaštita od atmosferskog pražnjenja |
| 7. | Zaštita od prenapona | 15. | Fotonaponski sustav |
| 8. | Sigurnosno uže | | |

Na slici 3. prikazane su karakteristične veličine instaliranog sustava.



Slika 3. Definiranje karakterističnih veličina instaliranog sustava

Statička visina (H) iznosi 15 m, nagib fotonaponskih modula (T) je 30°, duljina kabela (M) iznosi 20 m, duljina cijevovoda (L) je 30 m, promjera (D) 60 mm. Spuštanje nivoa vode (B) ovisi o protoku crpljene vode i sposobnosti samog bunara u vidu nadoknađivanja ispumpane vode.

2.1. Fotonaponski sustav

Fotonaponski sustav kojim se napaja crpka sastoji se od 10 modula marke VR ENBEKON DIAMOND pojedinačne snage 250 W, ukupna vršna snaga sustava iznosi 2500 W. Moduli su smješteni u dva reda po 5 modula u nizu, instalirani pod kutom od 30°. U tablici 2. dane su karakteristike ugrađenog fotonaponskog modula [3].

Tablica 2. Karakteristike fotonaponskog modula

| | |
|----------------------|--------------------------|
| Vršna snaga | 250 W |
| Stupanj djelovanja | 15,26 % |
| Nazivni napon | 30 V |
| Nazivna struja | 8,4 A |
| Napon praznog hoda | 37 V |
| Struja kratkog spoja | 8,6 A |
| Dimenzije | 1655 mm x 990 mm x 42 mm |

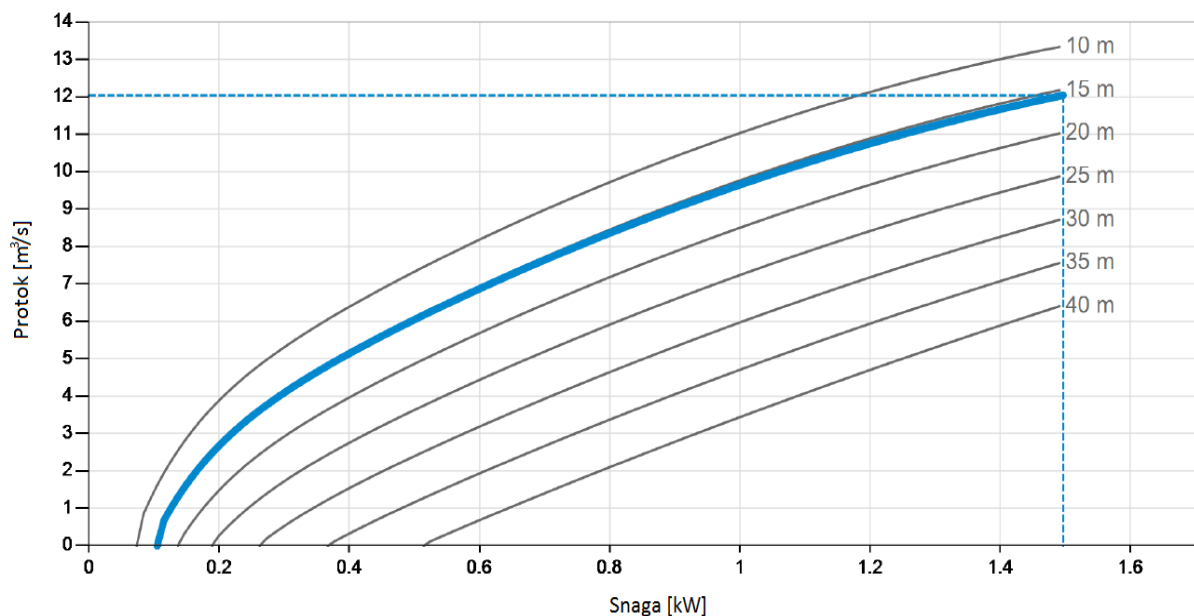
2.2. Potopna crpka

U sustavu je instalirana LORENTZ-ova potopna crpka PS1800 C-SJ8-7. Zajedno sa crpkom, instaliran je pripadni kontroler u kojem se nalazi zaštita od rada crpke izvan vode, zaštita od preopterećenja i zaštita koja isključuje crpku ukoliko je napon na stezaljkama motora manji od dopuštenog. Motor crpke je istosmjerni motor bez četkica, nazivne snage 1,7 kW, brzine od 900 do 3300 okretaja u minuti [4].



Slika 4. Kontroler i potopna crpka

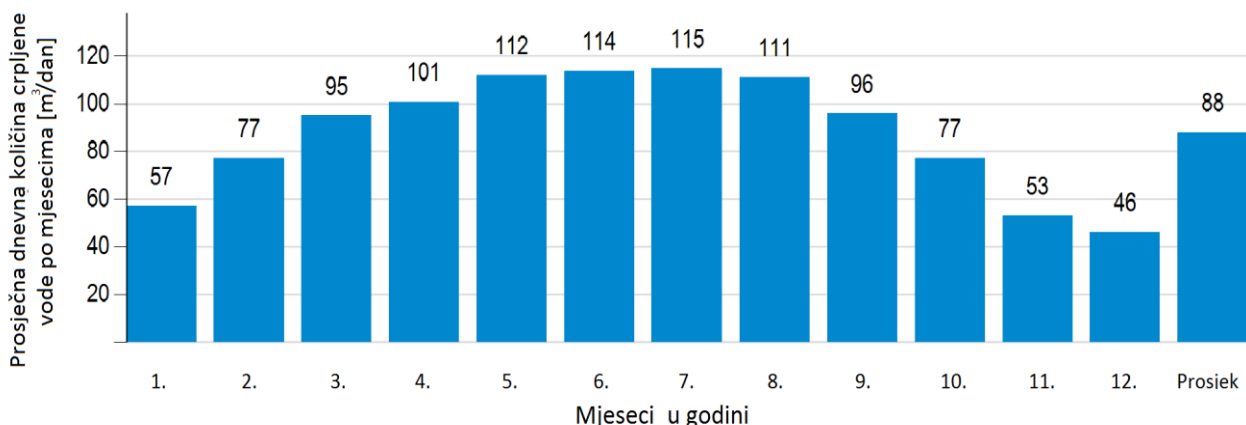
Na slici 5. prikazana je ulazno izlazna karakteristika crpke.



Slika 5. Ulazno izlazna karakteristika crpke

3. Značajke sustava

Na slici 6. prikazane su očekivane prosječne dnevne količine crpljene vode po mjesecima u godini, uz napomenu da je u svibnju ove godine stvarno ostvarena količina crpljene vode u iznosu 112 m³/dan. U tablici 3. prikazana je očekivana dnevno proizvedena električna energija i dnevno dozračena sunčeva energija po mjesecima u godini.

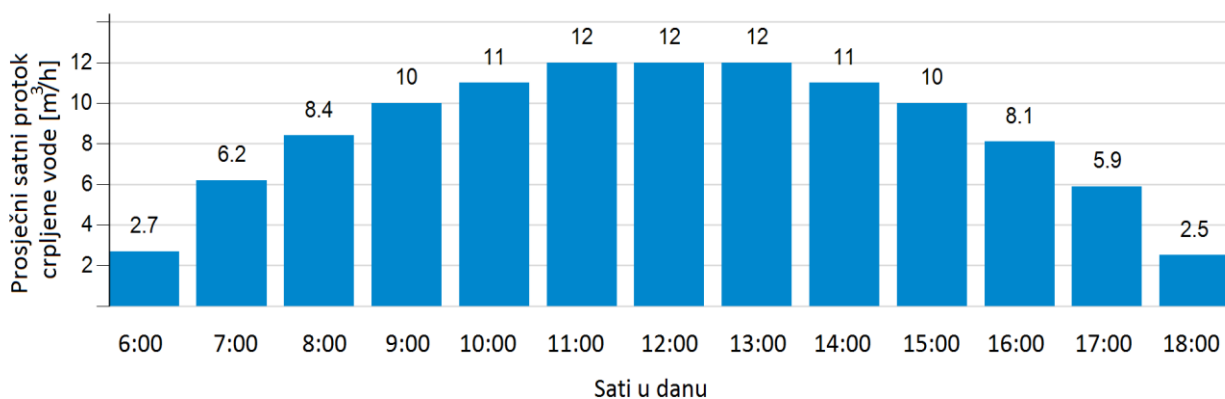


Slika 6. Prosječna dnevna količina crpljene vode po mjesecima u godini [2]

Tablica 3. Prosječna dnevno proizvedena električna energija i dnevno dozračena sunčeva energija [2]

| Mjeseci | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | Prosiek |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|
| Proizvedena el.energija (kWh) | 5,5 | 8,1 | 10 | 11 | 12 | 13 | 13 | 12 | 10 | 7,9 | 4,9 | 4,3 | 9,4 |
| Dozračena energija (kWh/m²) | 2,2 | 3,3 | 4,4 | 4,8 | 5,5 | 5,8 | 5,9 | 5,7 | 4,6 | 3,4 | 2,0 | 1,7 | 4,1 |

Na slici 7. prikazane su ostvarene prosječne satne vrijednosti protoka crpljene vode za prosječni dan u svibnju.



Slika 7. Prosječni satni protok crpljene vode [2]

U tablici 4. prikazane su prosječne satne vrijednosti proizvodnje električne energije i dozračene sunčeve energije za prosječni dan u svibnju.

Tablica 4. Prosječna dnevno proizvedena električna energija i dnevno dozračena sunčeva energija [2]

| Sati u danu | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 |
|--|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Proizvedena el.energija (kWh) | 0,2 | 0,52 | 0,82 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 0,78 | 0,5 | 0,2 |
| Dozračena energija (kWh/m ²) | 0,08 | 0,22 | 0,35 | 0,49 | 0,59 | 0,66 | 0,69 | 0,66 | 0,59 | 0,49 | 0,35 | 0,22 | 0,08 |

4. Izvedba sustava za navodnjavanje

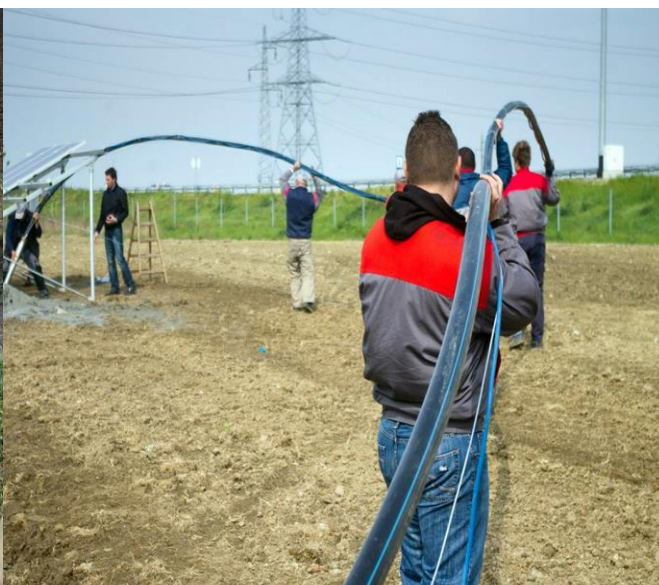
Sustav je izveden na parceli u vlasništvu tvrtke Solarni projekti d.o.o u svrhu navodnjavanja brzorastućeg bilja paulovnije.

Na slikama 8. i 9. je prikazano bušenje i ugradnja cijevi u koju će se montirati potopna crpka.



Slika 8. Bušenje cijevi za ugradnju crpke **Slika 9.** Čišćenje cijevi bušotine pod tlakom

Slike 10. i 11. prikazuju proces montaže potopne crpke u bušotinu dubine 40 m, a dubina uvedene crpke je na 20 metara.



Slika 10. Električno povezana crpka i cijev **Slika 11.** Uvođenje cijevi i crpke u bušotinu

Na slikama 12. i 13. je prikazana montaža fotonaponskog sustava putem Krinner-ovih vijaka, čime se postiže jednostavnost, brzina i ekonomičnost temelja za metalnu konstrukciju FN sustava. Ne izrađuju se betonski temelji za konstrukciju što je prednost ovog rješenja.



Slika 12. Montaža temelja FN sustava Krinner vijcima **Slika 13.** Ugradnja FN modula

Na slikama 14. i 15. je prikazana montaža i spajanje regulatora za upravljanje motorom crpke i sustava nadzora i zaštite Lorentz.



Slika 14. Testiranje upravljačkog sklopa



Slika 15. Ugradnja i ožičenje zaštitnih funkcija

Na slikama 16 i 17. prikazan je nasad brzorastuće biljke paulovnije u srpnju te nakon toga za mjesec dana u kolovozu na mjestu gdje je izgrađen solarni sustav za navodnjavanje koji služi za navodnjavanje sadnica.



Slika 16. Sadnice paulovnije u srpnju



Slika 17. Sadnice paulovnije u kolovozu

Na slici 18. je kompletan tim projektanata, izvođača i suradnika na projektu iz tvrtke Solarni projekti d.o.o i Elektrotehničkog fakulteta Osijek.

5. Paulovnja kao drvna biomasa

Paulovnja ima raznoliku primjenu. Osigurava sirovinu za industriju drvne građe i preradu drveta, te proizvodnju namještaja. Cvjetovi su bogati nektarom i antioksidansima. Listovi apsorbiraju do 10 puta više emisija ugljičnog dioksida nego druge vrste drveća. Također je pogodna za ukrasne svrhe u pravovima i gradovima, no najisplativija je primjena paulovnije kao izvora obnovljive energije, kada se koristi kao biomasa.

Kalorična vrijednost biomase od paulovnije nešto je veća od 50% kalorične vrijednosti ugljena (kao i od biomase dobivene od drugih vrsta drveća), ali manji je udio sumpora kao

zagađivača. Paulovnije je lagano drvo, što značajno smanjuje troškove transporta u usporedbi s drugim vrstama – pri normalnim uvjetima brzo će se osušiti na zraku do sadržaja vlage između 10 i 15%. Kad se suši na otvorenom, gustoća drveta obično je između 260 i 330 kg/m³.

Pravilnim uzgojem paulovnja postaje jedna od najbrže rastućih biljaka. Kada se uzgaja za biomasu, može se posjeći iz istog korijena svake dvije godine u periodu do 30 godina.



Slika 16. Uzgoj sadnica i plantaža paulovnije

Paulovnja dobro raste u različitim klimatskim uvjetima, od umjerenih do tropskih. Različite sorte paulovnije podnose temperaturni raspon od -20 do 47°C. Optimalna temperatura za rast drveta u širinu i visinu je 27°C. Godišnja količina oborina na područjima gdje paulovnja raste u prirodi kreće se od 500mm do 3000mm. Radi postizanja vrlo brzog rasta za komercijalnu proizvodnju drveta u toploj klimi, potrebno je najmanje 700mm kiše na vrhuncu sezone rasta (od kasnog proljeća do rane jeseni) ili treba izgraditi sustav dodatnog navodnjavanja, kao što je slučaj u našem podneblju. Paulovnja može rasti na različitim tipovima tla, ali je najpogodnije duboko tlo, s dobrom odvodnjom, koje je bogato hranjivim tvarima.



Slika 17. Projektni tim sa suradnicima iz tvrtke Solarni projekti d.o.o. i ETFOS-a Osijek

6. Zaključak

Fotonaponski sustavi u Hrvatskoj do sada su se uglavnom koristili za proizvodnju električne energije koja se prodavala prema određenoj poticajnoj tarifi. Ovi fotonaponski sustavi spojeni su izravno na distributivnu elektroenergetsku mrežu. Tvrtka Solarni projekti d.o.o. instalirala je prvi u Hrvatskoj praktično izvedeni fotonaponski sustav za autonomno navodnjavanje poljoprivrednih površina korištenjem električne energije dobivene iz fotonaponskih modula. U svibnju 2014. godine ostvaren je prosječni dnevni protok crpljenja vode u iznosu od 112m³. Ta količina vode dovoljna je za navodnjavanje poljoprivredne površine reda 3-4 hektara. Solarno sustav za navodnjavanje praktički je iskorišten za natapanje prve plantaže brzorastućeg drveta paulovnije koje ima veliku primjenu na mnogim područjima kao izvor drvene biomase, za primjenu u elektranama na biomasu te za proizvodnju peleta i bioetanolu. Osigurava se sirovina za industrijsku drvnu građu i preradu drveta, proizvodnju namještaja i farmaceutske industriju.

7. Literatura

- [1] Službene stranice tvrtke Solarni projekti d.o.o., dostupno na: <http://www.solarniprojekti.hr/>, pristupljeno 1.7.2014.
- [2] Marić, Danijel. Brošura: Paulovnja OXI, Solar pumping project., Osijek, 2014.
- [3] VR Enbekon Diamond, Polycrystalline modules, Deißlingen, Njemačka, 2013.
- [4] Lorentz, Solar pumping planning guide, Henstedt-Ulzburg, Njemačka

Kokošji izmet kao energent *Chicken manure as an energy source*

J. Hrnjica Bajramović^{1,*}, T. Grizelj²

¹GRIZELJ d.o.o. Sarajevo, Bosna i Hercegovina

²ITG Wärmetechnik GmbH, Wien, Austria

*Autor za korespondenciju. E-mail: jasmina@grizelj.com

Sažetak

Nastanak kokošnjeg izmeta je svakodnevna pojava kod peradi, koja se mora adekvatno zbrinjavati. Kokošji izmet je energetski korisna sirovina koja se termičkim tretmanom može pretvoriti u energent.

Novi, suvremeni proces termičke obrade zahtjeva dehidraciju, ekstrakciju, metanizaciju i briketiranje, nakon čega se dobije energent u obliku briketa, a tokom procesa izdvaja se bioplin kao energent.

Samim procesom ekstrakcije i metanizacije dobiva se bioplin koji se koristi tokom procesa dehidracije gdje je očigledna primarna energetska iskoristivost turbo procesom.

Postrojenje za termičku obradu kokošnjeg izmeta osigurava proizvodnju novog resursa iz obnovljivog izvora energije u svjetlu održivog razvoja.

Ključne riječi: kokošji izmet, termička obrada, energent

Abstract

Emergence of chicken manure is an everyday occurrence in poultry, which must be properly treated. Chicken manure is a useful energy raw that can be converted into energy source with correct thermal treatment.

New, modern process of thermal treatment requirements: dehydration, extraction, metanization and briquetting, can provided an energy source in the form of briquettes, and also during the process stands out a biogas as an energy source.

The process of extraction and metanization produces the biogas that is used during the dehydration process with turbo system. It is primary energy efficiency.

Plant for the thermal treatment of chicken manure ensures the new production from renewable energy sources, in the light of sustainable development.

Keywords: chicken manure, thermal treatment, energy sources

1. Uvod

Firme koje se danas bave uzgojem koka nesilica u kavezu imaju poteškoće vezane za zbrinjavanje izmeta. Poteškoće koje im se javljaju jeste uklanjanje izmeta koji svakodnevno nastaje kao normalan nusprodukt peradi, osobito jer je potencijalni izvor zaraze za samu perad.

Zbrinjavanje izmeta danas najčešće se odlaže na privatna odlagališta ili se daje besplatno poljoprivrednicima koji ovaj izmet smatraju vrlo kvalitetnom materijom za hranjivost biljaka [4].

Svježi kokošji izmet prema veterinarskoj kategorizaciji nusproizvoda životinjskog porijekla koji nisu za ljudsku upotrebu (Norme EU No. 1069/09 i 142/11) spada u drugu kategoriji kao rizičan materijal koji se preporučuje termički tretirati/obraditi kako bi se mogao ekonomski iskoristiti.

Kada su u pitanju količine izmeta koje nastaju na farmama su zaista enormne, tako npr. za neometan tov 30000 brojerskih pilića u standardnom objektu, korisne površine cca 2000 m², prije početka tova treba unijeti minimalno oko 8 tona suhe i higijenski ispravne prostirke biljnog porijekla (npr. slama). Ovom se prostirkom nastire cjelokupna korisna površina objekta u sloju visine 10 cm. Na tako pripremljenu podnu površinu useljavaju se brojerski pilići koji će u objektu ostati oko 40 dana koliko danas traje jedan tovni ciklus. Tokom tova prostirka se ne mijenja, osim što se po potrebi može samo dopuniti istom suhom i higijenski ispravnom prostirkom. Kada se nakon završetka proizvodnog ciklusa, dakle nakon 40 dana tova, iz objekta izbacuje iskorištena prostirka, ona teži oko 30 tona i za skoro četiri puta je teža u odnosu na inicijalnu masu. Uvećanje mase rezultat je odlaganja ekskreta svih 30000 pilića koji su tokom tova boravili na prostirci, a uz to i zadržanih ostataka hrane, perja, kožnog detritusa, te svih drugih organskih i neorganskih materija koje su u njoj sintetizirane ili su se naknadno inkorporirale (voda, mikroorganizmi, njihovi produkti i slično) [1].

Poljoprivrednici svježi izmet stavljaju direktno na poljoprivredo tlo i zaoru.

Ovakav vid korištenja je neefikasan i problematičan jer ukoliko se izmet odmah ne zaore, gubitak raspoloživog dušika u vodotopljivom i plinovitom obliku može preći i 90%, a zbog znatnog sadržaja amonijaka, izmet se ne smije razbacivati direktno po biljkama, jer će štetno djelovati na lišće, korijen i stabljike [2]. U kišnom periodu dolazi do ispiranja što onečišćuje tlo, površinske i podzemne vode.

Ljeti zbog visokih temperatura dolazi do oslobađanja neugodnih mirisa i amonijaka u okoliš, što opet dovodi do pojačanog gubitka dušika, a svakako i dodatnog ekološkog problema.

Jedno od rješenja jeste i sušenje izmet na trakastim ili bubnjastim sušarama. Proces je vrlo jednostavan međutim dugotrajan i ekološki neprihvatljiv jer se neugodan miris zadržava i širi, a materija ostaje sa velikom količinom vlage zbog čega je ljepljiva i neefikasna za korištenje. Ljepljivost stvara problem vlaga iz materije, a također dovodi i do nagomilavanja te se onemogućuje rastresanje i kretanje, odnosno prolazak zraka pa je moguće i unutrašnje/lokalno zagrijavanje.

Jedno od rješenja je i fermentacija izmeta međutim danas ekonomski neodrživo.

2. Tehničko – tehnološka rješenja 2013 – 2014 (know – how) – vlastiti rad [6]

Animalni biootpad kokošjeg porijekla koji se efikasno može iskoristiti dijelimo na:

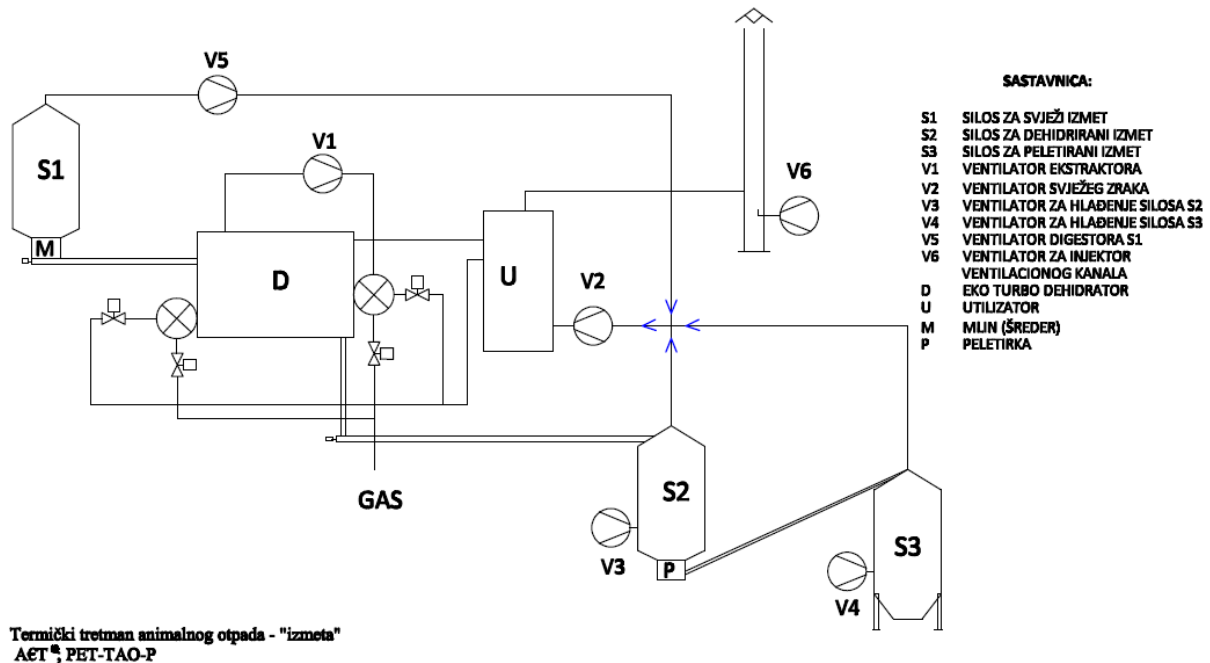
- izmet koka nesilica – za produkciju eko peletiranog izmeta, za poljoprivredu i hortikulturu, ili za produkciju peleta ili briketa kao energent.
- izmet sa prostirkom koka tovilica i pilića – za produkciju peleta ili briketa kao energent.

U oba procesa vrlo bitan faktor je bioplina koji se postupkom uplinjavanja – ekstrakcije izdvaja iz kokošjeg izmeta koji je inače vrlo neugodnog mirisa i kao takav se koristi u internom procesu kao energent za dehidraciju svježeg kokošjeg izmeta. Kao pomoćni energent koristi se LPG/UNP ili zemni plin, u omjeru 85% bioplina i 15 % LPG/UNP ili zemni plin. Toplotna moć bioplina svježeg izmeta kreće se od 10 MJ/kg do 16 MJ/kg

2.1. PET-TAO-P Tretman izmeta koka nesilica

Postrojenje se sastoji od silosa za prihvat svježeg kokošjeg izmeta koka nesilica, mlina za usitnjavanje, transportnoga puža koji usitnjene frakcije transportira do dehidratora, gasifiera, ekstraktora, metanizatora i sterilizatora, gdje se vrši termički tretman. Nakon navedenog termičkog postupka tretirana materija se hladi, peletira i pakuje.

Energenti koji se koriste u tretmanu/obradi su plin i električna energija.



Slika 1. Shematski prikaz postrojenja za tretman izmeta koka nesilica

Svježi kokošji izmet prema veterinarskoj kategorizaciji nusproizvoda životinjskog porijekla koji nisu za ljudsku upotrebu (Norme EU No. 1069/09 i 142/11) spada u drugu kategoriji kao rizičan materijal koji se preporučuje termički tretirati kako bi se mogao ekonomski iskoristiti. U postrojenju PET-TAO (slika 1.) termički tretman, usitnjelog kokošjeg izmeta na frakcije < 5 mm, odvija se pri temperaturi od 122 °C kako bi se materija sterilizirala uz zadržavanje hranjivih elemenata, a proces traje besprekidnih 30 minuta.

Nakon termičkog tretmana/obrade materija se hladi na temperaturi od 25 °C i peletira u eko peletirani izmet, podoban za korištenje u hortikulturi i poljoprivredi, a pakuje se u vreće od 25 litara ili jumbo vreće od 1000 litara.

Takva materija se koristi u poljoprivredi ili hortikulturi, a ukoliko se predvidi korištenje izmeta koka nesilica kao energenta, onda se ne vrši sterilizacija, nego samo dehidracija, te se konfekcionira u pelet ili briket.

U svježem kokošjem izmetu nalazi se značajna količina bioplina koja, direktnim korištenjem, ne pogoduje poboljšanju fizičkih ili hemijskih karakteristika biljke, te je efikasno izvlačenje bioplina omogućeno termičkim tretmanom/obradom (zagrijavanjem), a ekstrahirani bioplin se koristi obogaćen sa zemnim plinom ili LPG-om/UNP-om za poboljšanje procesa dehidracije na 122 °C, čime se smanjuje utrošak primarnog energenta i postiže energetska efikasnost > 30 %. Neugodan miris se eliminira u postrojenju za ekstrakciju, čime je okolina sigurna od te vrste emisije.

Peletirani kokošji izmet sadrži 85-88% suhe tvari i siguran je za eko proizvodnju hrane. U njemu se zadržava visoka količina aktivnih organskih tvari uz osnovne makroelemente i cijeli niz mikroelementa. Korištenjem peletiranog izmeta nema nastanka reverzibilnih reakcija niti mogućnosti stvaranja bilo koje kulture korova i nema ispiranja hranjivosti istog. Peletirani izmet jednostavan je za doziranje prilikom hranjenja i oplemenjivanja tla i ima mogućnost spore razgradnje i laganog otpuštanja hranjivih mikro i makro elemenata.



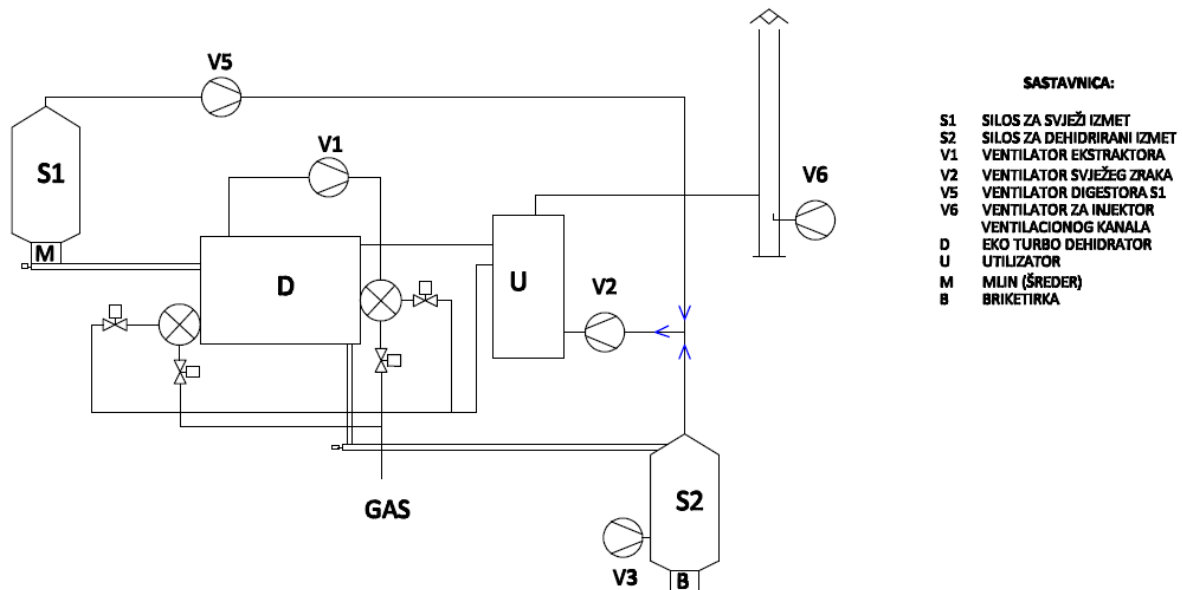
Slika 2. Termički obrađen i peletiran kokošji izmet koka nesilica

Kompaktnost peleta osigurava higroskopnu i biološku aktivnost kako bi se postigao korektan odnos prema čovjeku, stabljici i korijenu stabljike uz veću i bolju otpornost na vodeni stres i visoki salinitet.

2.2. PET-TAO-E Tretman izmeta sa prostirkom tovnih koka i pilića

Postrojenje se sastoji od silosa za prihvatanje svježeg kokošjeg izmeta tovnih koka i pilića sa prostirkom, mlina za usitnjavanje, transportnoga puža koji usitnjene frakcije transportira do dehidratora, gasifiera, ekstraktora, metanizatora, gdje se vrši termički tretman/obrada. Nakon navedenog termičkog postupka, tretirana materija se hladi, peletira ili briketira i pakuje (konfekcionira).

Energenti koji se koriste u tretmanu/obradi su gas/plin i električna energija.



Termički tretman životinjskog otpada - "izmeta"
AET[®], PET-TAO-B

Slika 3. Shematski prikaz postrojenja za tretman izmeta tovnih koka i pilića sa prostirkom

PET-TAO-E (slika 3.) su modularna postrojenja koja doprinose veterinarskim, higijensko sanitarnim uvjetima života kako ljudi tako i životinja, a kojim kroz eko termički tretman/obradu svježeg kokošjeg izmeta i proizvodnju energetskog eko peleta ili eko briketa se osigurava ekološka, energetska i ekonomska efikasnost.

Efikasno izvlačenje bioplina omogućeno je termičkim tretmanom/obradom (dehidracijom), a ekstrahirani bioplin se koristi obogaćen sa zemnim plinom ili LPG-em za poboljšanje procesa dehidracije pri temperaturi 122 °C, čime se smanjuje utrošak primarnog energenta i postiže energetska efikasnost > 30 %. Neugodan miris se eliminira u postrojenju za ekstrakciju, čime je okolina sigurna od te vrste emisije.

Energetski pelet ili briket iz kokošjeg izmeta sa prostirkom tovnih koka i pilića vrlo je energetski kaloričan i pakiranje u obliku peleta ili briketa prihvatljivo je za korištenje u kaminima ili kotlovima za centralno grijanje.



Slika 4. Termički obrađen i briketiran kokošji izmet tovnih koka i pilića sa prostirkom

Eko termički tretman svježeg kokošjeg izmeta, humano, ekološki, veterinarski, higijenski, sanitarno, zdravstveno, energetski, ekonomski efektno osigurano je kroz proces u trajanju od 30 – 60 minuta ovisno o vlazi u svježem izmetu.

Cijeli proces podrazumijeva i digestiju svih neugodnih mirisa kroz sve faze tretmana/obrade kokošjeg izmeta, čime se osigurava ugodnost u prostoru i ambijentu bez obzira na specifičnost materije i termičkog procesa.

3. Zaključak

Izmet na farmama pilića, tovnih koka i koka nesilica nastaje konstantno, te takva, specifična materija zahtjeva efektan i korektan tretman. Kokošji izmet je vrsta nusproizvoda životinjskog porijekla koji treba efektno iskoristiti, a nikako nekontrolirano odlagati ili netretirano koristiti.

Bioplin izdvojen iz kokošjeg izmeta predstavlja veliki energetski potencijal u tretmanu/obradi svježeg izmeta gdje se štedi primarna energija za dehidraciju > 30 % i skraćuje se proces dehidracije na 30 minuta, a koji u današnjim metodama sušenja traje i po par dana. Odstranjivanje neugodnog mirisa je benefit više.

Navedeni pristup osigurava zadovoljenje uvjeta iz EU Direktive 2009/28/EC, odnosno predviđenih „20 % manje stakleničkih plinova“ kod prezentiranog tehnološkog rješenja reducirano za > 40 %, zatim „20 % više energetske efikasnosti“ kod prezentiranog tehnološkog rješenja postiže se i > 30 %, te „20 % korištenja obnovljivih izvora energije“ prisutno je i više od 50 %, jer je kokošji izmet obnovljivi izvor energije.

Zbog sastava kokošji izmet u kome se nalaze znatne količine metana, azota, fosfora neophodno je termički tretirati/obraditi na način koji neće kontaminirati zrak, vodu, tlo i hranu. Danas postoje tehnička rješenja kojima se svježi kokošji izmet pretvara, odnosno tretira do materije koja je pogodna za daljnju upotrebu u obliku peleta ili briketa, sa namjenom za korištenje kao oplemenjivač tla u hortikulturi ili kao energent sa visokom toplotnom moći.

Kokošji izmet slobodno se može promatrati kao obnovljivi izvor energije, koji se može humano, ekološki, veterinarski, zdravstveno, sanitarno, higijenski, energetski i ekonomski efektno koristiti uz neminovnu održivost.

4. Literatura

-
- [1] Abdulah Gagić, 2012, Animalni otpad u BiH – značaj, porijeklo, kategorije i količine, Naučno stručni skup sa međunarodnim sudjelovanjem, "UPRAVLJANJE ANIMALNIM OTPADOM I ODRŽIVI RAZVOJ" ANUBIH Sarajevo
- [2] Hunjadi I., Čosić T., Caharija A., Cukina I., Vukušić S., 2007, Postupak prerade gnoja peradi, Izlaganje sa znanstvenog skupa VII Simpozij „Peradarski dani“, Poreč
- [3] Majdak I., Bristilo M., Makek Z., Lojkić M., Božić P., Kursar A., Udovčić I., 2000, Veterinarska struka u okvirima države i gospodarstva, Zbornik radova veterinarskog kongresa, Veterinarski kongres, Zagreb
- [4] Doc.dr.sc. Kristina Matković, dr. Bara V., 2012, Alternativni načini držanja kokoši nesilica, Priručnik, Veterinarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
- [5] Tietjen, C., 1964., Organische Düngung und Abfallwirtschaft, Landbauforschung, Völkenrode
- [6] Dokumentacija i razvojna istraživanja firme GRIZELJ d.o.o. Sarajevo, Bosna i Hercegovina, 2011 – 2014

Rejonske regulacijske stanice RRS *Regional control station RRS*

T. Grizelj^{1,*}

¹ITG Wärmetechnik GmbH, Wien, Austria

*Autor za korespodenciju. E-mail: itgwien@itgwien.com

Sažetak

Postavljanjem plinovoda za transport plina na udaljenosti preko više desetina hiljada kilometara neophodno je realno proračunati dijametar plinovoda i odrediti radni tlak u istom, kako bi se opravdala financijska investicija ali i tehnička izvodljivost. Tlak prirodnog plina u magistralnim plinovodima postavlja se na: 50; 70 i 100 bar-a.

Rejonske Regulacione Stanice (RRS) se postavljaju za potrebe većih gradova (može za jedan grad biti i više rejonskih stanica) i naselja > od 10000 Nm³/h do 100000 Nm³/h gdje je izlazni tlak 4; 8; 14,5 bar-a, uz obveznu odorizaciju plina, a konfiguracija stanice je uvijek dvolinijska.

Regulacione stanice (RS) se postavljaju za manja naselja, industrijske objekte i kotlovnice kapaciteta od 100 – 10000 Nm³/h, ulaznog tlaka plina 4 – 14,5 bar-a, a izlaznog tlaka 0,1 - 3 bar-a. Konfiguracija stanice može biti u jednolinijskoj ili dvolinijskoj izvedbi. Imamo još i stanice integralno i sa mjerenjem protoka plina koje nose oznaku RRMS ili RMS.

Ključne riječi: plin, plinovod, rejonske regulacione stanice

Abstract

By placing a pipeline to transport gas over a distance of tens of thousands of kilometers it is necessary to realistically calculate the diameter of the pipeline and determine the operating pressure in the same, in order to justify the financial investment as well as technical feasibility. Pressure natural gas trunk pipelines is set at: 50; 70 and 100 bar.

Regional control stations RRS is set for major cities (for one city may be more regional cells) and Resorts > 10,000 Nm³/h to 100,000 Nm³/h where the output pressure of 4; 8; 14,5 bar, with obligatory odorising gas, and the configuration of the station is always a two-line.

Control stations RS are set up for smaller settlements, industrial buildings and boiler capacity from 100 to 10,000 Nm³/h, inlet gas pressure from 4 to 14,5 bar and outlet pressure from 0,1 to 3 bar. Configuration of cells can be one or two-line performance.

We have also integrated cells and measuring the flow of gas that are labeled RRMS or RMS

Keywords: gas, pipeline, regional control stations

1. Uvod

Kako bi se plin transportirao na udaljenostima preko više desetina hiljada kilometara i financijski opravdala investicija plinovoda potrebno je realno proračunati dijametar

plinovoda i odrediti radni tlak u istom. Tlak prirodnog plina u magistralnim plinovodima nalazi se na 14.5, 50, 70 i 100 bar [1].

Rejonske Regulacione Stanice RRS se postavljaju za potrebe većih gradova (može za jedan grad biti i više rejonskih stanica) i naselja > od 10000 Nm³/h do 100000 Nm³/h gdje je izlazni tlak 4, 8, 14.5 bar uz obveznu odorizaciju plina i konfiguracije stanice je uvijek dvolinijska.

Regulacione stanice RS se postavljaju za manja naselja, industrijske objekte i kotlovnice kapaciteta od 100 – 10000 Nm³/h, ulaznog tlaka plina 4 – 14,5 bar, a izlazni tlak 0,1 - 3 bar. Konfiguracija stanice može biti u jednolinijskoj ili dvolinijskoj izvedbi.

Rejonske Regulacione Stanice RRMS koje su integralno i sa mjerenjem protoka plina i uvijek su dvolinijske i sa odorizacijom plina

Regulacione Mjerne Stanice RMS su sa integralnim mjerenjem protoka plina mogu biti jednolinijske ili dvolinijske

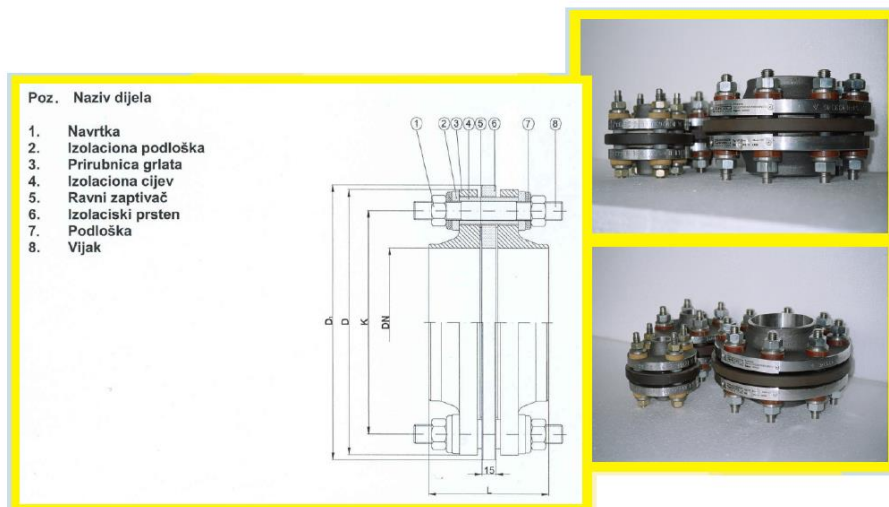
RRS se dijele i na takozvane sezonske, zima (većeg protoka) i ljeto (manjeg protoka) radi korektnosti regulacije i mjerenja ako se radi o RRMS.

Svi sastavni elementi stanica moraju biti definirani po radnom tlaku NP (PN) ili ANSI kao i dijametra NO (DN) kako bi bili zadovoljeni osnovni sigurnosni uvjeti.

1.1. Osnovni elementi stanice

Izolacione prirubnice

Na ulazu plina u stanicu i na izlazu plina iz stanice samo ako je nastavak plinske instalacije čelik, služi za dielektrično razdvajanje plinske instalacije od opreme u stanici [3].



Slika 1. Izolacione prirubnice

Ulazni/izlazni kugl ventili

(za visoke dijemetre ventila ili visoke tlakove preporuka sa reduktorom) služi za zatvaranje protoka plina kroz određenu liniju radi prekida u eksploataciji radi smetnji u radu ili servisiranja i kontroliranja sigurnosno, regulaciono mjerne opreme.



Slika 2. Ulazni/izlazni kugl ventil

Filter definirati po protoku plina kod max razlike tlaka P ulaz/izlaz 50 mbar za tlakove do 1 bar, a za više tlakove do ΔP 0,5 bar kod garantiranog tlaka ulaza protočnog plina [2].



Slika 3. Filter proizvođača RMG, prema DIN 3386

Diferencijalni manometar, sa grupom ventila i indikatorom stanja, instalira se za kontrolu zaprljanosti filterskog uloška tj. indikacija da se isti mora zamijeniti. Mjerno područje diferencijalnog manometra se definira ovisno o radnom tlaku a mjerni opseg treba biti za 3 puta veći od zasićenja filterskog uloška [4].



Slika 4. Diferencijalni manometar za tačan stepen zasićenosti filterskog elementa

Blok ventil 1 za prekid protoka plina uslijed povećanja tlaka plina iz regulatora, odabrati odgovarajući dijametar i radno područje sa zadatim tlakom aktiviranja do 30 % više od radnog tlaka

Blok ventil 2 (zahtijeva se samo kod Pulaz/Pizlaz > od 16 bar) za prekid protoka plina uslijed povećanja tlaka plina iz regulatora, odgovarajući dijametar i radno područje sa zadatim tlakom aktiviranja do 30 % više od radnog tlaka

Blok ventile dijelimo na membranske sa direktnim upravljanjem i preko pilota kada su u pitanju tlakovi > od 1 bar.



Slika 5. Blok ventil

Regulatori tlaka plina koji se proizvode i naj češće koriste u regulaciji tlaka plina mogu biti: membranski, membranski sa pilotom i aksijalni sa pilotom, za sve su isti uvjeti montaže i eksploatacije.

Regulatori tlaka plina može biti integralno sa blok ventilom (SSV/SAV), gdje su proizvođači već usuglasio veličinu blok ventila, regulacioni ventil po protoku i radnom tlaku kao i sigurnosno odušni ventil (SRV/SBV).

Regulator tlaka, odabrati odgovarajući dijametar po protoku, tlaku i radno područje sa zadatim izlaznim tlakom da bude zadovoljena KG tehnička karakteristika

Protočne brzine plina na ulazu i izlazu plina u stanicu do 20 m/s, a unutar sigurnosne regulacionih komponentni brzina plina može ići i do 120 m/s, ako to projektirana oprema dozvoljava. Kod povećanih protočnih brzina unutar komponenti stanice može je pojaviti zviždanje (buka) koja se sprečava prigušivačem buke na izlazu iz regulatora tlaka [6].



Slika 6. Prigušivač buke

Regulatore tlaka dijelimo na membranske i axilne koji mogu imati upravljanje direktno ili preko pilota gdje je upravljanje za tlakove < 1 bar, a za tlakove > od 1 bar upravlja se preko pilota. Uvjeti i dijametar konekcije impulskih voda je identično 5 D.

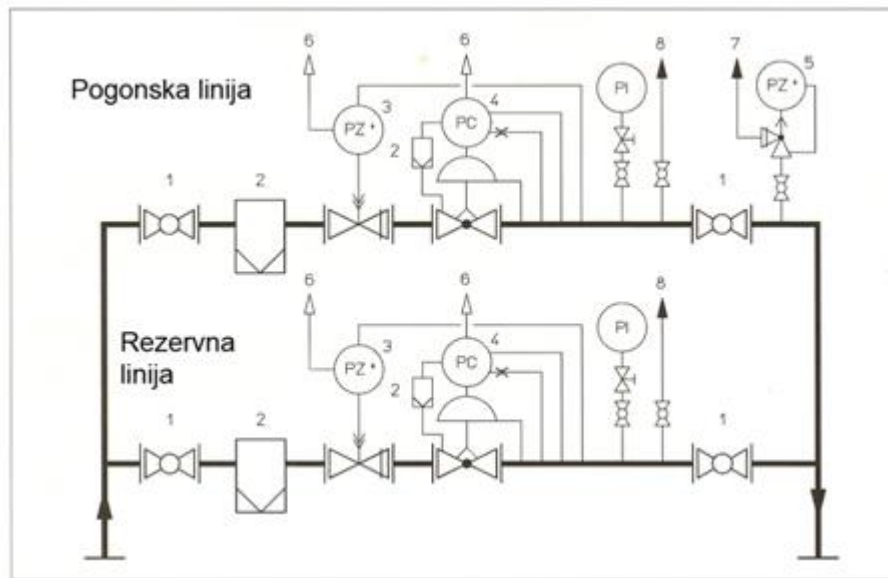


Slika 7. Regulator tlaka

Monitor sistem sa dva regulatora tlaka, umjesto blok ventila (samo kod Pulaz/Pizlaz > od 16 bar) se primjenjuje radi pouzdanosti rada sistema regulacije jer u slučaju kvara na regulatoru monitor preuzima privremeno funkciju regulatora i ne dolazi do prekida snabdijevanja potrošača plinom [3].

Kod veličine regulatora treba voditi računa o Q_{min}/Q_{max} karakteristici radi korektnog rada regulatora u definiranim karakteristikama, Q_{min} je 2,5 % KG veličine protoka.

Monitor sistem regulatora tlaka definira se po protoku i tlaku te se istog dijametre i karakteristika instaliraju serijski s tim da prvi preuzima funkciju blok ventila a drugi u slijedu funkciju regulacije.



Slika 8. Shematski prikaz stanice

1.2. Eksploatacioni uvjeti za efektnu i korektnu regulaciju tlaka (5 D)

Kako bi sigurnosna i regulaciona oprema bila korektno eksploatirana i vršila korektno svoju funkciju potrebno je da se stvore osnovne tehničke pretpostavke tj. da impulsni vodovi budu korektno konektovani na udaljenost 5D (pet dužina po dijametru cijevi poslije regulatora) [1].

Odušni ventil (u regulacionoj liniji) na priključnom izlazu iz stanice

Odušni ventil u stanicama se instalira da bi izvršio privremeno i ograničeno rasterećenje povećanja tlaka koji je nastaje uslijed redovne eksploatacije i preventivno djeluje kako ne bi došlo do aktiviranja i isključenja blok ventila.

Odušni ventil integralno sa regulatorom tlaka plina

Kod regulacionih ventila vrlo često imamo instalirane odušne ventile integralno sa regulatorom tlaka i njegova funkcija je da preventivno i ograničeno izvrši rasterećenje tlaka poslije regulacije i preventivno djeluje da se ne aktivira i isključi blok ventil protok plina.

Manometri, termometri

Mjerno područje manometar i termometara preporučuje se da bude od 30 – 50% više od radnih veličina kako bi mjerenje bilo korektno [7].



Slika 9. Elektronski i mehanički mjerač tlaka



Slika 10. Plinski termometri

Mjerač protoka plina (plinomjer)

Mjerače protoka plina dijelimo: mjerač sa mijehom, rotacioni, turbinski, ultrazvučne, manji protoci mjere se sa mjeračima koji koriste mijeh danas do 10 m³/h, a već od 10 m³/h do 1000 m³/h koriste se rotacioni mjerači a preko 1000 m³/h koriste se turbinski ili ultrazvučni. Svi mjerači su i podijeljeni po veličini od DN (NO) 25 do DN (NO) 1000 kao i klasi nazivnih tlakova po DIN-u NP 6, 10, 16, 25, 50, 100 ili ANSI 150, 300, 400, 600 [5].



Slika 11. Rotacioni mjerači



Slika 12. Turbinski mjerači

Mjerač protoka plina na ulaznom visokom ili na izlaznom niskom tlaku

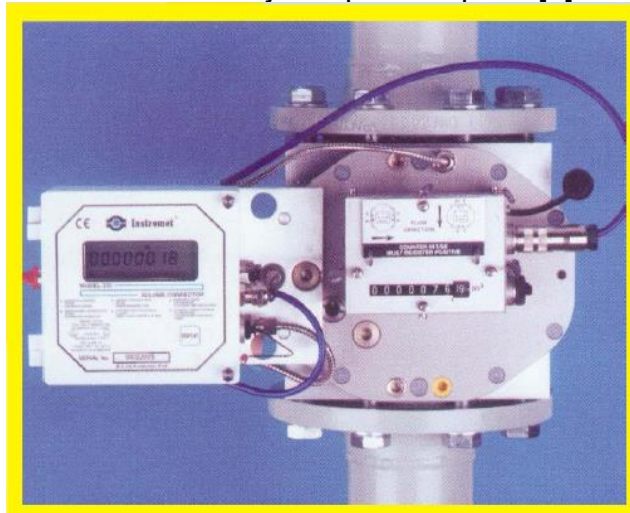
Kod mjerača protoka plina kao i kod regulatora mora se usuglasiti protok $Q = \dots$ m³/h gdje se mora voditi stroga računa o Q_{min}/Q_{max} karakteristici plinomjera gdje je danas omjer 1:200 za rotacione mjerača, a za turbinske 1:50 zavisno od proizvođača plinomjera. Kada se mjerenje protoka fluida vrši ultrazvučno tada ti faktori odnosa mjerenja nisu bitni [5].



Slika 13. Ultrazvučni mjerač protoka plina

Elektronski korektor volumena po tlaku i temperaturi plina

Potreban je radi korektnog mjerenja protoka plina jer tlak i temperatura direktno utiču na volumen te se pomoću elektronskog korektora volumena (senzor na tlaku i senzor po temperaturi daju podatke a u elektronskom korektoru se vrši komparacija i iskaz stvarnog protoka plina kroz rotacioni i li turbinski mjerač protoka plina [4].



Slika 14. Mjerač protoka plina i elektronski korektor volumena po tlaku i temperaturi plina

Smještaj plinske opreme u kućište stanice poliesterske kućice imamo u četiri veličine/ volumena 0,75 m³, 1,2 m³, 1,4 m³ i 2,8 m³, kapaciteta do 10000 m³/h, za protočni kapacitet > 10000 m³/h koristimo 20" ili 40" čelične kontejnere, a stanice > 100000 m³/h instaliramo na otvorenom uz mehaničku zaštitnu ogradu [3].

Dugogodišnja dobra praksa nam daje za pravo da preporučimo poliesterske kućice za smještaj RRS, RS, RRMS, RMS iz praktičnih razloga različitih kapaciteta neovisno o tlaku plina i konfiguraciji opreme.

Kućice manje volumena otvaraju se jednostrano, a velike kućice otvaraju se dvostrano čime se postiže optimum raspoloživog prostor.

Preglednost kućica za smještaj regulacione stanice su dobri uvjeti za vizualnu kontrolu, pristupnost opremi radi servisiranja, zamjene komponenti i opreme u stanici, korektna ventilacija, zaštita od insekata.



Slika 15. Smještaj plinske opreme u kućište sa jednim i sa dva otvora



Slika 16. Smještaj plinske opreme na otvorenom

5. Zaključak

Odlike današnjih regulacionih stanica su povećana sigurnost, korektna veličina opreme, sigurnost i pouzdanost u radu i sve cjenovno prihvatljivo.

Kako ne bi došlo do poteškoća u eksploataciji kod manjih protoka neophodno da se u početku instalira manji regulator tlaka plina, a kada se postigne u eksploataciji protok preko 30 % tada se instalira regulator korektnog protoka.

Bitan faktor kod projektiranja je i cjevovod koji treba biti izdašnjeg dijametara da služi kao "pufer" kako bi stanica i regulacija radila u korektnijem režimu eksploatacije.

6. Literatura

[1] Strelec i suradnic, Plinarski priručnik, 7 izdanje, Zagreb, 2014.
(ISBN 978-953-6759-60-6)

[2] RMG Tehnička uputstva, <http://www.rmg.com>, kolovoz, 2014.

[3] GRIZELJ katalogi i brošure

[4] GRIZELJ Tehnička uputstva za montažu, instaliranje, puštanje u rad i održavanje

-
- [5] ELSTER Tehnička uputstva, <http://www.elster-instromet.com/en/product-catalog?name=&hidden=businessUnit&businessUnit=3&hidden=region®ion=1®ion=2®ion=3®ion=4®ion=5®ion=7®ion=8&hidden=country&country=1&page=0&layout=list&lang=en&fid=F032EA0A896F40B486350FF21BE30E5E&ts=201409717810429#productSearchFilter=productSearchFilter0,productSearchFilter1,productSearchFilter2>; kolovoz, 2014.
- [6] EMERSON Tehnička uputstva, <http://www.emerson.com/en-US/explore-our-businesses/industrial-automation/Pages/default.aspx> kolovoz, 2014.
- [7] WIKA Tehnička uputstva, <http://www.rudelprojekt.com/katalozi.html> kolovoz, 2014.

Rekuperacija topline za potrebe grijanja sanitarne vode u prehrambenoj industriji

Heat recovery for heating of hot water in the food industry

H. Hadžiahmetović*, E. Peco

Mašinski fakultet u Sarajevu, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju. E-mail: halima@ mef.unsa.ba

Sažetak

Provedba mjera energetske učinkovitosti u industriji ovisi o načinima korištenja energije odnosno prirode procesa. U prehrambenoj industriji se javljaju velike mogućnosti za povećanje učinkovitosti i ostvarenja ušteta u energiji. Veliki potencijal se javlja u iskorištenju otpadne topline iz procesa. Rekuperacija topline se definira kao proces ponovnog korištenja topline koja se oslobađa tijekom određenih procesa, a koja bi se inače odstranila u okoliš. Otpadna toplina dobivena iz izvora otpadne energije/topline u industriji se može koristiti za pripremu/predgrijavanje tople sanitarne vode, zatim za predgrijavanje napojne vode pri ulasku u kotao, predgrijavanje/grijanje zraka pri procesu sagorijevanja, predgrijavanje ulaznog zraka kod ventilacije prostora, generiranje energije te ostale industrijske procese predgrijavanja/grijanja. U radu je opisana mogućnost iskorištenja otpadne topline iz rashladne komore u prehrambenoj industriji.

Ključne riječi: energija, energetska učinkovitost, otpadna toplina, rashladna komora, prehrambena industrija

Abstract

Implementation of energy efficiency measures in industry depends on the methods of the energy use or the nature of the process. The food industry offers a lot of opportunities to increase efficiency and achieve energy savings. Great potential occurs in the utilization of waste heat from the process. Heat recovery is defined as the process of reusing heat that is released during certain processes, which would otherwise be removed in the environment. Waste heat produced from waste sources of energy / heat in the industry can be used to prepare / preheat domestic hot water, then preheating the feed water entering the boiler, preheating / heating air in the combustion process, preheating the intake air in the ventilation space, power generation and other industrial processes of preheating / heating. This paper describes the possibility of the use of waste heat from the cooling chamber in the food industry.

Keywords: energy, energy efficiency, waste heat, cold rooms, food industry

1. Uvod

Provođenje mjera energetske učinkovitosti u industriji zavisi od načina korištenja energije, odnosno prirode procesa. U prehrambenoj industriji se javljaju velike mogućnosti povećanja

učinkovitosti i ostvarenja ušteda u energiji. Najveći potencijal se vidi u iskorištenju otpadne topline iz procesa. Tu otpadnu toplinu je moguće dalje iskoristiti npr. za zagrijavanje sanitarne vode, te vode za neki tehnološki proces, zagrijavanje zraka i slično [1, 2, 8].

2. Mjere energetske efikasnosti u sektoru prehrambene industrije

Industrija kao rezultat svojih tehnoloških procesa proizvodi značajne količine otpadne energije u obliku pare, tople vode ili toplih plinova. Donedavno se smatralo da se u postrojenjima prehrambene industrije ne troše velike količine energije. Međutim, novije analize pokazuju da se u razvijenim zemljama na prehrambenu industriju troši oko 10% od ukupne količine energije potrebne za cjelokupni industrijski sektor [1, 2, 6].

Tipičan primjer složenog procesa u prehrambenoj industriji je proizvodnja konzerviranih namirnica koja obuhvaća pranje, kuhanje, evakuiranje, sterilizaciju, hlađenje i druge komponente, koje sve intenzivno troše vodu, te toplinsku i električnu energiju [1, 3, 7, 8].

U slučaju prehrambene industrije, zahvate na racionalizaciji potrošnje energije i vode treba fokusirati na:

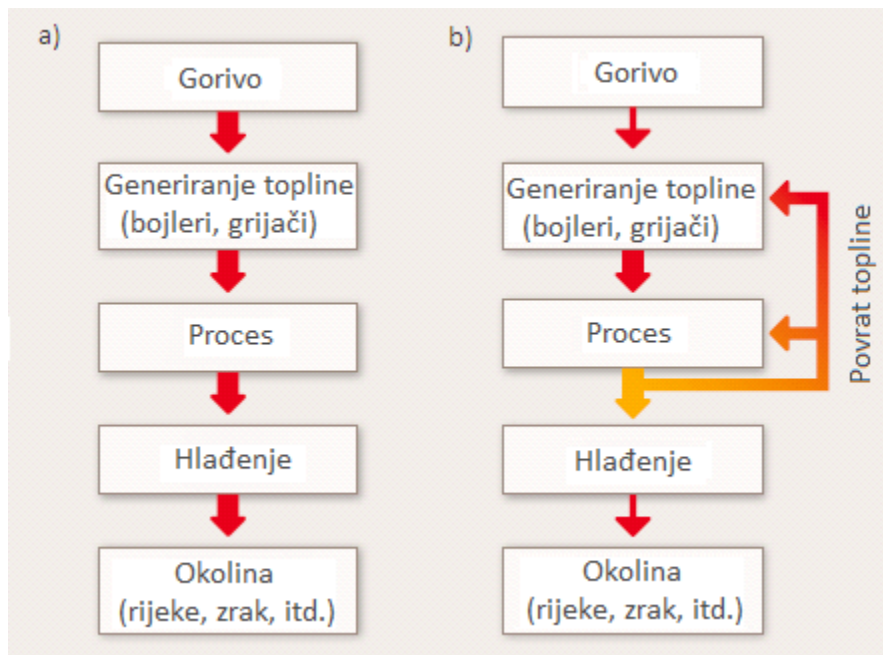
- minimaliziranje dodavanja vode u proces,
- optimiziranje načina kuhanja,
- iskorištenje svih načina rekuperacije topline,
- korištenje različitih posuda za zagrijavanje i hlađenje proizvoda i
- uvođenje odgovarajuće regulacije procesa.

Rekuperacija topline predstavlja veoma važnu kategoriju u raznim procesima intenzivne energetske potrošnje, pri čemu se razmatra iskorištenje otpadne topline:

- izlaznih dimnih plinova,
- osjetne topline kondenzata i
- niskotemperaturne topline.

3. Rekuperacija topline

Rekuperacija topline se definira kao proces ponovnog korištenja topline koja se oslobađa tokom određenih procesa, a koja bi se inače predala u okoliš (slika 1). Osnovna ideja rekuperacije otpadne topline jeste povrat maksimalne količine energije iz postrojenja i njeno korištenje što je više moguće.



Slika 1. Tokovi energije u procesnoj industriji, a) bez povrata topline, b) sa povratom topline odnosno iskorištenjem otpadne topline [4]

Postoji mnogo izvora otpadne energije/topline u industriji, pa se tako uobičajeni izvori mogu svrstati u sljedeće grupe:

- struje otpusnih plinova,
- visokotemperaturni ispusni dimni plinovi iz kotlova, peći, sušara,
- spalionice otpada,
- rashladni sistemi,
- kompresori,
- postrojenja za proizvodnju električne energije,
- procesna postrojenja za hlađenje.

Otpadna toplina dobijena iz ovih izvora se može koristiti za pripremu/predgrijavanje tople sanitarne vode, zatim za predgrijavanje napojne vode pri ulasku u kotao, predgrijavanje/grijanje zraka pri procesu sagorijevanja, predgrijavanje ulaznog zraka kod ventilacije prostora, regeneraciju sredstava za sušenje pri adsorpciji, generiranje energije te ostale industrijske procese predgrijavanja/grijanja [4].

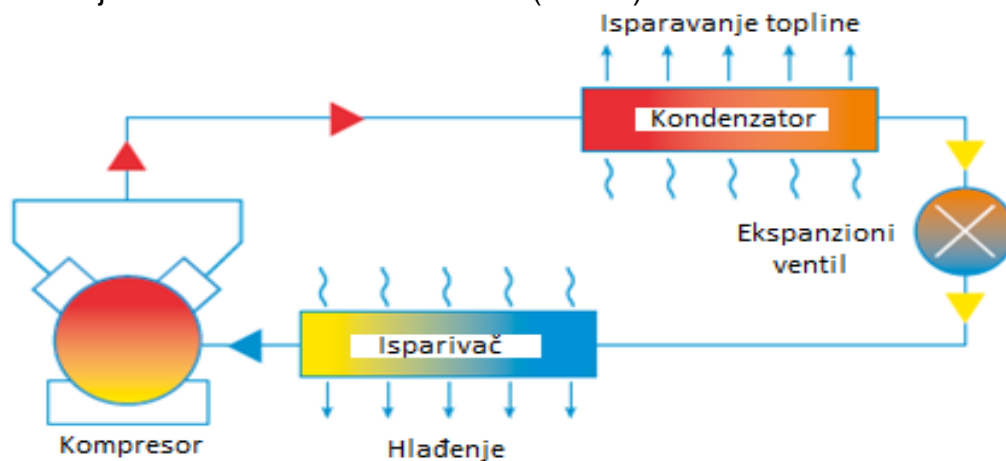
Faktori koji bitno utiču na izvedivost rekuperacije topline su:

- udaljenost između izvora topline i uređaja za rekuperaciju,
- podudaranje dostupne topline i zahtjeva za grijanje,
- sposobnost fluida da učestvuju u izmjeni topline,
- rizik od kontaminacije i
- zahtjevi za kvalitetom.

Prije samog investiranja u rekuperaciju topline, veoma je bitno analizirati sve potencijalne dobiti i procijeniti isplativost ulaganja. Postoji više načina da se profitira korištenjem otpadne topline rekuperacijom. Neki od načina su štednja goriva, proizvodnja električne energije i mehaničkog rada, prodaja toplinske i električne energije, smanjenje potreba za hlađenjem, smanjenje glavnih investicijskih troškova, povećanje proizvodnje, smanjenje emisije stakleničkih plinova, transformacija topline u korisne oblike energije [3, 4]. U nastavku rada fokus je na rekuperaciji topline sa rashladnih uređaja.

3.1. Rekuperacija topline sa rashladnih uređaja

Rashladni uređaji danas imaju veliku primjenu. Njima se omogućuje hlađenje u raznim hladnjacima, zamrzivačima, rashladnim komorama i sl. Najčešće korišten tip rashladnog sistema je parno – kompresioni rashladni ciklus. Ovaj sistem se sastoji iz sljedećih komponenti: kompresora (sa motorom koji ga pokreće), kondenzatora (izmjenjivač topline), ekspanzionog ventila i isparivača (izmjenjivač topline). Ovi dijelovi su međusobno povezani cijevima kroz koje cirkulira rashladno sredstvo (slika 2).



Slika 2. Šema parno – kompresionog rashladnog ciklusa [5]

Radni medij cirkulira kroz sustav i pri tome mu se mijenjaju pritisak i temperatura. Usljed toga, radni medij varira od plinovitog do tekućeg stanja, zavisno od mjesta u sustavu.

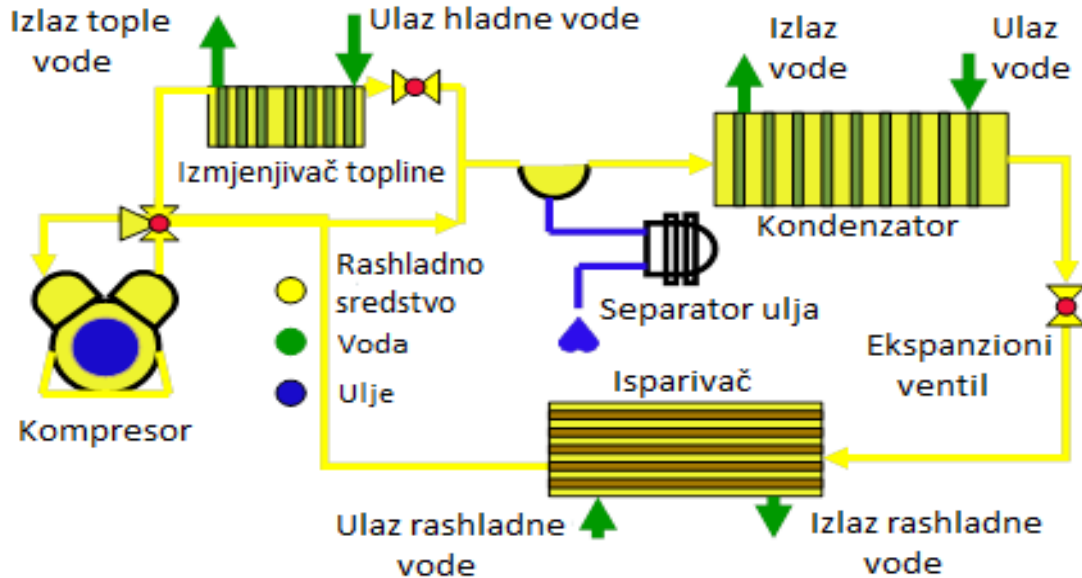
Radni medij ulazi u kompresor u vidu pare gdje se komprimira, što mu povećava pritisak i temperaturu. Plinski radni medij zatim ide u kondenzator odakle mu se odstranjuje toplina koju nosi sa sobom te se radni medij hladi. Hlađenjem prelazi u tekuće stanje.

Prolaskom kroz ekspanzioni ventil pritisak radnog medija se smanjuje da bi u isparivaču počeo da isparava apsorbirajući toplinu iz prostora koji se hladi.

Ovi sistemi su dizajnirani tako da predaju toplinu iz unutrašnjeg prostora ili proizvoda u okolinu (vanjski zrak). Toplina koja se odbacuje se može direktno prenijeti na zrak, ili, kao što je slučaj kod konvencionalnih jedinica, na vodu koja cirkulira u tornju za hlađenje odakle predaje toplinu okolnom zraku. Iako se ova toplina naziva niskovrijednom, ona svakako predstavlja otpadnu toplinu koja se na odgovarajući način dalje može iskoristiti. Najbolji način za iskorištenje ove topline jeste za grijanje vode.

Prvi korak kod istraživanja mogućnosti iskorištenja otpadne topline jeste proračun otpadne topline koja je dostupna za upotrebu. Ukupno dostupna otpadna toplina predstavlja zbroj topline koja se izbacuje iz prostora i topline usljed rada kompresora.

Plinski radni medij koji izlazi iz kompresora je u pregrijanom stanju, pa se iz ovog plina može izvući određena količina topline prije nego što on dospije u kondenzator. Temperature radnog medija u mnogim rashladnim sustavima nakon izlaska iz kompresora se kreću od 70°C do 100°C, pa je moguće na osnovu te topline grijati vodu do oko 60°C [5, 6].

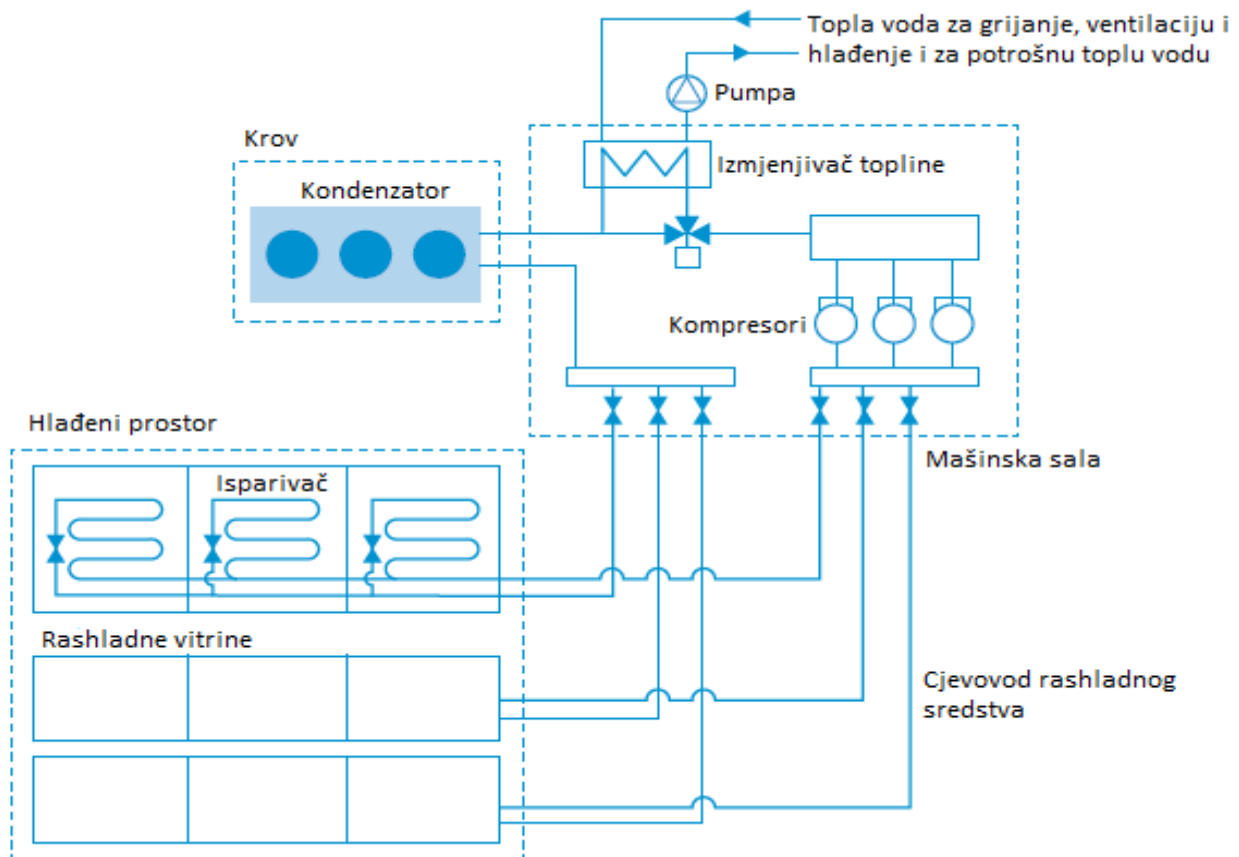


Slika 3. Rashladni sustav sa iskorištenjem otpadne topline pomoću vrelog plina rashladnog sredstva koji izlazi iz kompresora [6]

Na slici 3 je prikazan tipični rashladni sustav sa iskorištenjem otpadne topline kod kojeg je linija izlaza iz kompresora (vreli plin rashladnog sredstva) spojena na jedinicu izmjenjivača topline. Povratna linija iz izmjenjivača topline se dalje spaja na kondenzacionu jedinicu. U izmjenjivaču cirkulira voda koja se uz pomoć radnog medija zagrijava. Pri tome topliji fluid predaje toplinu hladnijem (vodi).

Prednosti jednog ovakvog sustava su te da dolazi do smanjenja opterećenosti kondenzatora, smanjuje se pritisak kondenzacije, zatim odstranjuje se ulje pomoću separatora, ulje kondenzira i tako se sprečava da dospije u isparivač, čime učinkovitost isparivača raste s mogućnošću povećanja pritiska isparavanja.

Za ovakve sustave bi trebalo osigurati da imaju i by-pass ventile koji omogućavaju jedinici za povrat otpadne topline da bude izolirana u slučaju popravke uređaja [5]. Isti princip može biti korišten i na većim centraliziranim rashladnim sustavima. Shema takvog primjera je prikazana na slici 4 [5, 6].

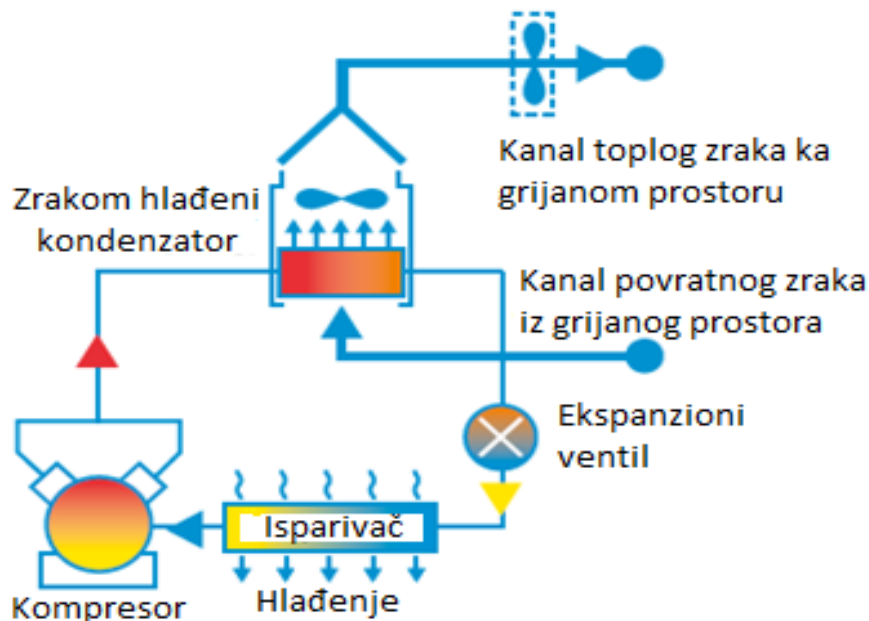


Slika 4. Princip korištenja otpadne topline za potrebe grijanja vode kod velikih centralizovanih rashladnih sustava [5]

3.1.1. Povrat topline sa kondenzatora u rashladnom sustavu

Kondenzator u rashladnom sustavu ima zadatak da predaje toplinu u okolinu. Ako se zahtjevi za hlađenjem i grijanjem u nekom objektu poklapaju, moguće je iskoristiti dobar dio ove topline.

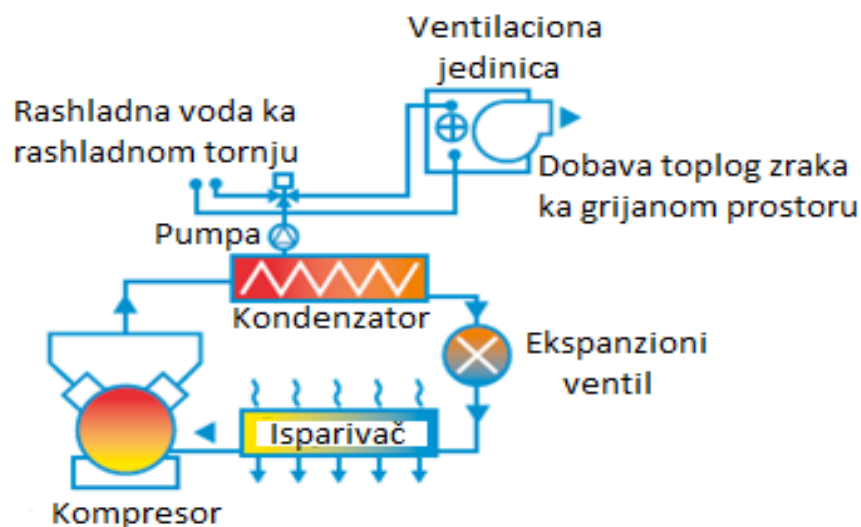
Kada se koriste zrakom hlađeni kondenzatori (slika 5), najjednostavnija metoda za povrat otpadne topline je korištenje toplog ispusnog zraka za potrebe grijanja prostora. Ovo se može postići ili kanalnim odvođenjem zraka od kondenzatora do prostora koji se grije ili promjenom lokacije kondenzatora do prostora.



Slika 5. Povrat topline sa zrakom hlađenog kondenzatora [5]

Niskovrijednu otpadnu toplinu sa kondenzatora je moguće podići na veći stupanj korištenjem toplinskih pumpi, koje bi se dalje koristile za grijanje prostora ili predgrijavanje sanitarne vode.

Kada se koriste vodom hlađeni kondenzatori (slika 6), rashladna voda za hlađenje kondenzatora bi se, npr., mogla preusmjeriti do ventilacijske jedinice-zagrijača zraka u ventilacijskom sustavu [5, 6].



Slika 6. Povrat topline sa vodom hlađenog kondenzatora [5]

4. Zaključak

U svijetu, pa tako i u Bosni i Hercegovini su mnogobrojni primjeri neracionalnog korištenja energije. Velike količine energije nastale kao nusprodukti u raznim procesima se svakodnevno predaju okolini. Potrebno je preduzeti odgovarajuće mjere energetske učinkovitosti, kako bi se iskoristila ova otpadna energija i pretvorila u vid korisne energije. Predloženim mjerama uštede energije rekuperacijom topline sa rashladnih komora omogućilo bi se značajno smanjenje godišnje potrošnje plina, što svakako u financijskom smislu predstavlja značajnu uštedu. Samim smanjenjem godišnje potrošnje plina utječe na okolinu. Naime, smanjenjem potrošnje plina smanjuje se i emisija CO₂.

Povećanjem učinkovitosti se postiže, ne samo ekonomičnija proizvodnja, nego i smanjenje zagađenja okoline, što pogoduje naporima koji se u svijetu poduzimaju na očuvanju okoliša.

6. Literatura

- [1] Granić, Goran; Zeljko, Mladen; Moranjkić, Idriz; Martinez, Jose Andres; Olano, Marisa; Jurić, Željko. *Studija energetske sektora u BiH, Modul 12 – Upravljanje potrošnjom, štednja energije i obnovljivi izvori energije*, str. 142-145, 150, 165-168, 174, 2008. god.
- [2] HEP ESCO d.o.o, Investicijska studija, MM klaonica, prerada i prodaja mesa Milivoj Medven t.p., *Priprema sanitarne tople vode solarnim kolektorima i rekuperacijom iz rashladnika u objektu „Prerada“ tvornice MM t.p.*, Zagreb, juni, 2010.
- [3] Zabrowski, David; Horton, Doug; Fisher, Don; Klauferman, Dan. *Refrigerant Heat Recovery System, Final Report // Pacific Gas and Electric Company, Department of Research and Development, San Remon/ California, 1993.*
- [4] <http://www.alfalaval.com/campaigns/waste-heat-recovery>
- [5] http://www.carbontrust.com/media/31715/ctg057_heat_recovery.pdf, str. 11-28
- [6] <http://www.energymanagertraining.com>
- [7] http://www.i3e.eu/sra/Strategic_Research_Agenda_SERBIAN_final_small.pdf
- [8] http://www.seai.ie/Your_Business/Large_Energy_Users/LIEN/LIEN_Events/Heat_Recovery_From_Industrial_refrigeration_systems.pdf

Analiza utjecaja fotonaponske elektrane Novoselac 3 snage 180 kW na distributivnu mrežu ***Analysis of the impact of 180 kW photovoltaic power plant Novoselac 3 on distribution grid***

S. Nikolovski^{1*}, K. Fekete¹, M. Kresonja², J.Gorup²

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

²Solarni projekti d.o.o., Stjepana Radića 29, Osijek, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: srete@etfos.hr

Sažetak

U radu će biti obrađena problematika prihvata fotonaponske elektrane (FN) na distribucijsku mrežu HEP ODS-a sukladno Mrežnim pravilima i zahtjevu tima za elektrane HEP ODS-a Zagreb. Kod ovakvih elektrana treba provjeriti povratni utjecaj na elektroenergetsku mrežu i to na pokazatelje kvalitete napona sukladno HRN EN 50160 normi i provjeriti koordinacija rada zaštite elektrane i mreže kako na njenom sučelju tako i do pojne transformatorske stanice u mreži. Dane su tehničke značajke izgrađene FN elektrane Novoselac 3 izlazne snage od 180 kW. Kod podešenja zaštite prikazat će se računalne simulacije kvarova i poremećaja primjerenih uvjeta paralelnog pogona srednjenaponske mreže i sunčane elektrane Novoselac 3 i to onih stvarno mogućih u pogonu. Prikazana su podešenja nekih zaštita i objašnjena zaštita od rada FN elektrane u otočnom pogonu. Konačno, predložene su krajnja podešenja zaštitnih uređaja FN elektrane i pripadajuće distribucijske mreže. Rad daje i dio rezultata mjerenja parametara kvalitete električne energije koji se uspoređuju s normativnim graničnim vrijednostima (Norma HRN 50160:2012), i vrijednostima propisanim u Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava i međusobno se uspoređuju za vrijeme prije i nakon uklopa FN elektrane. Mjerenjima prije i poslije uklopa fotonaponske elektrane u trajanju od 7 dana dokazano je da negativnog utjecaja na električnu mrežu nema.

Ključne riječi: Fotonaponska elektrana, kvaliteta el. energije, koordinacija zaštite, mjerenje, računalna simulacija

Abstract

This paper deals with the problems of photovoltaic power plant (PV) impact on the distribution network. Influence of such a plant on distribution network is checked regarding power quality indices (according to standard HRN EN 50160) and coordination of PV plant protection as well as protection of local distribution network. Technical features of PV plant Novoselac 3 with maximal total output electric power of 180 kW are presented in this paper. Regarding protection coordination, computer simulations of short circuits when PV plant is connected to distribution network are shown in the paper. Real settings of some protection devices are shown in the paper and special focus is given to protection from isolated operation of PV plant. Results of power quality measurements seven days before and seven days after the PV plant connection to the distribution network are presented. Measurements

results are analyzed according to standard HRN EN 50160 and analysis of the measured results prove that there is no negative impact of PV power plant on power quality indices.

Keywords: Photovoltaic power plant, power quality, protection coordination, measurements, computer simulation

1. Uvod

Proizvodnja električne energije iz fotonaponskih elektrana (FN) u stalnom je porastu kako u Republici Hrvatskoj (RH) tako i u svijetu. Glavni razlozi za veliki interes ulagača prema FN elektranama su: regulirana i poticana otkupna cijena električne energije proizvedene u FN elektrani i pad cijene komponenti od kojih se FN elektrane izgrađuju. Budući da se FN elektrane svrstavaju u skupinu elektrana na obnovljive izvore energije te za svoj rad ne zahtjevaju gorivo i time doprinose smanjenju emisije stakleničkih plinova (CO₂) u atmosferu, mnoge države podupiru njihovu izgradnju. Jedan od najuobičajenijih modela potpore je poticana otkupna cijena za električnu energiju proizvedenu u FN elektrani. Poticana otkupna cijena najčešće je višestruko veća od tržišne cijene električne energije. U RH poticana otkupna cijena, regulirana je Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije [1].

Da bi u RH mogli prodavati električnu energiju proizvedenu u FN elektrani po poticanoj cijeni, potrebno je postati povlašteni proizvođač i sklopiti ugovor o otkupu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije sa Hrvatskim operatorom tržišta električne energije (HROTE) [2]. Status povlaštenog proizvođača električne energije stječe se rješenjem Hrvatske energetske regulatorne agencije (HERA), u skladu s uvjetima koje Pravilnikom o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije [3]. Budući da se FN elektrana priključuje na distributivnu mrežu, potrebno je zadovoljiti određene tehničke kriterije kako FN elektrana ne bi negativno utjecala na postojeću električnu mrežu. Ovaj rad bavi se analizom utjecaja FN elektrane srednje snage (180 kW) na distributivnu mrežu. Predstavljena i analizirana su dva tehnička elaborata koje je potrebno izraditi u postupku stjecanja statusa povlaštenog proizvođača načinjena za stvarnu FN elektranu Novoselac 3 snage 180 kW [4]. Prvi je Elaborat podešenja zaštite u kojem se simulacijama dolazi do optimalnih podešenja zaštitnih uređaja same FN elektrane i okolne distributivne mreže. Drugi je Elaborat utjecaja FN elektrane na mrežu u kojem se mjerenjima provjerava utjecaj FN elektrane na parametre kvalitete električne energije.

2. Tehnički opis FN elektrane Novoselac 3

Fotonaponska elektrana Novoselac 3 nalazi se na krovu skladišne građevine u poduzetničkoj zoni Otok, a podijeljena je na nizove fotonaponskih modula s različitim brojem fotonaponskih modula po nizu. Ukupno je korišteno 833 fotonaponska modula, a najveća izlazna snaga elektrane je 180 kW. Elektrana je montirana direktno na limeni krov građevine, s nagibom krova od oko 5° sa istočne i zapadne strane krovišta [5]. Korišteni su fotonaponski moduli EcoLine 60/LX-250P njemačkog proizvođača Luxor [6]. Nazivna snaga fotonaponskih modula je 250 W. Ukupna vršna snaga FN elektrane je 208,25 kW. Montirano je oko 15,7% više modula od nazivne snage elektrane kako bi se anulirali gubici zbog položaja elektrane [5]. Fotonaponski moduli grupirani su u ukupno 43 niza. U Tablici 1, navedene su neke tehničke karakteristike fotonaponskih modula [6].

Tablica 1. Tehničke karakteristike upotrebljenih fotonaponskih modula

| | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| Struja kratkog spoja I_{sc} [A] | 8,61 |
| Napon otvorenog kruga U_{oc} [V] | 37,41 |
| Nazivna struja I_{mpp} [A] | 8,16 |
| Nazivni napon U_{mpp} [V] | 30,83 |
| Najveći dopušteni napon niza U [V] | 1000 |
| Radna temperatura ćelije [°C] | $47^{\circ} \pm 2^{\circ}$ |
| Temperaturni raspon [°C] | -40° do $+80^{\circ}$ |
| Efikasnost modula η [%] | 15,46 |

Nizovi fotonaponskih modula spajaju se na izmjenjivače. Na FN elektrani Novoselac 3 ugrađeno je 11 izmjenjivača Sunny TriPower, od čega je njih 10 izlazne snage 17 kW (17000TL-10), a jedan izlazne snage 12 kW (12000TL-10) [7]. Na svaki od izmjenjivača Sunny TriPower 17000TL-10 su spojena četiri niza FN elektrane, dok su na izmjenjivač Sunny TriPower 12000TL-10 spojena 3 niza FN elektrane.

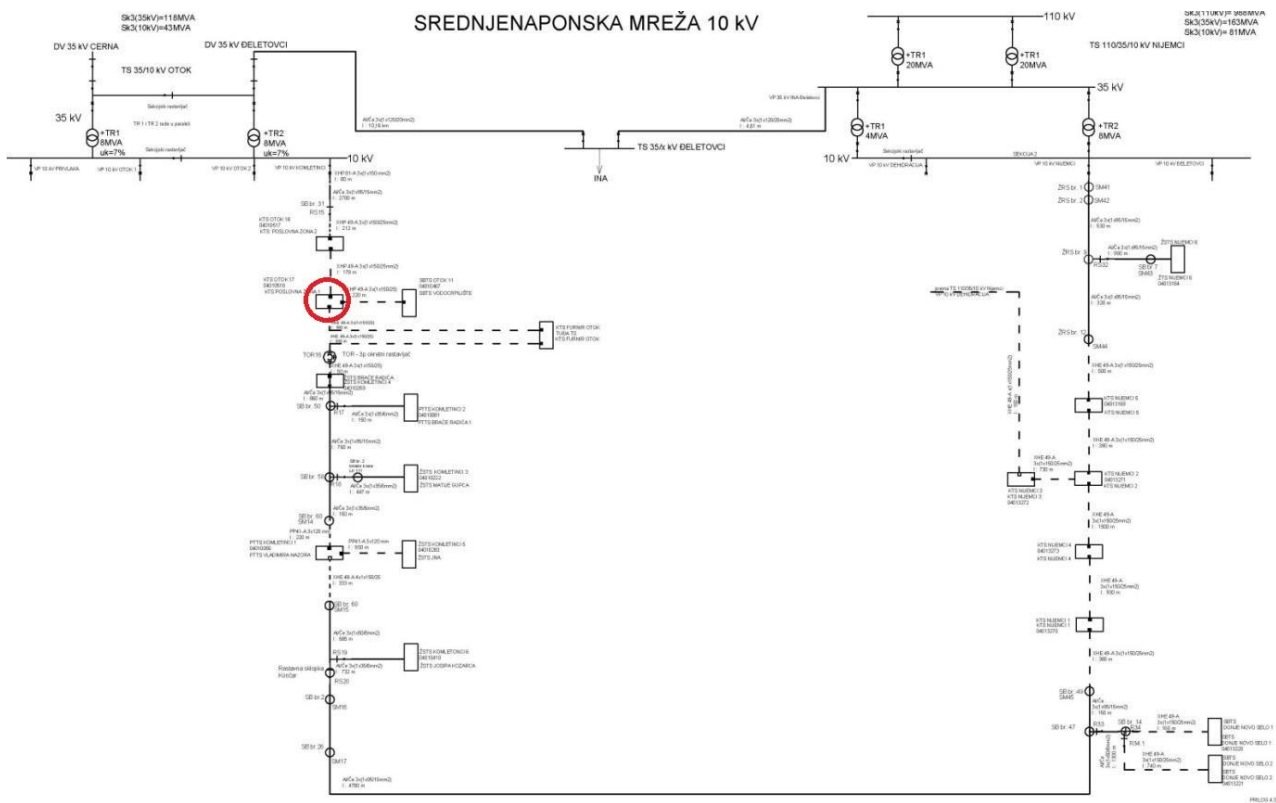
Izmjenjivači su grupirani u dva sklopna bloka AC_SBE A1 i AC_SBE A2 koja se povezuju sa glavnim sklopnim blokom (GSBE) pomoću kojeg je FN elektrana spjena na distributivnu mrežu napona 0,4 kV. FN elektrana Novoselac 3 spojena je direktno na transformatorsku stanicu 10/0,4 kV. Sklopni blok AC_SBE A1 povezuje ukupno 6 izmjenjivača (pet snage 17 kW i jedan snage 12 kW), a sklopni blok AC_SBE A2 povezuje ukupno 5 izmjenjivača (svaki snage 17 kW).

3. Podešenje zaštite

Elaborat podešenja zaštite sadrži program provedbe računalnih simulacija kvarova i poremećaja primjerenih uvjeta paralelnog pogona sredjenaponske mreže i sunčane elektrane Novoselac 3 i to onih stvarno mogućih u pogonu, a s ciljem prepoznavanja vrijednosti karakterističnih veličina za djelovanje zaštite i izbor podešenja zaštite s kojim će se ostvariti zahtjevi selektivnosti, brzine, osjetljivosti i rezerve [5]. Kako elektrana u mreži mijenja električne veličine utjecajne na rad zaštite u mreži, istraživanja su neophodna za izbor optimalnog podešenja postojećih zaštita u SN i NN mreži, onih koje su na sučelju elektrane i NN mreže kao i u samoj elektrani [5]. Krajnji cilj elaborata je optimalno podešenje i djelovanje zaštite u korist sigurnog i pouzdanog pogona mreže i korisnika mreže [5].

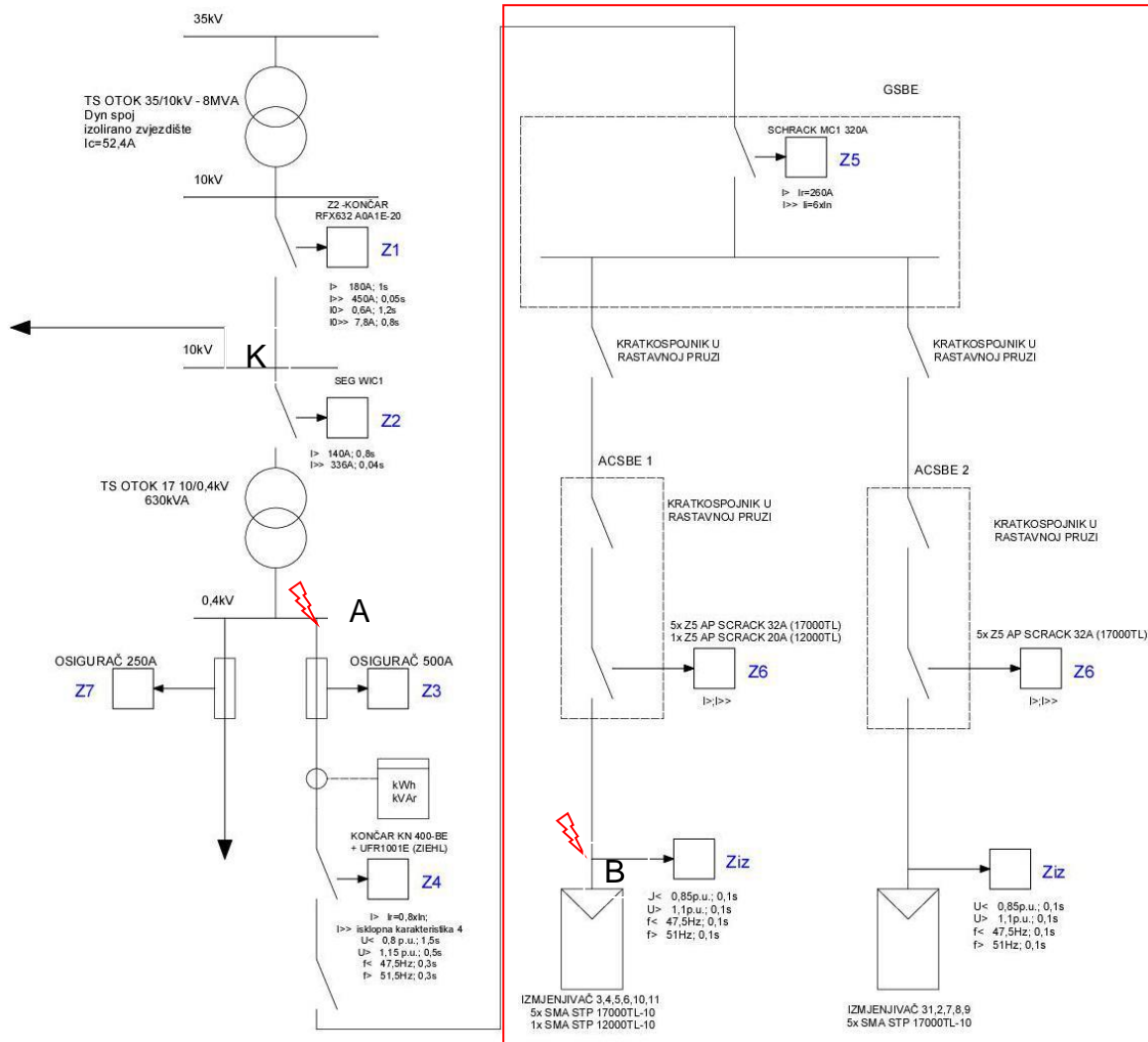
3.1. Postojeće stanje distributivne mreže i način priključenja FN elektrane

Slika 1 prikazuje jednopolnu shemu postojeće 10 kV distributivne mreže prije priključenja FN elektrane Novoselac 3 modeliranu u programskom alatu DIGSilent [8]. Crveni krug označava transformatorsku stanicu 10/0,4 kV na koju će se spojiti FN elektrana Novoselac 3.



Slika 1. Jednopolna shema okolne distributivne mreže

Slika 2 prikazuje nadomjesnu jednopolnu shemu načina priključenja FN elektrane na sekundarnu stranu transformatorske stanice (TS) 10/0,4 kV.



Slika 2. Jednopolna shema okolne distributivne mreže

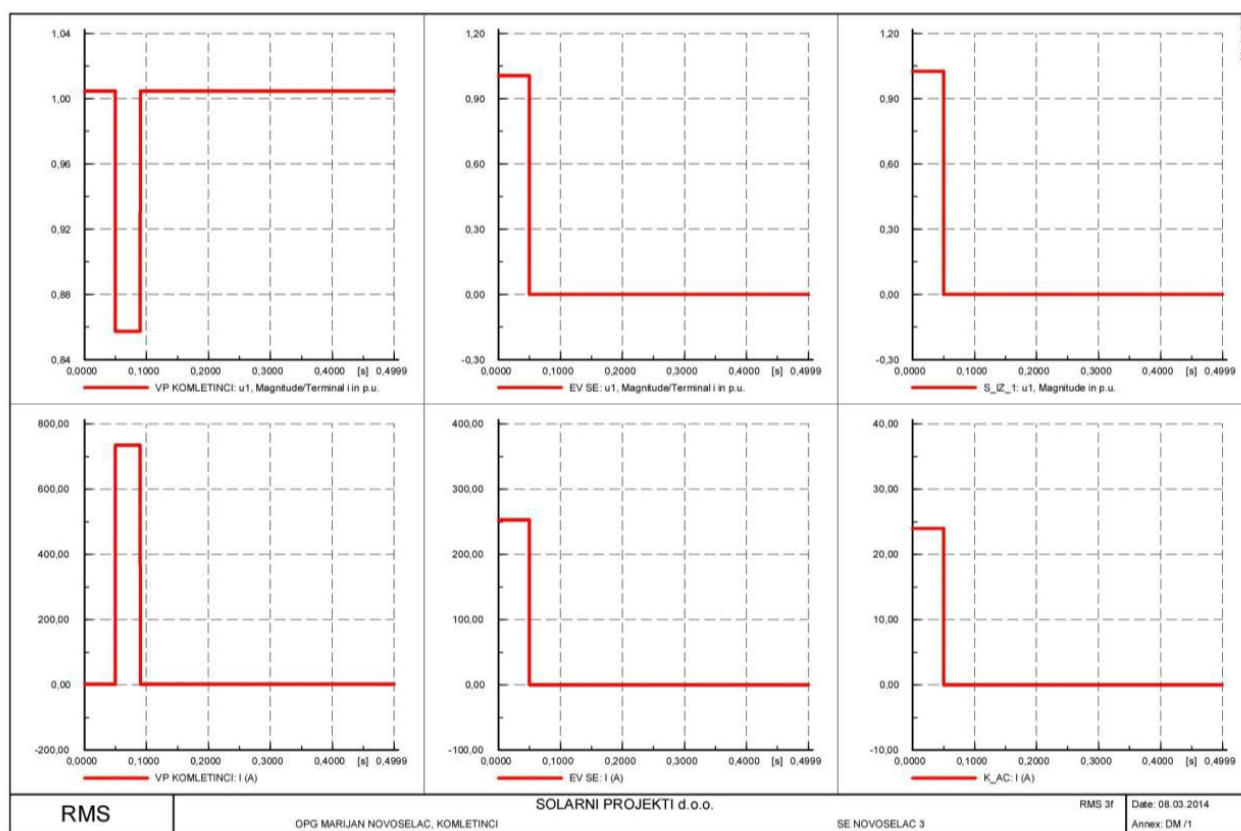
Crvenim pravokutnikom na Slici 2, označena je FN elektrana Novoselac 3. Na jednopolnoj shemi sa Slike 2, prikazani su i zaštitni uređaji FN elektrane kao i postojeći zaštitni uređaji u okolnoj distributivnoj mreži. Zaštita Z1 je relej KONČAR RFX632 A0A1E-20 [9] čija su podešenja vidljiva na Slici 2. Zaštita Z2 se odnosi na relej [10] koji upravlja prekidačem u 10 kV trafopolju u TS 10/0,4 kV čija su podešenja također vidljiva sa Slike 2. Z3 je osigurač nazivne struje 500 A koji štiti dolazni vod FN elektrane Novoselac 3. Zaštita Z7 odnosi se na osigurače ugrađene u NN bloku unutar TS, a koji se nalaze na vodu prema mreži. Zaštita Z4 odnosi se na prekidač snage koji se nalazi unutar NN bloka trafostanice. Ugrađen je prekidač KONČAR KN400-BE – NN kompatibilni prekidač 400A [11] i relej ZIEHL UFR1001E [12]. Zaštita Z5 odnosi se na zaštitni prekidač unutar glavnog sklopnog bloka GSBE sunčane elektrane Novoselac 3. Radi se o kompaktnom prekidaču tipa Schrack MC3C-A320 [13]. Zaštita Z6 odnosi se na automatske prekidače ugrađene u sklopne blokove AC_SBE A1 i u AC_SBE A2. Zaštita Ziz odnosi se na tvorničku zaštitu unutar svakog ugrađenog izmjenjivača. U nastavku poglavlja prikazat će se rezultati simulacije jednog kvara koji se dogodio na strani distributivne mreže i jednog kvara koji se dogodio u samoj FN elektrani. Analizirati će se djelovanje zaštite za oba simulirana kvara.

3.2. Kvar na NN sabirnicama TS 10/0,4 kV

Izvršena je simulacija trofaznog kratkog spoja na lokaciji A (vidi Sliku 2). Simulacija je izvršena u programu DIGSilent PowerFactory [8]. Kratki spoj se događa u trenutku $t = 50$ ms nakon početka simulacije. Trajanje simulacije iznosi 500 ms. Rezultati simulacije pokazuju pobudu i odradu slijedećih elemenata:

- Dolazi do pobude nadstrujnog člana releja zaštite Z2 koji šalje impuls za otvaranje prekidača na 10 kV strani TS 10/0,4 kV. Vrijeme prorade zaštite je 0,04 s. Na ovaj način je pogođena TS uspješno izolirana od ostatka mreže.
- Zbog odvajanja TS na koju je spojena FN elektrana, reagira podnapnska zaštita izmjenjivača Ziz što uzrokuje odvajanje izmjenjivača i FN elektrane.

Slika 3 prikazuje vremensku promijenu efektivnih (RMS) vrijednosti napona i struja u okolici kratkog spoja.



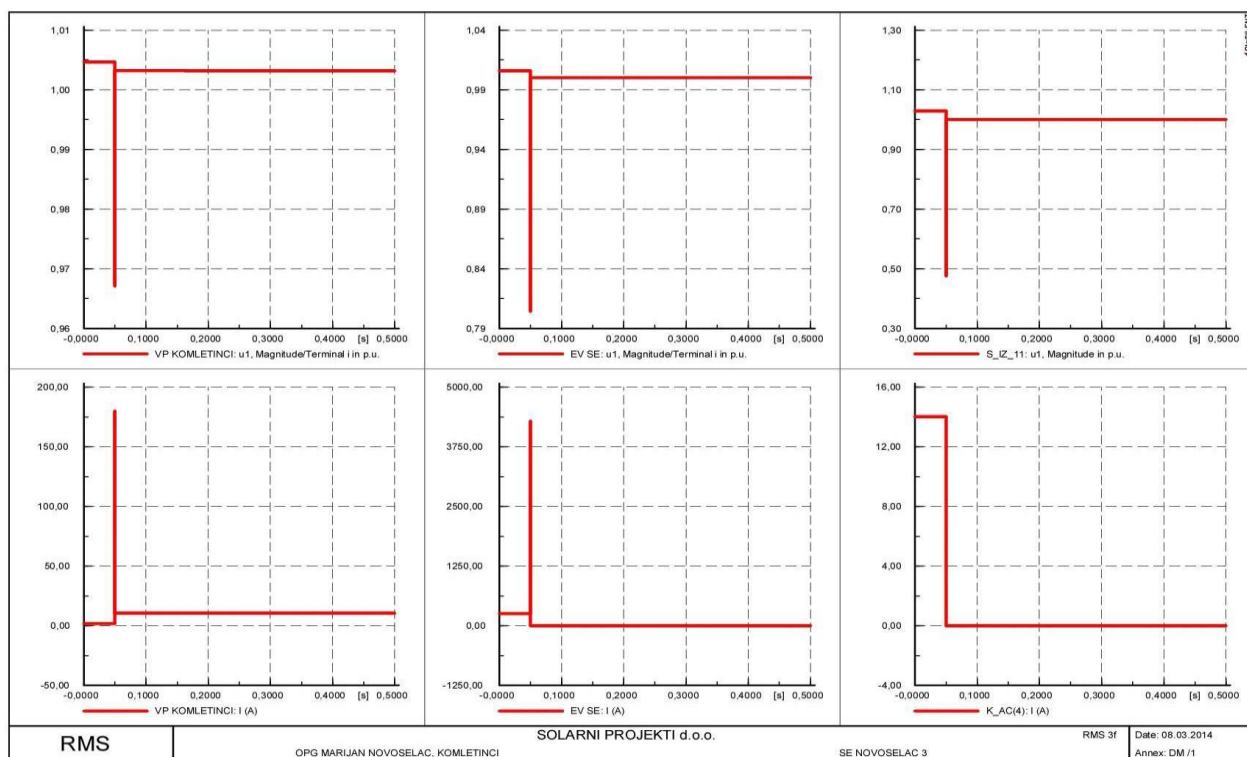
Slika 3. Simulirane RMS vrijednosti napona i struja u okolini kratkog spoja

Na slici gore lijevo prikazan je tijek vrijednosti preostalih faznih napona u vodnom polju Komletinci 10 kV (označeno slovom K na Slici 2). Pri kratkom spoju dolazi do kratkotrajnog propada napona koji se nakon isključenja vraća na svoju radnu vrijednost. Na slici gore u sredini prikazan je tijek vrijednosti preostalih faznih napona na zaštiti Z4. Vidljivo je da proradom prekidača, napon pada na vrijednost 0 V. Na slici gore desno prikazan je tijek vrijednosti preostalih faznih napona na izmjenjivaču 1. Vidljivo je da proradom zaštite, napon na izmjenjivačima pada na vrijednost 0 V. Na slici dolje lijevo prikazan je tijek vrijednosti promjene struje prilikom nastanka kratkog spoja u vodnom polju Komletinci. Na slici dolje u sredini prikazan je tijek vrijednosti promjene struje prilikom nastanka kratkog spoja u energetskom vodu FN elektrane. Vršna vrijednost struje dostiže bitno nižu vrijednost nego

na mjestu kvara, te nakon prorade zaštitnog prekidača opada na 0 A. Na slici dolje desno prikazan je tijek vrijednosti promjene struje prilikom nastanka kratkog spoja na izmjenjivaču 1. Vrijednost struje kratkog spoja na mjestu izmjenjivača iznosi oko 25 A u trenutku kratkog spoja, dok proradom zaštite, vrijednost struje pada na 0 A.

3.3. Kvar na stezaljkama izmjenjivača

Izvršena je simulacija trofaznog kratkog spoja na lokaciji B (Slika 2). Simulacija je izvršna u programu DIgSILENT [8]. Kratki spoj se događa u trenutku $t = 50$ ms nakon početka simulacije. Trajanje simulacije iznosi 500 ms. Slika 4 prikazuje vremensku promijenu efektivnih (RMS) vrijednosti napona i struja u okolici kratkog spoja.



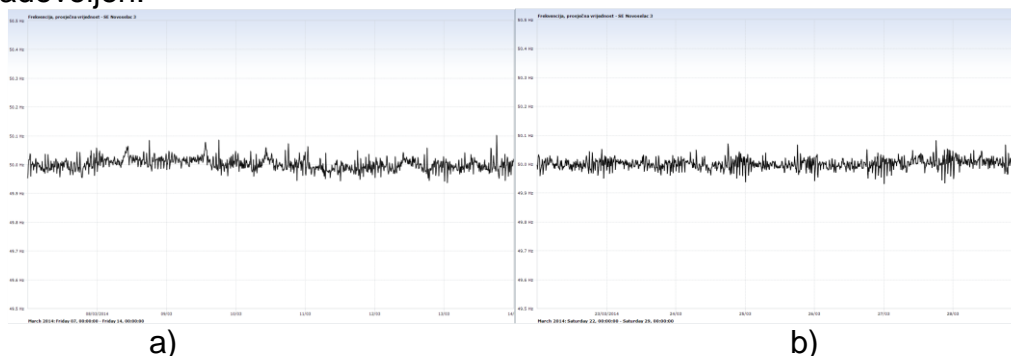
Slika 4. Simulirane RMS vrijednosti napona i struja u okolini kratkog spoja

Na slici gore lijevo prikazan je tijek vrijednosti preostalih faznih napona u vodnom polju Komletinci 10 kV. Prilikom kratkog spoja, napon ima kratkotrajni propad, nakon čega se vraća na vrijednost od prije kratkog spoja. Na slici gore u sredini je prikazan tijek vrijednosti preostalih faznih napona na zaštiti Z4. Prilikom kratkog spoja, događa se kratkotrajni propad napona nakon čega se napon vraća na vrijednost od prije kratkog spoja. Na slici gore desno je prikazan tijek vrijednosti preostalih faznih napona na izmjenjivaču 11. Prilikom kratkog spoja, događa se kratkotrajni propad napona nakon čega se vraća na vrijednost prije kratkog spoja. Na slici dolje lijevo prikazan je tijek vrijednosti struje prilikom nastanka kratkog spoja u VP Komletinci. Nakon trenutnog skoka struje, ona opada na vrijednost prije kratkog spoja. Na slici dolje u sredini je prikazan tijek vrijednosti promjene struje prilikom nastanka kratkog spoja u energetske vodove sunčane elektrane. Nakon trenutnog skoka struje, ona opada na vrijednost od prije kratkog spoja. Na slici dolje desno prikazan je tijek vrijednosti promjene struje prilikom nastanka kratkog spoja na izmjenjivaču 11. Nakon kratkog spoja na stezaljkama izmjenjivača, a nakon prorade zaštite, struja pada na vrijednost 0 A. Rezultati simulacije pokazuju pobudu i odradu slijedećih elemenata:

- Nakon 1 ms dolazi do isključenja automatskog prekidača Z6 (Schrack 32A).
- Izmjenjivačima se aktivira podnaponska zaštita i odvajaju se od mreže.
- Izmjenjivači koji su spojeni na sklopni blok AC_SBE A1 neće startati dok se kvar ne otkloni, a ostali izmjenjivači će se ponovno vratiti u pogon nakon 90 s, jer će se naponske i frekvencijske prilike vratiti na normalne pogonske vrijednosti.

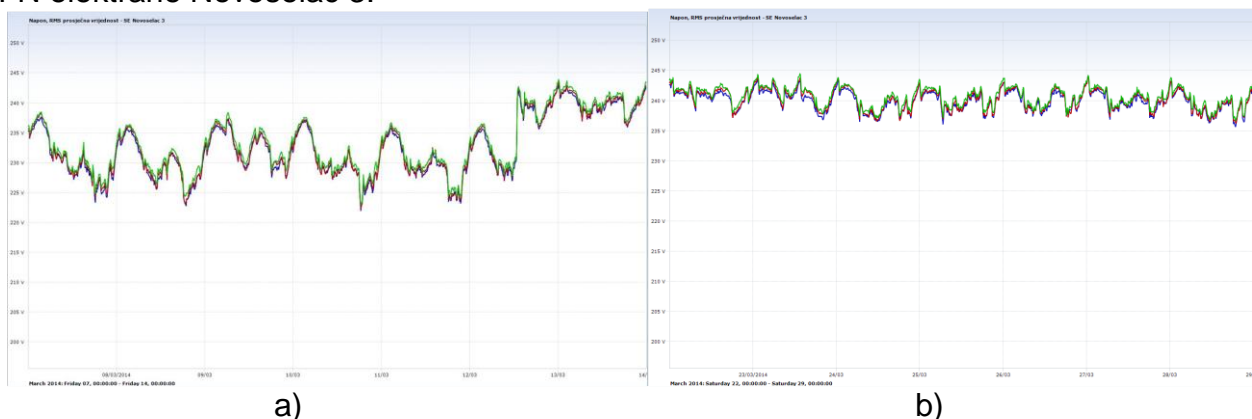
4. Utjecaj FN elektrane na parametre kvalitete opskrbnog napona

Mjerenje kvalitete električne energije obavljeno je 7 dana prije spjanja FN elektrane na mrežu, i 7 dana nakon priključenja elektrane na mrežu. Korišten je uređaj za mjerenje kvalitete električne energije Elspec, tip G3500 Portable Quality Analyzer [14]. Uređaj je moguće parametrirati da mjeri kvalitetu prema više različitih normi, kao i prema aktualnoj normi HRN EN 50160:2012, koja se koristi u Hrvatskoj [15]. Rezultati mjerenja kvalitete električne energije uspoređuju se s normativnim graničnim vrijednostima (HRN 50160:2012) i vrijednostima propisanim u Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava [16]. Zbog nedostatka prostora, prikazat će se samo rezultati mjerenja nekih parametara kvalitete napona. Slika 5 prikazuje izmjerenu frekvenciju prije i nakon uključenja FN elektrane Novoselac 3. Može se vidjeti kako u 99,5% vremena frekvencija ne prelazi granicu od 49,95-50,05 Hz (granica iz Mrežnih pravila [16]) i granicu od 49,95-50,05 Hz (granica iz HRN EN 50160:2012 [15]). Norma HRN EN 50160:2012 [15] propisuje još i da tijekom cijelog mjernog perioda frekvencija ne smije preći granicu od 47-52 Hz te je sa Slike 5 vidljivo da je i ovaj zahtjev zadovoljen.



Slika 5. Mjerene 10-min vrijednosti frekvencije a) prije priključenja FN elektrane b) nakon priključenja FN elektrane

Slika 6 prikazuje promjenu efektivnih vrijednosti napona izmjerenih prije i nakon uključenja FN elektrane Novoselac 3.



Slika 6 Mjerene 10-minutne efektivne vrijednosti napona a) prije priključenja FN elektrane i b) nakon priključenja FN elektrane

Mrežnim pravilima [16] i normom HRN EN 50160:2012 [15], propisano je da u normalnim pogonskim uvjetima napon ne smije preći granicu od +10% i -15% tj. treba biti između 199,5 V i 253 V. Kao što se vidi sa Slike 6, može se zaključiti da mjereni napon ni u jednom trenutku ne prelazi granične vrijednosti. Kao što je pokazano u literaturi [17], FN elektrane emitiraju struju koja u određenim uvjetima može sadržavati više harmonike (uglavnom neparne). Iz toga se može zaključiti kako FN elektrane neće značajno narušiti valni oblik opskrbnog napona. Mjerenjima na FN elektrani Novoselac navedena tvrdnja je i dokazana jer je ukupno harmoničko izobličenje napona (THD_U) prije spajanja FN elektrane 2,3%, a nakon priključenja FN elektrane 2,31%. Norma HRN EN 50160:2012, zahtijeva da ukupno harmoničko izobličenje bude ispod granične vrijednosti od 8% od U_n u 95% desetminutnih srednjih efektivnih vrijednosti, dok Mrežna pravila zahtijevaju da THD u istom razdoblju bude manji od 2,5%. Iz provedenih mjerenja, može se zaključiti kako FN elektrana Novoselec neće negativno utjecati na kvalitetu opskrbnog napona.



Slika 7 FN elektrana Novoselac 3

5. Zaključak

U radu je opisana FN elektrana Novoselac snage 180 kW prikazana na slici /. Prikazani su neki rezultati iz Elaborata podešenja zaštite u kojem su izvršene detaljne simulacije kvarova u okolini FN elektrane u programu DIGSilent. Na taj način, analizirana su podešenja kako zaštite same FN elektrane tako i postojeće zaštite u distributivnoj mreži. Osim utjecaja FN elektrane na zaštitu, analiziran je i utjecaj FN elektrane na parametre kvalitete električne energije. Parametri kvalitete opskrbnog napona snimani su 7 dana prije i 7 dana nakon puštanja u pogon FN elektrane sukladno Mrežnim pravilima HEP-a i hrvatskoj normi HRN EN 50160/2012. Zbog ograničene veličine rada, prikazani su rezultati mjerenja za samo neke parametre kvalitete električne energije. Može se zaključiti kako FN elektrana nema negativan utjecaj na nijedan parametar kvalitete električne energije.

6. Literatura

- [1] Tarifni sustav za proizvodnju el. energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, Vlada Republike Hrvatske, siječanj 2014. godine.
- [2] www.hrote.hr
- [3] Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača el. energije, Mingorp, Zagreb, lipanj 2007.
- [4] <http://www.solarniprojekti.hr/interaktivna-karta.html>

-
- [5] M. Kresonja "Integracija SE srednje snage na distribucijsku mrežu", Spec rad, ETFOS, 2014
- [6] FN modul, http://luxorsolar.com/products/solar_modules/eco_line_60.html
- [7] Izmjenjivač, SUNNY TRIPOWER, Manual, STP15-20TLEE-IA-en-23, Version 2.3
- [8] DIgSILENT PowerFactory 14.1 software, User Manual, Gomaringen 2014
- [9] Numerički relej Končar RFX632, Inem Končar, KONPRO, Katalog, 2013
- [10] Releji SEG, „WIC1 Time Overcurrent and Earth Current Relay“ Woodward, User Manual, July 2008
- [11] Končar KN400-BE „NNi kompaktni prekidači serije KN“ Katalog Končar 2013
- [12] UFR1001E-Voltage and Frequency Relay, ZIEHL industrie-elektronik, D-74523 Schwäbisch Hall, 2013
- [13] Prekidač Schrack MC3C-A320, Katalog Schrack k_mccb-e10_24-43_en, 2014
- [14] Portable Power Quality Analyzer Elspec, tip G3500 BlackBox, User Manual
- [15] HRN EN 50160:2012, Naponske karakteristike električne energije iz javnog distribucijskog sustava
- [16] Mrežna pravila HEP-a, Mingorp Zagreb, ožujak 2006.

Prednosti implementacije napredne CRM strategije na mobilnoj platformi kod operatora distribucijskog sustava

The benefits of implementation of advanced CRM strategy on mobile platform for the distribution system operator

J. Dizdarević^{1*}, V. Karahodžić²

¹ Mr.sci., Kantonalno javno komunalno poduzeće (KJKP) Sarajevogas d.o.o., Sarajevo, Bosna i Hercegovina

² MoE., Sarajevo School of Science and Technology(SSST), Sarajevo, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju. E-mail: jasminad@sarajevogas.ba

Sažetak

Upravljanje odnosima sa kupcima (engl. *Customer Relationship Management*, CRM) predstavlja za današnje kompanije veoma važan segment poslovne strategije za očuvanje kredibiliteta, poslovne izvrsnosti i profitabilnosti, kroz jedan kontinuiran proces stvaranja zadovoljstva pruženim uslugama i/ili proizvodima kod krajnjih kupaca. Uspješno implementiranom CRM marketing strategijom se postiže stalno privlačenje novih i zadržavanje postojećih kupaca a naročito onih iz kategorije ključnih (profitabilnih). Ekspanzivnim razvojem ICT sektora posljednjih nekoliko godina a naročito web tehnologije i mobilnih platformi, stvorile su se mogućnosti za ojačavanje ovog segmenta poslovanja na jednostavan način i bez pretjeranih ulaganja.

KJKP Sarajevogas je u *Planu razvoja Informacionog sustava za 2014-2016. godinu* specificirao izradu namjenske mobilne aplikacije koja daje podršku u CRM segmentu poslovanja. Ova aplikacija će korisnicima biti dostupna za preuzimanje preko današnjih popularnih tržišta mobilnih aplikacija te preko aktuelne korporacijske web stranice. Nakon unosa potrebnih pristupnih (login) podataka, korisnici će imati uvid u stanje njihovih računa, traživanja, dugovanja, opomene i slično, te će putem ove aplikacije moći podnijeti i reklamaciju direktno putem dostupnog mobilnog uređaja. Grupe reklamacija koje su podržane aplikacijom odnose se na fakturiranje i dostavu faktura; ispravnost mjernih uređaja, trošila i kvalitetu plina; priključak na distributivnu plinsku mrežu te ovjeru tehničke dokumentacije. Po podnošenju, ove reklamacije će se slijevati u Centralnu Oracle bazu podataka i tako odmah biti dostupne referentima koji rade na obradi reklamacija, kroz istoimenu web aplikaciju. Potrošači plina i ostali aplikacijski korisnici će u svakom momentu biti upoznati sa statusom njihove reklamacije ili neke druge vrste upita. Kroz ovu aplikaciju će se vršiti i anketiranje korisnika, te ostale marketinške aktivnosti (promocija posebnih paketa, popusti, obavještenja i dr.).

Brojne su prednosti razvoja mobilne CRM aplikacije za operatora distribucijskog sustava, a najvažniji uključuju: jačanje povezanosti sa kupcima plina, detekcija ključnih (profitabilnih)

kupaca, pružanje dodatnih usluga i stvaranje zadovoljstva kod korisnika, značajno smanjenje marketinških troškova itd.

Abstract

Customer Relationship Management (CRM) represent for today's companies a very important segment of the business strategy to preserve credibility, operational excellence and profitability, through a continuous process of creation of satisfaction with the services provided and/or products for end customers. Successful implementation of CRM marketing strategy is achieved by continuously attracting new and retaining existing customers and especially those in key categories (profitable). Expansion of the ICT sector in recent years and especially web technology and mobile platforms, have created opportunities for strengthening this segment in a simple way and without excessive investment.

KJKP Sarajevogas in the *Information System Development Plan for 2014-2016*. year specified implementation of dedicated mobile application that gives support to the CRM business segment. This application will be available for users to download through today's popular market of mobile applications and via current corporate website. After entering the required access information (login), users will have an insight into the state of their accounts, claims, debts, reminders, etc. and through this application will be able to submit the complaint directly accessible via mobile devices. Groups of complaints that are supported by application relate to invoicing and delivery of invoices; accuracy of measuring devices, appliances and quality of gas; connection to the gas distribution network and verification of technical documentation. By submitting, these complaints will pour into the Central Oracle database and thus be immediately available to officers who work in processing complaints, through the eponymous web application. Gas consumers and other application users will at all times be aware of the status of their complaints or other types of queries. Through this application will be conducted an interviewing of users, and other marketing activities (promotion of special packages, discounts, notices, etc.).

There are many benefits of development of CRM mobile application for the distribution system operator, the most important include: strengthening connections with gas consumers, detection key (profitable) customers, providing additional services and create satisfaction for end users, significantly reducing the cost of marketing promotion etc.

Ključne riječi: upravljanje odnosima sa kupcima, profitabilni kupci, CRM marketing strategija, mobilne tehnologije i platforma, CRM mobilna aplikacija za operatora distribucijskog sustava.

1. Uvod

Upravljanje odnosima sa kupcima predstavlja dio poslovne politike koji omogućava integriran pristup identifikaciji, stjecanju i zadržavanju kupaca. Pri tome se omogućava interakcija sa kupcima preko više kanala, organizacionih odjela ili različitih lokacija, te se na taj način povećava vrijednost svake interakcije s kupcima i osigurava visok nivo poslovne učinkovitosti. Ipak, efikasnost CRM-a se naročito ogleda u mogućnosti prikupljanja, skladištenja, obrade i analize velikog broja različitih informacija o kupcima, a zatim njihovoj međusobnoj usporedbi, traženju skrivenih obrazaca i primjeni novih saznanja direktno u poslovanju.

KJKP Sarajevogas je u *Planu razvoja Informacionog sustava za 2014-2016. godinu* specificirao izradu namjenske mobilne aplikacije koja daje podršku u CRM segmentu

poslovanja. Implementacijom ovog unaprijeđenog CRM sustava ostvarit će se brojne prednosti među kojima najvažniji uključuju sljedeće:

- racionalizacija, automatizacija i ubrzanje poslovnih procesa (prodaja i marketing),
- ostvarivanje profitabilnijih odnosa sa kupcima i ostalim klijentima,
- brže reagiranje na korisničke upite i reklamacije,
- pružanje bolje i potpunije informacije kupcima i ostalim klijentima vezano za prodaju, marketing i druge segmente poslovanja,
- preciznije targetiranje i detekcija ključnih, profitabilnih poslovnih subjekata,
- smanjenje troškova prodaje i marketinga te ukupnog poslovanja, uz povećanje prihoda,
- smanjenje administrativnih aktivnosti, te potrebnih ljudskih i ostalih resursa pri obavljanju poslovnih aktivnosti i zadataka,
- pružanje dodatnih usluga i stvaranje zadovoljstva kod korisnika,
- kolaboracija postojećih aplikacija i uvezivanje kroz mobilnu integriranu platformu,
- razvoj novog modela podataka za podršku CRM segmentu poslovanja,
- analiza i statistika CRM baze podataka, itd.

2. Konvencionalni sustavi za upravljanje reklamacijama – KJKP Sarajevogas d.o.o.

2.1. Opis i analiza sustava

Osnovni cilj uspostave sustava za upravljanje reklamacijama u poslovanju operatora distribucijskog sustava tj. ODS-a je da se omogući prijem, evidentiranje i rješavanje reklamacija kupaca te na taj način osigura kontinuirano poboljšanje i unaprijeđenje kvaliteta usluga distributera. Međutim, postojeći, konvencionalni sustav za upravljanje reklamacijama koji je implementiran i primjenjuje se u sektoru marketinga KJKP Sarajevogasa, bazira se na korištenju izoliranog, desktop aplikativnog rješenja i istih takvih, pripadajućih kolekcija podataka koje su dostupne samo ograničenom broju privilegiranih korisnika, dok ostali korisnici organizacije nemaju omogućen pristup sustavu u obimu u kojem je to potrebno. S time u vezi su ograničene i mogućnosti ovog sustava u poboljšanju i unaprijeđenju kvaliteta pružanja usluga i ostalih interakcija sa klijentima.

Sve ovo ukazuje na potrebu za novim, sustavnim pristupom i naprednijim modelom upravljanja reklamacijama i ostalim CRM kontaktima klijenata operatora distribucijskog sustava. Za cjelovito CRM upravljanje, od esencijalnog je značaja uvezivanje svih poslovnih procesa i sudionika koji učestvuju u procesu kreiranja tj. stvaranja CRM i ostalih vezanih podataka kako bi se svi 'otočni' izvori podataka identificirali i povezali preko zajedničke korporacijske sabirnice a zatim migrirali u Centralnu bazu, te na taj način integrirali i učinili dostupnim za korištenje u drugim organizacionim jedinicama i informacionim sustavima kompanije. Time se osigurava isporuka prave informacije u pravo vrijeme u željenom formatu, te omogućava prepoznavanje potencijalnih rizika/šansi i upravljanje svakodnevnim promjenama, a sveukupno se dobiva alat za uvid i analizu prošlih, trenutnih i budućih pogleda na poslovanje kompanije. Sve ovo opravdava ulaganja u razvoj naprednog CRM sustava za podršku upravljanju reklamacijama ali ostalim kontaktima i interakcijama kupaca i klijenata.

3. Tok procesa i upravljanje reklamacijama u poslovanju ODS-a

Općenito, tok procesa upravljanja reklamacijama se odvija u tri osnovne faze koje uključuju: prijem reklamacije, evidentiranje te razmatranje i rješavanje istoimene reklamacije. Dalje se svaka od ovih faza razlaže na pripadajuće podfaze koje podrazumijevaju niz odgovarajućih aktivnosti, zadataka i vezanih odgovornosti. U

dosadašnjoj praksi, reklamacije na kvalitetu usluga i proizvoda KJKP Sarajevogas kupci su dostavljali u pisanoj formi i to na više načina:

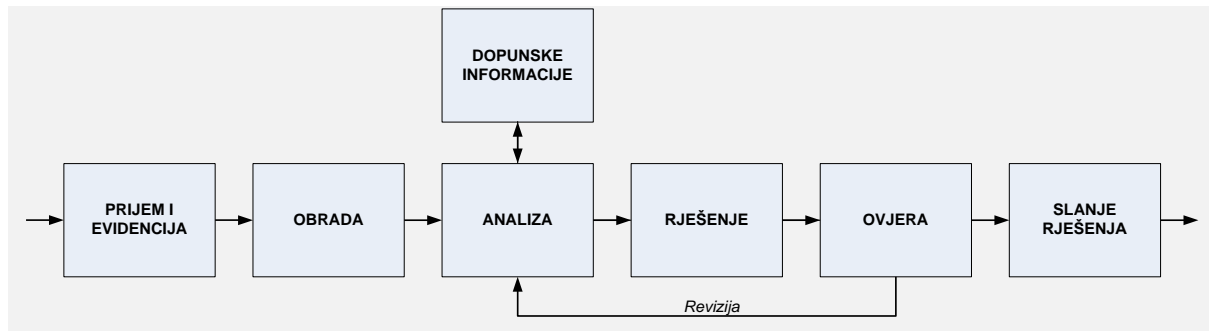
- lično tj. predajom reklamacije u jedan od centara za kupce (CZK) Sarajevogasa,
- poštom (fax, pismo, e-mail, itd.),
- telefonom (samo u slučaju kada se radi o anonimnom ili pozivu kupca koji zahtijeva hitnu intervenciju ekipe KJKP „Sarajevogas“-a u situacijama poput eksplozije, požara, ne kontroliranog isticanja plina u zatvorenom i otvorenom prostoru gdje postoji mogućnost stvaranja eksplozivne smjese i ugrožavanja lica i imovine, ugroženost pojavom klizišta ili drugim opasnim radovima u blizini plinskog sustava, nestanak ili smanjenje dotoka plina za određeno područje ili cijelom plinskom sustavu. Obaveza svakog uposlenika poduzeća je da odmah po prijemu ovakvog poziva pozove i obavijesti Dispečerski centar poduzeća i upozna dežurnog sa sadržajem obavljenog razgovora i zahtjevom pozivatelja),
- web poruke - prijem, evidentiranje, priprema i dostavljanje odgovora na web poruke (reklamacije) se vrši u skladu sa važećim, općim uputama (*OU-00-19, Upute za izradu i održavanje web stranice*).

Sada se otvara mogućnost za podršku novom načinu podnošenja reklamacija i ostalih upita, putem mobilnih uređaja, što uvelike ubrzava i pojednostavljuje čitav proces, a sustav čini visoko dostupnim, uz implementaciju potrebnih mehanizama zaštite i sigurnosti osjetljivih informacija i podataka.



Slika 1. Kanali podnošenja reklamacija

Sve reklamacije se procesuiraju po redu prijema i u predviđenom vremenskom roku, u skladu sa važećom procedurom koja je propisana *TU-02-04-5 Tehničkim uputstvom za rješavanje reklamacija kupaca*. Ovo tehničko uputstvo se primjenjuje u svim organizacionim dijelovima Sarajevogasa koji učestvuju u prijemu i rješavanju reklamacija kupaca. Na sljedećoj slici je prikazan generički tok procesa upravljanja reklamacijama:



[Izvor: F.Brdarević, N.Uzunović,
„Upravljanje reklamacijama kupaca/korisnika u funkciji unapređenja prodaje“,
8. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "KVALITET 2013", Neum, BiH, 2013]

Slika 2. Generički tok procesa upravljanja reklamacijama

Reklamacija treba minimalno sadržavati sljedeće podatke: ime podnosioca koji ulaže reklamaciju, punu adresu podnosioca i razlog zbog kojeg podnosi reklamaciju. Svaku primljenu reklamaciju neophodno je kronološki evidentirati i uputiti zaduženim licima za prijem, obradu i rješavanje korisničkih reklamacija. Potom se svaka reklamacija svrstava u grupu tipskih reklamacija kao na primjer: na kvaliteta usluge, na visinu računa, na rad uposlenika itd. Za svaku reklamaciju treba provjeriti navode iz reklamacije, utvrditi uzrok reklamacije i ukoliko je potrebno od ostalih dijelova poduzeća kojih se tiče reklamacija zatražiti dodatna i potpunija obrazloženja. Nakon detaljnog i sveobuhvatnog sagledavanja i obrade reklamacije potrebno je donijeti Rješenje ili Odluku o prihvaćanju ili odbacivanju iste reklamacije u kojoj će se detaljno objasniti razlozi koji su doveli do donošenja adekvatnog rješenja/odluke. Svako rješenje/odluke se ovjerava od strane najviših rukovodilaca a zatim dostavlja na propisani način, u predviđenom vremenskom roku. Samo na ovakav način utvrđena procedura za upravljanje reklamacijama, korisnicima daje sigurnost i ozbiljnost u pogledu procesuiranja njihovih reklamacija.

4. Uspostava mobilne platforme za podršku CRM-a i mobilnom poslovanju ODS-a

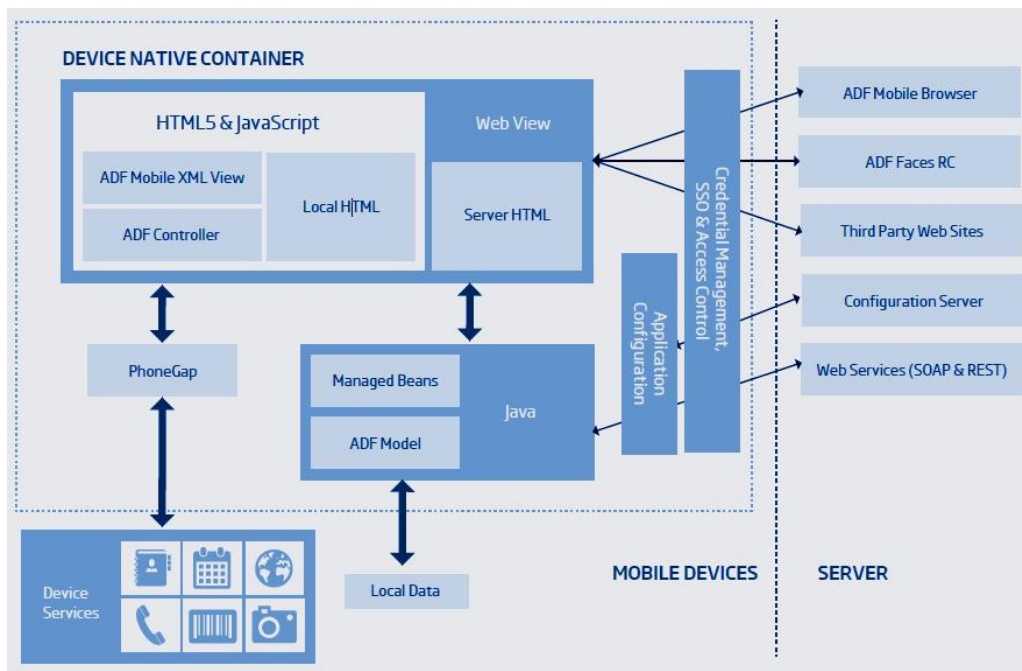
S ciljem pružanja dodatne podrške različitim profilima korisnika kao i kontinuiranog unaprjeđenja i razvoja u različitim segmentima poslovanja poduzeća, **Sarajevogas ICT tim je odlučio da, u periodu 2014-2016. godina, krene sa uvođenjem mobilne tehnologije i platforme u poslovanje te realizacijom nove vrste aplikacija koje će biti dostupne svima i u svakom trenutku, sa svake lokacije, uz implementirane mehanizme sigurnosti i zaštite podataka.** Naime, riječ je o namjenskim mobilnim aplikacijama koje će služiti kao podrška poslovanju kako uposlenicima poduzeća tako i ostalim subjektima koji će se tako uključiti u poslovnu komunikaciju (partneri, potrošači plina te obični korisnici). Na ovaj način će se „dijeljenim“ podacima Sarajevogasa moći pristupiti korištenjem različitih dostupnih, mobilnih uređaja koji se danas mogu naći na slobodnom tržištu. Imajući u vidu činjenicu da tržište mobilnih aplikacija, posljednjih nekoliko godina u svijetu, bilježi eksplozivni rast, to je i izrada aplikacija za mobilne platforme logičan izbor kompanija koje žele ponuditi i prilagoditi svoje servise, te ići u korak sa tehnologijom i zahtjevima okruženja. Za ovakav eksplozivni napredak mobilne tehnologije postoji čitav niz faktora a neki od najvažnijih su sljedeći:

- trenutno 80% svjetske populacije posjeduje mobilni uređaj,
- 1,2 milijardi korisnika Interneta,
- u svijetu ima više mobilnih uređaja nego računara,

- 1 od 7 pretraga dolazi sa mobilnih telefona,
- evidentan je vrhunac potražnje mobilnih aplikacija u 2013.godini,
- sve više korisnika pristupa internetu preko mobilnih nego desktop uređaja, itd.

Stoga je izrada mobilnih aplikacija neizbježna ukoliko se želi ostati konkurentan i u toku sa suvremenim tehnološkim trendovima. Plan je da se razvijene mobilne aplikacije stave na raspolaganje svim korisnicima koji će ih moći preuzeti sa standardnih, popularnih tržišta mobilnih aplikacija.

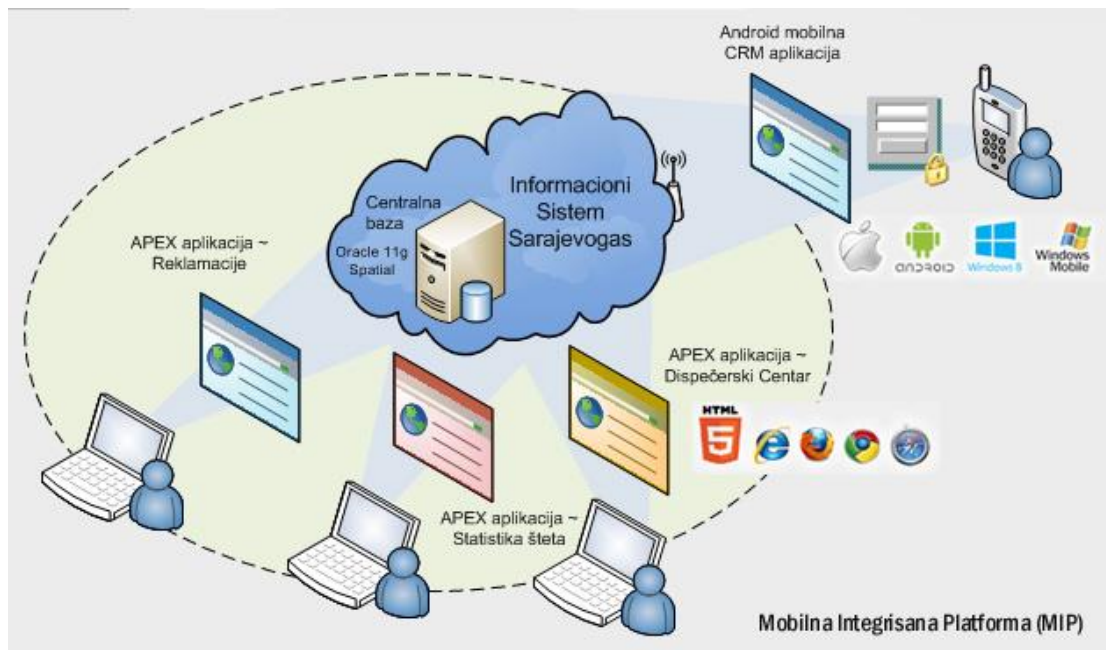
Konkretno, arhitektura utvrđene mobilne platforme se bazira na tzv. Oracle Middleware aplikaciji - ADF Mobile. Ista sadržava čitav niz protokola i interfejsa REST, HTML5, AJAX, portlete itd, kao i Java EE6 za podršku poslovnoj logici (eng. *Business Logic*), kako je to prikazano na sljedećoj slici:



[Izvor: K.Anush, „Mobilizing Oracle applications ERP, An Approach for Building Scalable Mobility Solutions“, 2013]

Slika 3. Arhitektura mobilne platforme

Osim toga, planirana je uspostava **mobilne integrirane platforme (MIP)** tako da se omogući razvoj različitih mobilnih aplikacija i pristup Oracle Spatial bazi podataka. Time će se omogućiti integracija postojećih podataka i aplikacija sa mobilnom platformom. Kombinacijom različitih tehnologija i mjera sigurnosti i zaštite (autentikacija, enkripcija, sigurnosni ključevi, kontrola pristupa itd.) moći će se pristupiti podacima Centralne Sarajevogas baze podataka korištenjem različitih uređaja, koji korisnicima u tom trenutku budu pri ruci, kako je to prikazano na sljedećoj slici:



Slika 4. Interakcija korisnika i aplikacija kroz uspostavu mobilne platforme

Nakon unosa potrebnih pristupnih (login) podataka, korisnici će imati uvid u stanje njihovih računa, potraživanja, dugovanja, opomene i slično, te će putem CRM aplikacije moći podnijeti i reklamaciju direktno putem mobilnog uređaja. Ove reklamacije će se potom slijevati u Centralnu Oracle bazu podataka i biti odmah dostupne referentima koji rade na obradi reklamacija, kroz istoimenu aplikaciju. Reklamacije i ostali podaci će biti dostupni i uposlenicima Dispečerskog centra koji će biti aktivni korisnici ove aplikacije. U okviru aplikacije za vođenje Statistike šteta, planira se izvršiti nadogradnja tako da se ima uvid u podatke vezano za reklamacije. Također, putem ove mobilne aplikacije će se moći prijaviti i sva oštećenja na distributivnoj plinskoj mreži koja će biti uvezana sa spomenutom APEX aplikacijom za statistiku šteta. Na ovaj način će predmetna mobilna aplikacija dati dodatnu podršku u CRM segmentu poslovanja. Otvorene su i druge mogućnosti poput plaćanja računa putem mobilnih uređaja i slično.

5. Razvoj unaprijeđenog CRM sustava za upravljanje reklamacijama kupaca

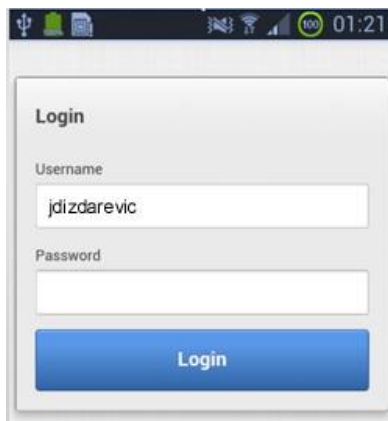
5.1. Korisnički interfejs mobilne CRM aplikacije

U razvoju mobilnih aplikacija jedan od većih izazova predstavlja dizajn samog korisničkog interfejsa. Developeri moraju uzeti u obzir veoma mali ekran u odnosu na desktop monitor, kao i da umjesto miša, korisnici sada koriste svoje prste ili specijalne pointere.

Bazirajući se na postojećoj tehnologiji, Oracle Application Express (APEX) 4.2., Sarajevogas ICT timu je omogućeno da sada za jednu te istu aplikaciju istovremeno razvije kako desktop tako i mobilni korisnički interfejs UI (eng. *User Interface*). Tako ukoliko se krajnji korisnik logira u aplikaciju sa mobilnim uređajem, tada će mobilne stranice biti renderirane, dok logiranjem na desktop aplikaciju dolazi do renderinga desktop korisničkih stranica. S tim u vezi je različito i korisničko iskustvo u zavisnosti od korištene verzije aplikacije. Npr. dok se za desktop forme vežu standardni izvještaji različitih formata, tako su u mobilnim aplikacijama umjesto izvještaja dostupne liste podataka sa prikazom samo ključnih elemenata aplikacije.



CRM mobilna aplikacija nudi real-time uvid u reklamacije kupaca i ostalih korisnika te daje status istih kao i druge relevantne podatke. Kroz samu aplikaciju je potrebno izvršiti logiranje sa vlastitim login podacima u cilju autorizacije i autentifikacije korisnika te dodjelu prava i privilegija za rad. Funkcionalnost logiranja je implementirana kroz zaseban sigurnosni modul, na više razina sustava.



Slika 5. CRM aplikacijski interfejs za mobilne uređaje

6. Prednosti implementacije mobilne CRM aplikacija ODS-a

Brojne su prednosti razvoja mobilnih aplikacija za operatora distribucijskog sustava, a najvažniji uključuju: jačanje povezanosti sa kupcima plina, detekcija ključnih (profitabilnih) kupaca, pružanje dodatnih usluga i stvaranje zadovoljstva kod korisnika, proširenje aktuelne palete korisnika Informacionog sustava, kontinuirani razvoj sustava, smanjenje potrebnih ljudskih i ostalih resursa pri obavljanju poslovnih aktivnosti, značajno smanjenje marketinških troškova, promocija kompanije, konkurentnost i slijeđenje tehnoloških trendova itd. **U konačnici, najveća prednost se odnosi na potpunu povezanost klijenta sa svim procesima kroz koji se vodi.** Također, tu je i mogućnost za automatizirano provođenje marketing aktivnosti (korištenjem baze podataka dolazi se do određenih spoznaja o kupcima, demografskim, geografskim, bihejviorističkim i ostalim značajkama itd.), a promocijske aktivnosti se sada usmjeravaju i targetiraju prema pojedinim tržišnim segmentima odnosno ključnim (profitabilnim) kupcima.

7. Zaključak

Customer Relationship Management (CRM) predstavlja skup alata za upravljanje poslovanjem i odnosima sa klijentima. Uvođenjem CRM sustava u poslovanje omogućava se jednostavnije praćenje rada svih uposlenika uključenih u aktivni proces, te se ubrzava rad sa klijentima. U današnjim uvjetima oštre tržišne borbe za svakog klijenta, CRM se pokazuje kao jedna od glavnih prednosti i neminovnih alatki za podršku učinkovitijem poslovanju. Implementacijom CRM rješenja, brzo se ostvaruje i povrat uloženi investicija kroz ostvarenu tržišnu prednost i unaprijeđeno poslovanje. Brojne su prednosti koje CRM rješenje pruža, a neki od najvažnijih uključuju: smanjenje administracije, kvalitetniji odnos sa kupcima i ostalim klijentima, brža poslovna komunikacija, objedinjavanje svih korisničkih podataka, optimiziran protok informacija u kompaniji, poboljšanje poslovnih procesa, smanjenje troškova poslovanja, jačanje konkurentne prednosti itd.

8. Literatura

- [1] KJKP Sarajevogas, „Plan razvoja Informatičkog sustava za 2014-2016. godinu“, 2014
- [2] KJKP Sarajevogas, „TU-02-04-5 Tehničko uputstvo za rješavanje reklamacija kupaca“, 2012
- [3] KJKP Sarajevogas, „OU-00-19-2 Uputstvo za izradu i održavanje web stranice“, 2013
- [4] F.Brdarević, N.Uzunović, „Upravljanje reklamacijama kupaca/korisnika u funkciji unapređenja prodaje“, 8. Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem "KVALITET 2013", Neum, BiH, 2013
- [5] K.Anush, „Mobilizing Oracle applications ERP, An Approach for Building Scalable Mobility Solutions“, 2013

Analiza raspodjele troškova toplinske energije u stambenim zgradama sa zajedničkim mjerilom toplinske energije nakon ugradnje razdjelnika topline

M. Marjanović*, R. Krklec

HEP-Toplinarstvo d.o.o., Zagreb, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: mario.marjanovic@hep.hr

Sažetak

Raspodjela troškova toplinske energije u zgradama sa zajedničkim mjerilom toplinske energije se godinama vršila prema udjelu površine stambene jedinice u ukupnoj površini grijanog objekta. Zbog nemogućnosti mjerenja individualne potrošnje, kao i nemogućnosti regulacije potrošnje u zasebnim stambenim jedinicama, ovakve zgrade u pravilu imaju veću potrošnju toplinske energije od stambenih zgrada u kojima svaka stambena jedinica ima vlastito mjerilo toplinske energije. Razdjelnici topline omogućavaju raspodjelu toplinske energije prema udjelu potrošnje toplinske energije pojedine stambene jedinice u ukupno isporučenoj toplinskoj energiji očitanoj na zajedničkom mjerilu toplinske energije, što indirektno omogućuje i reguliranje vlastitih troškova za isporučenu toplinsku energiju. Zbog toga su se suvlasnici pojedinih objekata odlučili na ugradnju razdjelnika topline, a donošenjem Zakona o tržištu energije (NN 80/13) sve stambene jedinice u zgradama sa zajedničkim mjerilom toplinske energije, radi racionalnijeg korištenja energije, morati će ugraditi uređaje za regulaciju odavanja topline i uređaje za lokalnu razdiobu isporučene toplinske energije (razdjelnik) ili mjerila za mjerenje potrošnje toplinske energije.

Cilj ovog rada je, na primjeru nekoliko stambenih zgrada u kojima su ugrađeni razdjelnici topline, analizirati raspodjelu toplinske energije nakon ugradnje razdjelnika u odnosu na raspodjelu prije ugradnje razdjelnika, te prikazati kako se promjena raspodjele odrazila na pojedine stambene jedinice. Također, usporedbom ukupne potrošnje toplinske energije na zajedničkom mjerilu, prije i nakon ugradnje razdjelnika, utvrdit će se na koji način promjena načina raspodjele troškova utječe na uštede toplinske energije.

Ključne riječi: razdjelnik topline, energetska učinkovitost, raspodjela troškova toplinske energije

1. Uvod

Rast cijena energije i povećanje ekološke svijesti u društvu, uz istovremeni pad stvarnih prihoda doveli su do potrebe za energetske učinkovitijem ponašanjem, koje je moguće ostvariti ispunjavanjem dva preduvjeta, a to su mogućnost mjerenja stvarne potrošnje energije i mogućnost upravljanja potrošnjom putem regulacije.

Kako bi se povećala energetska učinkovitost u stambenim objektima koji za zagrijavanje prostora i pripremu sanitarne tople vode koriste toplinsku energiju iz centraliziranih toplinskih sustava ili zajedničkih kotlovnica potrebno je poduzeti niz aktivnosti, kako na strani proizvodnje, distribucije i opskrbe toplinskom energijom, tako i na strani potrošača. Dok su na strani ponude toplinske energije ove mjere uglavnom tehničke i tehnološke prirode, kod

potrošača je potrebno provoditi i edukativne i promotivne aktivnosti kako bi se probudila svijest o racionalnom raspolaganju energijom.

Analizom razine postignutih standarda po pitanju mjerenja i upravljanja potrošnjom toplinske energije uočljivo je da zemlje sa višim životnim standardom odskaču u odnosu na one manje razvijene.

Energetska efikasnost uvjetovana je tehnološkom razinom i načinom života jednog društva. Iz tehnološke razine kao temeljnog mjerila energetske efikasnosti proizlazi da nerazvijene zemlje koje nemaju vlastitu suvremenu tehnologiju, ne mogu imati koncept razvoja jednak razvijenim zemljama, pa će stoga one zaostajati u energetskej efikasnosti sve dok ne postignu industrijski razvoj [1].

2. Ranija zakonska regulativa kao preduvjet individualizacije potrošnje

Europska unija traži od svojih članica pojačano uvođenje individualnog mjerenja toplinske energije sa ciljem štednje energije i smanjenja emisije stakleničkih plinova, omogućavajući krajnjim potrošačima praćenje i utjecaj na potrošnju toplinske energije. U tom smislu je EU još 1993. donijela Direktivu 93/76/EZ kojom se od država članica između ostalog traži formuliranje i provedba programa naplate troškova grijanja, hlađenja i tople vode prema stvarnoj pojedinačnoj potrošnji. Nakon toga se ovom problematikom bave i Direktiva o energetskej karakteristikama zgrade 2002/91/EZ i Direktiva 2006/32/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 5. travnja 2006. o energetskej učinkovitosti u krajnjoj potrošnji i energetskej uslugama te o stavljanju izvan snage Direktive Vijeća 93/76/EEZ.

U Republici Hrvatskoj je uređenje toplinskih djelatnosti započelo donošenjem Zakona o energiji (NN 68/01), dok je obaveza ugradnje toplinskih mjerila u svakom novoizgrađenom stanu određena Zakonom o komunalnom gospodarstvu (NN 26/2003). Članak 36. ovog zakona propisuje:

Priključenje na komunalnu infrastrukturu za opskrbu pitkom vodom, plinom i toplinskom energijom treba se izvesti na način da svaki zasebni dio zgrade koji predstavlja samostalnu uporabnu cjelinu (stan, poslovni prostor, garaža i sl.), odnosno svaki pojedinačni potrošač ima ugrađen poseban uređaj za mjerenje potrošnje, a kod opskrbe toplinskom energijom obvezatna je i ugradnja uređaja za regulaciju potrošnje [2].

Nakon što je Zakon o izmjenama i dopuna Zakona o komunalnom gospodarstvu (NN 82/04) izbrisao komunalnu djelatnost opskrba toplinskom energijom, ove odredbe je preuzeo i proširio Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom NN 42/05.

3. Presjek razvoja sustava mjerenja i naplate toplinske energije u HEP-Toplinarstvu

Kako je najveći dio stambenih objekata koje HEP-Toplinarstvo opskrbljuje toplinskom energijom sagrađen prije stupanja na snagu Zakona o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom, a znatan dio njih u vremenu prije prve naftne krize sedamdesetih godina prošlog stoljeća, dakle u vremenu niskih cijena energije, mjerenje se tada, a naročito njegova individualizacija nije smatrala potrebnim. Promjene na tržištu energije, kreirale su potrebu za promjenom pristupa mjerenju utrošene toplinske energije i težnji za što većom individualizacijom mjerenja i naplate potrošnje.

Način naplate isporučene energije kućanstvima grada Zagreba prošao je pet faza, zavisno o stupnju mjerenja:

I Paušalni način obračuna i naplate po instaliranoj snazi (do 1976. godine)

To je način naplate toplinske energije prema teoretski potrebnoj toplinskej energiji izračunatoj prema ugovorenoj snazi i meteorološkim uvjetima (stogodišnji prosjek grada Zagreba).

Dobivena veličina bila je raspoređena na dvanaest jednakih mjesečnih rata. Iskustvo u primjeni takvog načina naplate istaklo je sljedeće nedostatke:

- stanari provode pritisak za povećanom isporukom topline kako bi se zadovoljilo i najnepovoljnije stanove (sjeverna strana, zadnji kat i sl.)
- nema interesa kod potrošača da se spriječi pregrijavanje ostalih stanova, potrošači koji štede i uredno održavaju svoje instalacije plaćaju povećani potrošak onih koji se pregrijavaju

II Naplata topline prema instaliranoj snazi i kontrolnom mjerenju na pragu termoelektrana-toplana (od 1976. do 1986. godine)

Napredak koji je postignut takvim načinom naplate toplinske energije ogleda se u tome što se obavlja godišnja kontrola stvarno isporučene toplinske energije na pragu termoelektrane-toplane. Na osnovi godišnjeg očitavanja stvarno isporučene energije provedena je korekcija stvarne godišnje naplate (tzv. trinaesta faktura).

To je razdoblje objektivnije naplate od prethodnog, ali je trinaesta faktura kod građana izazvala niz nesporazuma i sumnji u ispravnost obračuna. I kod takve naplate nema interesa građana za štednju energije, jer nema neposredne stimulacije.

III Obračun i naplata prema stvarnom očitavanju potrošnje u toplinskim stanicama i raspodjeli prema instaliranoj snazi, s akontacijskom naplatom u jednakim mjesečnim ratama (od 1986. do srpnja 1992. godine)

To je razdoblje naplate u kojem smo akontacijsku naplatu isporučene toplinske energije korigirali nekoliko puta godišnje. Korekcija je provedena prema očitanim mjerilima za svakog potrošača posebno, tj. svaka toplinska stanica u zgradi ima zasebno ugrađeno mjerilo.

Takvim mjerenjem i naplatom postigli smo vidan napredak, jer smo teoretske količine topline korigirali pomoću stvarno isporučene količine. Mjerenje po toplinskim stanicama omogućilo je građanima da uspoređuju iste ili slične zgrade po potrošnji energije.

IV Način naplate prema stvarno očitavom utrošku toplinske energije i s mjesečnom naplatom (od srpnja 1992. godine)

To je naplata stvarno utrošene količine toplinske energije za pojedinačnu zgradu, očitane mjesečno. Takvim načinom očitavanja i naplate ukinut je akontacijski način naplate i potreba za periodičnim korekcijama naplaćene i stvarno isporučene energije.

Taj način naplate omogućuje jasniji odnos između isporučitelja i potrošača toplinske energije jer omogućava potrošaču da sam kontrolira stvarno utrošenu energiju. Ujedno potencira interes svih potrošača za smanjenjem potrošnje toplinske energije, a time i računa za grijanje.

V Uvođenje mjerenja pojedinačne potrošnje energije svakog krajnjeg potrošača tehnologijom individualnog mjerenja po stanovima i prostorijama [3].

4. Osnovni načini mjerenja toplinske energije u stambenim zgradama

Načini mjerenja i raspodjele toplinske energije koji se primjenjuju u svijetu mogu se podijeliti u četiri skupine:

1. Mjerilo na razini zgrade.

Ovim mjerilom se utvrđuje ukupna potrošnja toplinske energije u zgradi, a raspodjela troškova se vrši prema udjelu grijane površine zasebnih stambenih jedinica u ukupnoj grijanoj površini spojenoj na mjerilo topline.

2. Razdjelnici topline

Emitiranje topline svakog ogrjevnog tijela se registrira pomoću evaporacijskih ili elektroničkih uređaja. Ukupan trošak toplinske energije zgrade se dijeli na stanove djelomično prema površini, a djelomično prema očitavanju na razdjelnicima

3. Mjerilo protoka tople vode

Njime se evidentira količina tople vode koja ulazi u stan. Ovaj način mjerenja služi za raspodjelu troškova grijanja, a ne za egzaktno mjerenje utrošene energije.

4. Mjerilo na razini stana

Potrošnja svake stambene jedinice evidentira se i naplaćuje zasebno.

Stupanj preciznosti određivanja potrošnje pojedinačne stambene jedinice razlikuje se kod svake mjerne opcije. Svakako je potrebno imati na umu činjenicu da se potrošnja toplinske energije nikada ne može sasvim egzaktno pripisati nekoj od točaka potrošnje u zgradi. Toplina se prenosi između stanova koji imaju različite temperaturne razine, te ova karakteristika razlikuje toplinsku energiju od primjerice električne, koja se isporučuje jednosmjerno prema mjestu potrošnje.

Ugradnja mjernih i regulacijskih uređaja u stanove izgrađene prije Zakona o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom (NN 42/05) definirana je njegovim Člankom 24.

Ono što određuje odabir mjerne opcije kod postojećih objekata izgrađenih prije zakonske obaveze ugrađivanja pojedinačnih toplinskih mjerila je struktura toplinskog razvoda unutar objekta. Tako se pojedinačna mjerila na razini stana mogu ugraditi samo tamo gdje postoji jedan ulaz i jedan izlaz cjevovoda iz stana. Kako to kod objekata starije izgradnje gotovo u pravilu nije slučaj, već unutar zgrade postoji vertikalni razvod, pri čemu u svaki stan ulazi više vertikala, jedini mogući način određivanja individualne potrošnje je ugradnja razdjelnika topline.

Razdjelnici topline određuju količinu topline mjerenjem temperature (površinske temperature ogrjevnih tijela i u danom slučaju temperature zraka) bez mjerenja volumnog protoka. Nema fizikalnih jedinica, već samo razdvajanje vrijednosti na udjel u ukupnoj potrošnji topline koja se mjeri pomoću toplinskog mjerila zgrade, a radi razdvajanja pogonskih troškova ogrjevnih postrojenja. Troškovi po očitanoj jedinici se mogu ustanoviti tek po uzimanju svih iznosa očitavanja i ukupnih troškova. Razdjelnici topline ne mogu se baždari i ne podliježu propisima baždarenja, nego su dopušteni uređaji koji odgovaraju priznatim tehničkim standardima (EN 834).

Upotreba razdjelnika je ograničena na radijatorsko grijanje, a nije primjenjiva kod stropnog zračenja, podnog grijanja ili konvektora. Nekad su se koristili isparivački ili evaporacijski razdjelnici, a danas su ih iz upotrebe istisnuli elektronički razdjelnici topline. Prednost elektroničkih razdjelnika topline je i u tome što omogućavaju daljinsko očitavanje te prijenos impulsa radijskim putem preko radijskih modula i radijskih prijemnika do računala, što pojednostavljuje obradu podataka.

Iako je već Zakon o proizvodnji, distribuciji i opskrbi toplinskom energijom (NN 42/05) predvidio mogućnost ugradnje razdjelnika topline, zbog ograničenja da je ugradnja moguća samo u slučaju pristanka svih suvlasnika, u praksi je ugradnja bila teško izvediva. To je rezultiralo donošenjem Pravilnika o načinu raspodjele i obračunu troškova za isporučenu toplinsku energiju (NN 139/2008) kojim je omogućena ugradnja razdjelnika i primjene obračuna prema njima već u slučaju pristanka suvlasnika 50% ukupnih grijanih površina na zajedničkom mjerilu. Trošak ugradnje razdjelnika snose sami stanari. Nakon toga se u praksi pokazalo da iako zgrade u kojima je došlo do ugradnje razdjelnika topline i uređaja za regulaciju potrošnje u pravilu ostvaruju uštede, dolazi do paradoksalne situacije u kojoj vlasnici stanova koji nisu ugradili razdjelnike, pa samim time nisu snosili ni troškove njihove

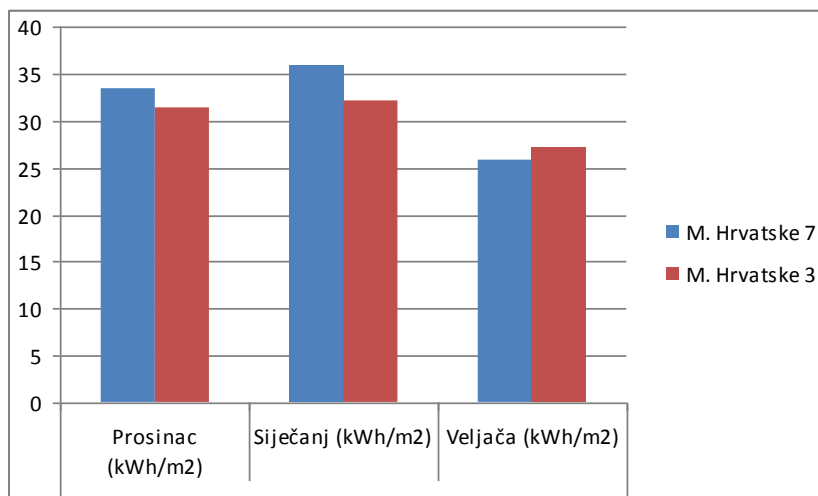
ugradnje participiraju u ostvarenim uštedama, dok je trošak isporučene energije pojedinim stanovima koji su ugradili razdjelnike zbog nepovoljnog položaja u zgradi i loših izolacijskih svojstava porastao. Izmjenama i dopunom pravilnika uveden je korekcijski faktor, kojim je ova anomalija djelomično ublažena.

Donošenjem Zakona o tržištu toplinske energije (NN 80/13) uvedena je obaveza ugradnje razdjelnika topline ili mjerila toplinske energije kod svih krajnjih kupaca i to najkasnije do 31. prosinca 2015. za zgrade koje imaju više od 70 stambenih/poslovnih prostora, odnosno do 31. prosinca 2016. za zgrade koje imaju više od 2 a manje od 70 stambenih/poslovnih prostora.

5. Analiza izmjerene potrošnje toplinske energije

U ovom radu, na primjeru tri zgrade prikazani su efekti koji su postignuti nakon ugradnje razdjelnika topline, po pitanju raspodjele troškova energije, kao i energetske uštede. Kako bi se mogle vrednovati ostvarene uštede, potrošnja toplinske energije zgrada sa ugrađenim razdjelnicima je uspoređivana sa potrošnjom sličnih zgrada, prije i nakon ugradnje razdjelnika topline. Kako bi rezultati bili što vjerodostojniji, odabrali smo zgrade za koje postoje identične zgrade po pitanju veličine, načinu gradnje, starosti i položaju. Pri ovakvoj analizi, meteorološke prilike u dvije različite godine ne igraju ulogu, jer isti uvjeti vrijede za obje uspoređivane zgrade.

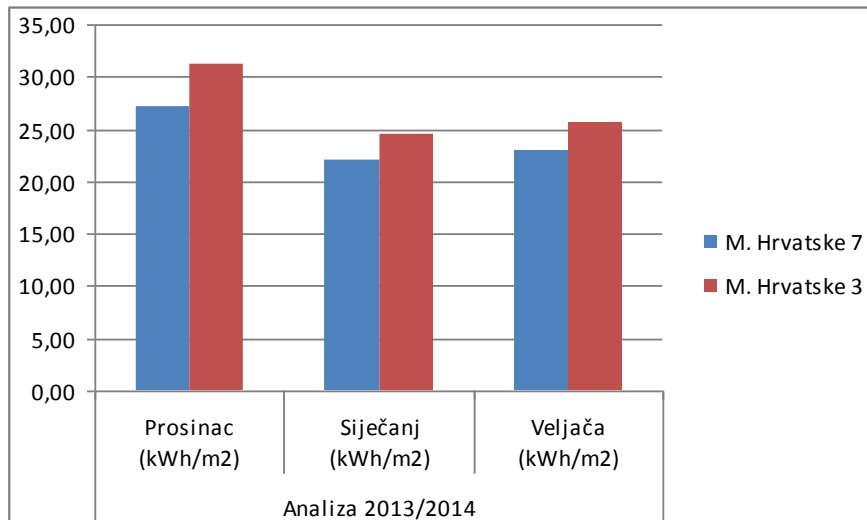
Na Slici 1. je prikazan odnos potrošnje toplinske energije dviju, po karakteristikama identičnih zgrada u zimskim mjesecima tijekom sezone grijanja 2012/2013



Slika 1. Odnos potrošnje toplinske energije zgrada na adresama M. Hrvatske 7 i M. Hrvatske 3 u Velikoj Gorici prije ugradnje razdjelnika topline

Grafikon prikazuje usporedbu potrošnje toplinske energije sveden na kWh/m2 i iz njega je vidljivo da je za ove dvije zgrade potreba za toplinskom energijom bila podjednaka, s time da je zgrada na adresi M. Hrvatske u prosincu 2012. potrošila 6,14% , u siječnju 2013. 10,3% više toplinske energije od zgrade u M. Hrvatske 3, a u veljači 4,7% manje energije od zgrade u M. Hrvatske 3.

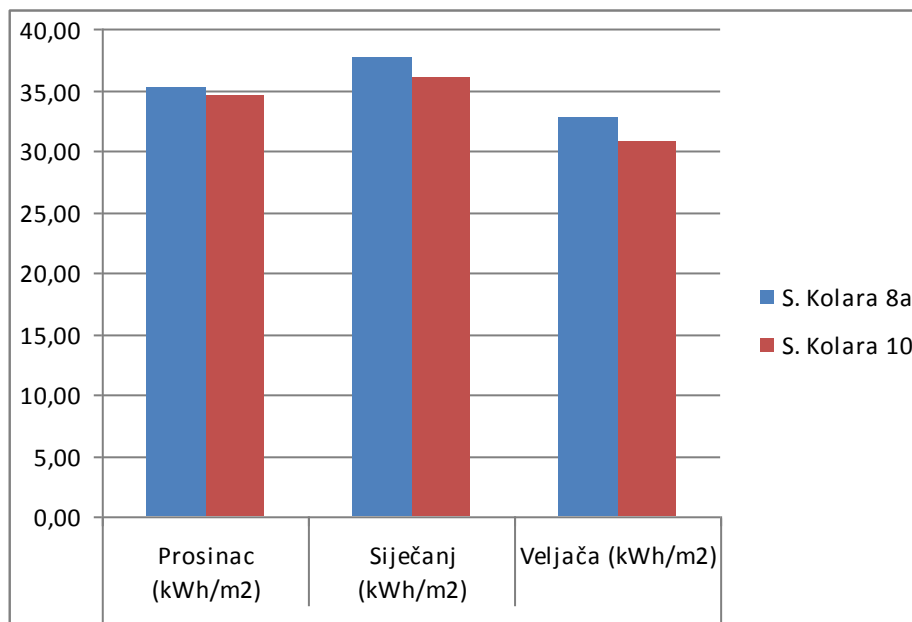
Prije početka ogrjevnog sezone 2013./2014. u zgradi M. Hrvatske 7 su ugrađeni razdjelnici, te je na Slici 2. prikazan odnos potrošnje toplinske energije ovih dviju zgrada nakon ugradnje razdjelnika topline.



Slika 2. Odnos potrošnje toplinske energije zgrada na adresama M. Hrvatske 7 i M. Hrvatske 3 u Velikoj Gorici nakon ugradnje razdjelnika topline

Iz grafikona je vidljivo da je nakon ugradnje razdjelnika na adresi M. Hrvatske 7 došlo do promjene odnosa u potrošnji toplinske energije, te je zgrada na adresi M. Hrvatske 7, u prosincu 2013. godine potrošila 13,21%, u siječnju 2014. 10,2%, a u veljači 2014. 10,47% manje toplinske energije od zgrade na adresi M. Hrvatske 3.

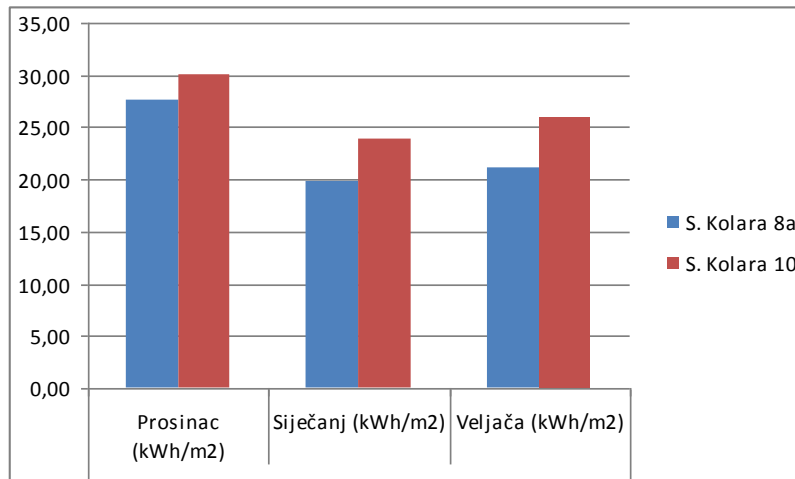
Slična situacija je vidljiva i na Slici 3., na kojoj je prikazan odnos potrošnje stambenih zgrada na adresama S. Kolara 8a i S. Kolara 10 u Velikoj Gorici.



Slika 3. Odnos potrošnje toplinske energije zgrada na adresama S. Kolara 8a i S. Kolara 10 u Velikoj Gorici prije ugradnje razdjelnika topline

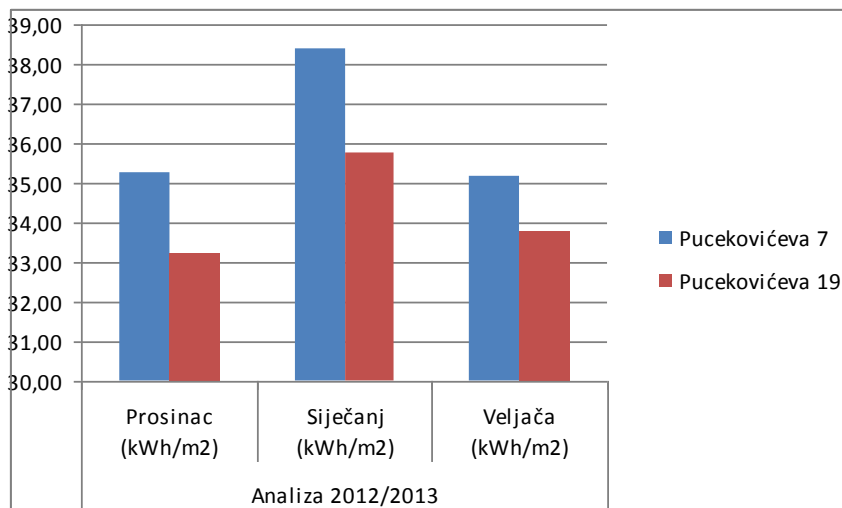
U ovom slučaju je također vidljivo da su zgrade, približno istih karakteristika po pitanju energetske učinkovitosti, kao i potreba za toplinskom energijom imale sličnu potrošnju toplinske energije.

Nakon ugradnje razdjelnika topline u zgradi na adresi S. Kolara 8a, omjer potrošnje se promjenio u njezinu korist, što je vidljivo iz grafikona na Slici 4.



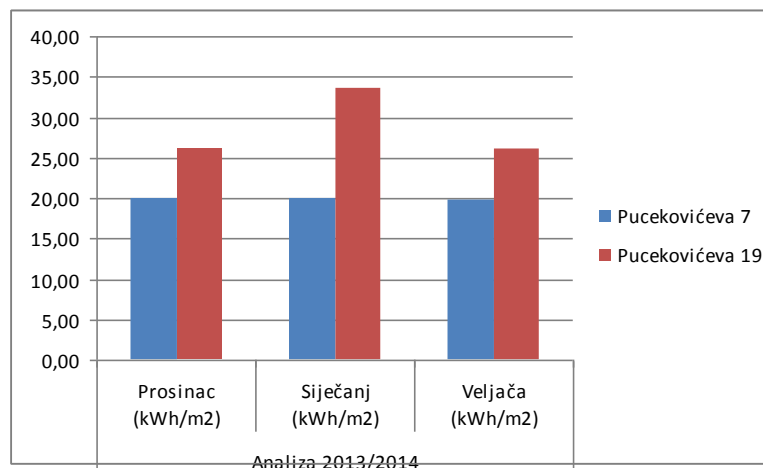
Slika 4. Odnos potrošnje toplinske energije zgrada na adresama S. Kolara 8a i S. Kolara 10 u Velikoj Gorici nakon ugradnje razdjelnika topline.

U trećem slučaju, usporedbom potrošnje u zgradama na adresama Pucekovićeve 7 i Pucekovićeve 19 u Velikoj Gorici, kao što je vidljivo na Slici 5., rezultati su slični



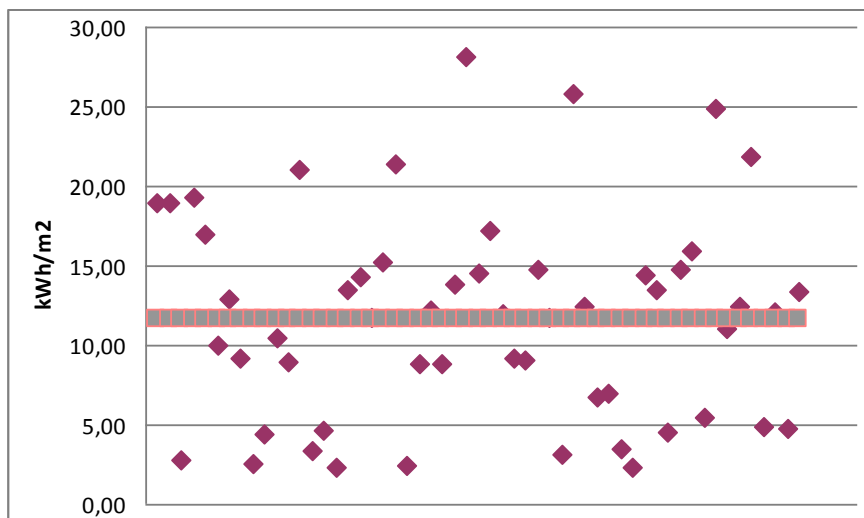
Slika 5. Odnos potrošnje toplinske energije zgrada na adresama Pucekovićeve 7 i Pucekovićeve 19 u Velikoj Gorici prije ugradnje razdjelnika topline

Od svih objekata obuhvaćenih ovom analizom, stambena zgrada u Pucekovićevoj 7 je nakon ugradnje razdjelnika ostvarila najveće pomake po pitanju ušteta, što je vidljivo iz grafikona na Slici 6.



Slika 6. Odnos potrošnje toplinske energije zgrada na adresama Pucekovićeva 7 i Pucekovićeva 19 u Velikoj Gorici nakon ugradnje razdjelnika topline

Na osnovu prikazanih grafikona može se doći do zaključka, kako se ugradnjom razdjelnika i opreme za regulaciju potrošnje u stanovima ostvaruju uštede u potrošnji toplinske energije. Međutim, pri donošenju zaključka je potrebno biti oprezan i u obzir uzeti sve utjecajne parametre. Činjenica da se na razini ukupne potrošnje zgrade ostvaruju uštede, ne znači automatski da uštedu ostvaruju svi krajnji potrošači. Na Slici 7. je grafikon koji prikazuje potrošnju toplinske energije za siječanj 2014. godine svedene na jedinicu površine za pojedinačne stanove u zgradi na adresi S. Kolara 8a u Velikoj Gorici.



Slika 7. Potrošnja toplinske energije za siječanj 2014. godine svedene na jedinicu površine za pojedinačne stanove u zgradi na adresi S. Kolara 8a u Velikoj Gorici

Na ovom je grafikonu prikazana pravocrtna linija koja predstavlja prosječnu potrošnju i ona u ovom slučaju iznosi 11,62 kWh/m². Točke predstavljaju potrošnju toplinske energije pojedinačnih stanova svedene na jedinicu površine. Njihova raspršenost oko srednje vrijednosti govori o razlici u potrošnji pojedinačnih stanova. U ovom konkretnom slučaju ona varira od 2,56 kWh/m² do čak 28,8 kWh/m². Razlozi za ovakvu neujednačenost su višestruki. Poznata je činjenica da stanovi koji se nalaze na energetski nepovoljnim točkama kao što su krajnji stanovi sa puno vanjskih zidova, stanovi orijentirani prema sjeveru ili oni

koji se nalaze na gornjim katovima zgrade, za svoje zagrijavanje trebaju više energije od stanova koji su smješteni na povoljnijem položaju, okruženi drugim stanovima koji se griju. Ovoj činjenici se ranije nije pridavao značaj jer se ukupna potrošnja čitave zgrade solidarno raspoređivala na sve suvlasnike, na osnovu udjela u ukupnoj površini zgrade. Zbog toga na tržištu nekretnina nije postojala cjenovna klasifikacija takvih stanova. Dugoročno se može očekivati da će doći do diferencije cijena, pri čemu će stanovi sa energetske nepovoljnijim položajem imati nižu cijenu od onih bolje pozicioniranih. Također veliki utjecaj na razlike u potrošnji ima odnos prema raspolaganju energijom svakog pojedinca, kao i kvaliteta izolacije i ugrađene vanjske stolarije.

Kad se govori o uštedama, tvrtke koje se bave ugradnjom razdjelnika navode uštede od čak 40% što nije realno, jer valja imati na umu, naročito kod onih zgrada koje toplinsku energiju iz kotlovnica ili centraliziranog toplinskog sustava koriste za zagrijavanje potrošne tople vode, da se na taj dio energije korištenjem razdjelnika i termostatskih ventila ne može utjecati. Razdvajanjem mjerila topline za grijanje i pripremu sanitarne tople vode omogućuje se bolji uvid u potrošnju toplinske energije, a istovremeno se stvara i preduvjet za različite modele obračuna toplinske energije potrebne za zagrijavanje sanitarne tople vode, a koje važeća regulativa predviđa.

5. Zaključak

Razdjelnici topline se ugrađuju u zgradama u kojima zbog tehničke izvedbe sustava grijanja nije moguća ugradnja pojedinačnih mjerila toplinske energije već se potrošnja mjeri preko jednog zajedničkog mjerila. Ugradnjom razdjelnika topline omogućava se raspodjela troškova prema stvarno potrošenoj energiji. Kako bi se omogućilo utjecanje na potrošnju toplinske energije potrebno je da sustav grijanja u stanu bude opremljen termostatskim regulacijskim ventilima. Kako je vidljivo iz prikazanih rezultata, pojedinim stanovima se troškovi grijanja nakon ugradnje razdjelnika topline povećavaju, pa je točnije govoriti kako razdjelnici topline osiguravaju pravedniju raspodjelu toplinske energije, a ne štednju energije. Postizanje energetske učinkovitosti zahtjeva multidisciplinarni pristup, te se primjenom samo jedne mjere ne mogu postići dovoljno dobri rezultati. S toga bi u svrhu postizanja toplinskih ušteda u zgradarstvu, uz implementaciju sustava koji omogućavaju individualizaciju mjerenja i regulacije potrošnje toplinske energije istovremeno trebalo razmišljati i o primjeni ostalih mjera kao što su toplinska izolacija ovojnice zgrade i ugradnja vanjske stolarije sa dobrim izolacijskim svojstvima. Također se puno pažnje treba davati edukaciji krajnjih potrošača u svrhu racionalnog raspolaganja toplinskom energijom, što kod potrošača kod kojih se troškovi toplinske energije očitavaju na zajedničkom mjerilu, a zatim raspodjeljuju na osnovu udjela površine u ukupnoj površini objekta, do sada najčešće nije bio slučaj.

6. Literatura

- [1] Udovičić, Božo. Razvitak i energetika: temeljne odrednice, Zagreb: Inačica, 1998. (ISBN 953-6490-09-9) (knjiga)
- [2] <http://narodne-novine.nn.hr/default.aspx>
- [3] Delić, Marija. Ugradnja razdjelnika topline i tarifna politika, Zagreb: Energetski institut Hrvoje Požar, 2006. (studija)

Analiza toplinske učinkovitosti „termoenergetske zavjese“ pri noćnom režimu grijanja plastenika ***Analysis of thermal efficiency „thermal energy curtain“ at the night heating of greenhouses***

An. Čikić^{1,2*}, Z. Janković^{1*}, M. Stojkov¹, R. Končić¹

¹Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska ²Visoka tehnička škola u Bjelovaru, Hrvatska

*Autori za korespondenciju. e-mail: Zvonimir.Jankovic@sfsb.hr ; acikic@vtsbj.hr

Sažetak

Pri grijanju postignute vrijednosti temperature zraka po visini unutar plastenika utječu na učinkovitost i troškove proizvodnje. Mala vremenska konstanta i termofizikalna karakteristika plastenika izrazito povećavaju osjetljivost unutarnje temperature zraka u zoni uzgoja biljke na vanjske, naročito nagle, mikroklimatske promjene. Analizirano je postavljanje horizontalne „termoenergetske zavjese“ iznad zone uzgoja biljaka i njen utjecaj na toplinsku učinkovitost i ekonomičnost u noćnom režimu rada zonskog toplovodnog grijanja u zimskom periodu. Dijagramima i numeričkim vrijednostima ilustrirani su odnosi izmjerenih temperatura zraka po visini plastenika. Na praktičnom primjeru prikazane su kvantificirane vrijednosti potrošnje toplinske energije kod promjenjive niske temperature vanjskog zraka.

Ključne riječi: termoenergetska zavjesa, zonsko grijanje, plastenik, toplinska učinkovitost.

Abstract

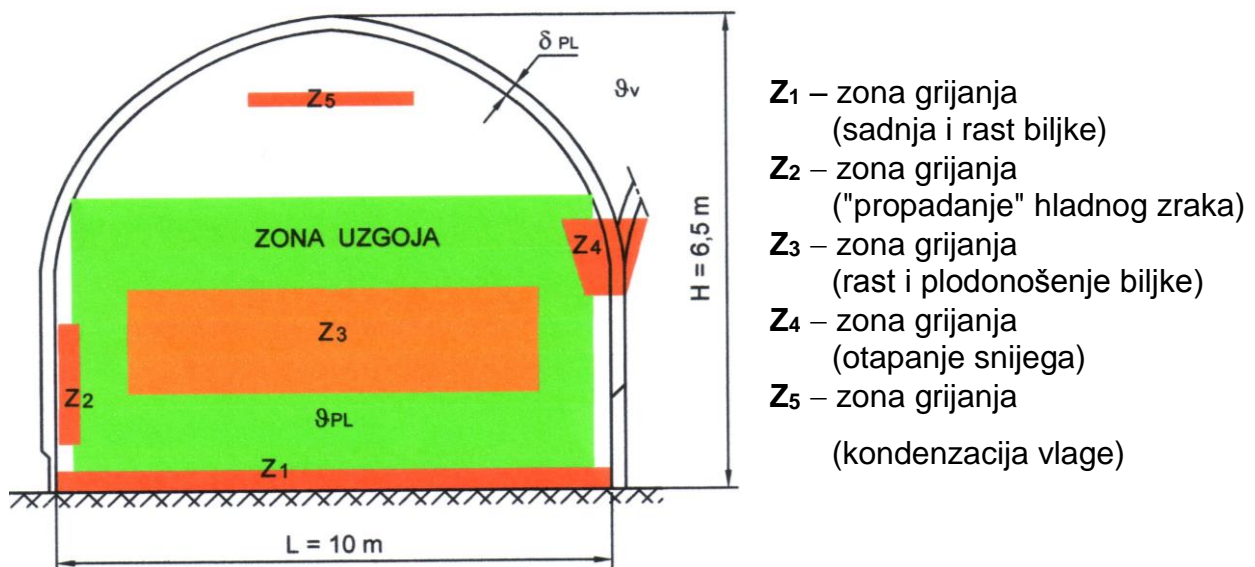
During the heating process, reached values of air temperatures of different height levels inside the greenhouse have influence on the efficiency and cost production. A small time constant and the thermal-physical characteristics of greenhouse markedly increase the sensitivity of internal air temperature in the zone of growing plants depending on the outside, especially sudden, microclimate changes. Here, setting the horizontal “thermal energy curtain” above the zone of growing plants, its impact on thermal efficiency and cost effectiveness in the night regime of zone heating during the winter is analyzed. With graphs and numerical values, relations of measured air temperatures at the different height levels of greenhouse are illustrated. On the practical example, quantified values of thermal energy consumption at variable low outside air temperature are shown.

Keywords: thermal energy curtain, zone heating, greenhouse, thermal efficiency.

1. Uvod

Nije moguće učinkovito grijati cjeloviti prostor velikih niskoakumulativnih objekata (plastenika) i cjelogodišnje ekonomično intenzivno proizvoditi razne vrste povrća, voća ili cvijeća. Uz agrotehnološke uvjete, brzina postizanja i stabilnost održavanja odgovarajuće temperature zraka u zoni uzgoja biljke u svim njezinim biološkim razdobljima izravno utječe

na kakvoću plodova i očekivani prinos. U plasteniku nije moguće u svim uvjetima postići stacionarno grijanje što onemogućava egzaktan termodinamički proračun. Razlog tome je velika osjetljivost plastenika na promjene vanjskih mikroklimatskih uvjeta uz istodoban zahtjev za očuvanjem namještene vrijednosti temperature zraka u zoni uzgoja biljke. Izraženije mikroklimatske promjene u jutarnjim, večernjim i noćnim satima bitno utječu na brzinu grijanja, odnosno hlađenja plastenika. Mala termofizikalna karakteristika ($\rho \cdot \lambda \cdot c$) oplošja objekta, vjetrovitost, oblačnost, orijentacija, stupanj refleksije – apsorpcije vanjskih površina izloženih sunčevom djelovanju, vrijeme i učestalost smanjenja ili prekida dovođenja topline izravno utječu na toplinsku reakciju plastenika (vremenska konstanta), a time na održavanje podešene vrijednosti unutarnje temperature zraka u zoni uzgoja i plodonošenja biljke [1, 2, 3]. Višekratnim proračunom brzine grijanja odnosno hlađenja uvažavajući promjenjivost dominantnih utjecajnih parametara utvrđuju se toplinske potrebe, a praktičnom izvedbom zonskih sustava toplovodnog grijanja (zone 1, 2, 3, 4, 5 – slika 1.) postiže se racionalna potrošnja toplinske energije.



Slika 1. Poprečni presjek jednog „broda“ plastenika – shematski prikaz, zonsko toplovodno grijanje

Zbog male vremenske konstante (vremenska konstanta = akumulirana toplina / gubitak topline) i termofizikalne karakteristike objekata, te velike inercije sekundarnog toplovodnog sustava, kod učestalo izraženih, ponekad i naglih, promjena mikroklimatskih uvjeta u jutarnjim i/ili noćnim satima, potrebna je veća brzina odziva i spremnost termoenergetskog sustava za dostizanje, održavanje i stabilnost unutarnjih različitih temperatura zraka u zonama grijanja. Dodatno, čak za oko 10 – 60 % rastu toplinski gubici pri djelovanju vjetra, a posebno s kišom pri vanjskoj temperaturi zraka između $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ kada su veće brzine vjetra najučestalije.

Horizontalnim navlačenjem „termoenergetskih zavjesa“ na visini 3 – 4 m od zone sadnje biljaka smanjuje se uzgonski učinak pri grijanju uslijed temperaturnih razlika zraka po visini plastenika, naročito u noćnom režimu rada pri nižim vanjskim temperaturama zraka. Široki raspon očekivane uštede toplinske energije (25 % - 60 %) ovisi o nizu agrotehničkih i termotehničkih parametara, mikroklimatskih uvjeta, tehničkih i geometrijskih karakteristika plastenika, što utječe na ekonomičnost ugradnje termoenergetske zavjese. Poopćene

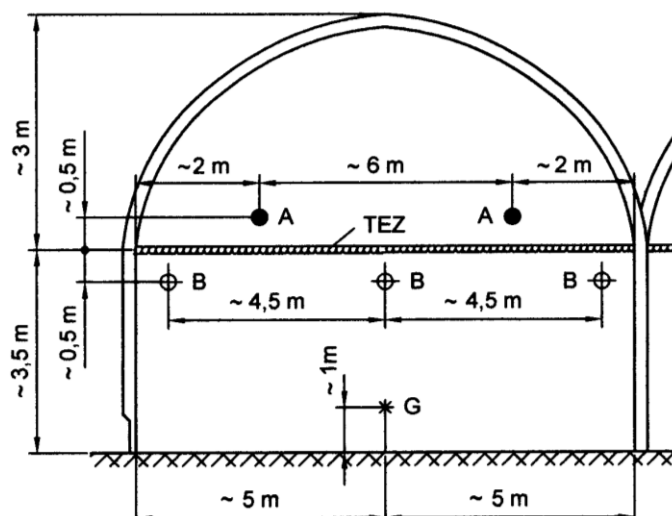
vrijednosti uštede toplinske energije za različite kulture cjelogodišnjeg uzgoja u plastenicima veće visine i strožih agrotehničkih i termotehničkih uvjeta nedovoljno preciziraju toplinsku učinkovitost i ekonomičnost termoenergetske zavjese za karakteristične kulture uzgoja posebno. Pri intenzivnom dnevnom svjetlu i višoj vanjskoj temperaturi zraka termoenergetska zavjesa se često koristi za sjenjenje i djelomično poboljšanje mikroklimatskih uvjeta u zoni uzgoja biljaka. [1, 2, 3, 4, 5].

Provedena su eksperimentalna ispitivanja pri ranom uzgoju rajčice mjerenjem unutarnje temperature zraka po visini plastenika za zonski sustav toplovodnog grijanja u noćnom režimu rada sa i bez horizontalne termoenergetske zavjese pri sličnim vanjskim mikroklimatskim uvjetima. Analiziran je utjecaj termoenergetske zavjese na učinkovitost i ekonomičnost sustava grijanja u noćnom režimu rada pri zadanim i kontroliranim mikroklimatskim uvjetima u zoni uzgoja biljaka.

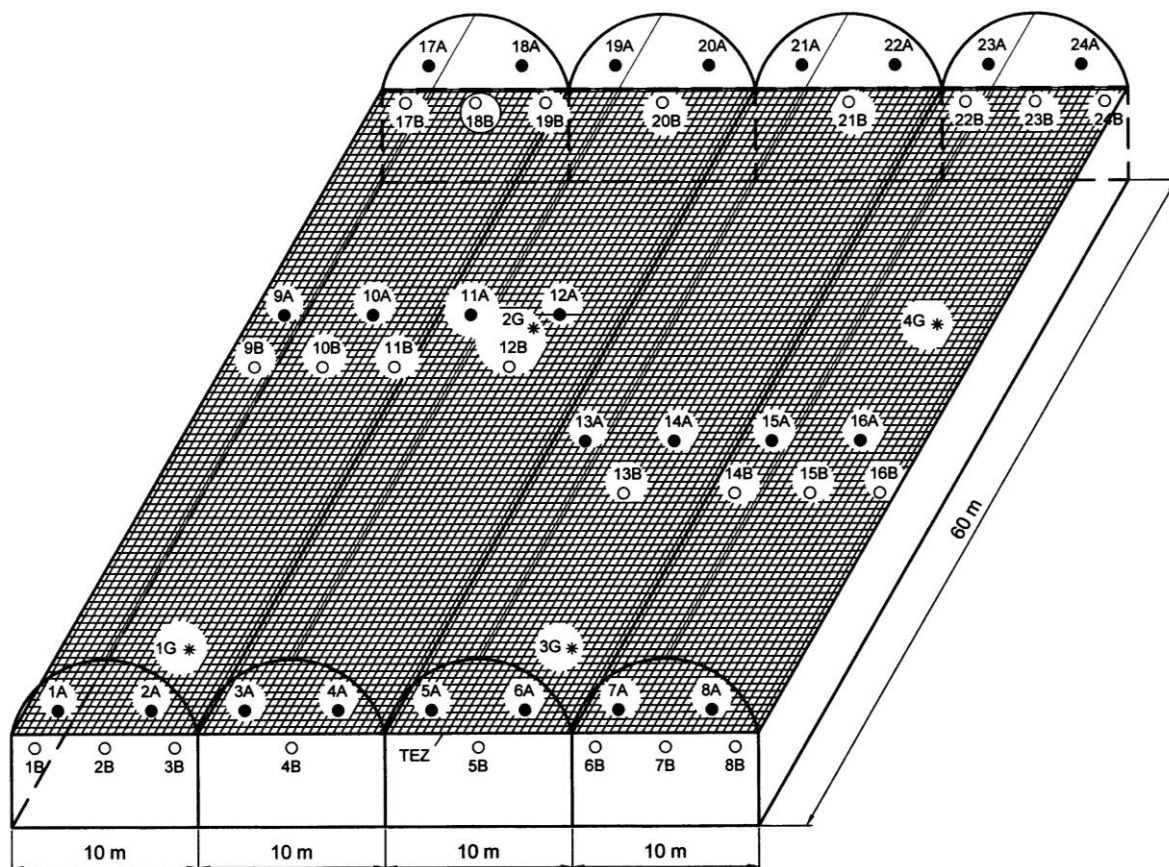
2. Eksperiment

Pokusna mjerenja su provedena u plasteniku za cjelogodišnji hidroponski uzgoj rajčica ukupne površine 2400 m² (4 x 10 m x 60 m) i maksimalne visine 6,5 m. Unutarnji mikroklimatski uvjeti odvojeni su od vanjskih utjecaja dvostrukom polietilenskom folijom sa zračnim jastukom, postavljenom na bočnim stranama i krovnoj konstrukciji plastenika. Pri niskim vanjskim temperaturama zraka u noćnom režimu rada zonskog toplovodnog grijanja (slika 1.) korištena je termoenergetska zavjesa postavljena na visinu oko 3,5 m od poda plastenika. Pogonsko gorivo toplovodnog postrojenja maksimalne toplinske snage 480 kW je prirodni plin donje ogrjevne vrijednosti $H_d = 9,3 \text{ kWh/Sm}^3$.

Pri noćnom režimu grijanja provedena su mjerenja unutarnje temperature zraka po visini plastenika u zoni uzgoja na visini oko 1 m od tla, na visini oko 3,0 m (0,5 m ispod termoenergetske zavjese), te na visini oko 4 m (0,5 m iznad termoenergetske zavjese) od tla plastenika. Pozicije mjernih mjesta unutarnje temperature zraka iznad (A) i ispod (B) termoenergetske zavjese, te namještene temperature zraka u zoni uzgoja biljaka (G) prikazane su na poprečnom presjeku jednog „broda“ plastenika na slici 2. Raspored mjernih mjesta unutarnje temperature zraka 1A do 24A, 1B do 24B i 1G do 4G prikazane su na slici 3.

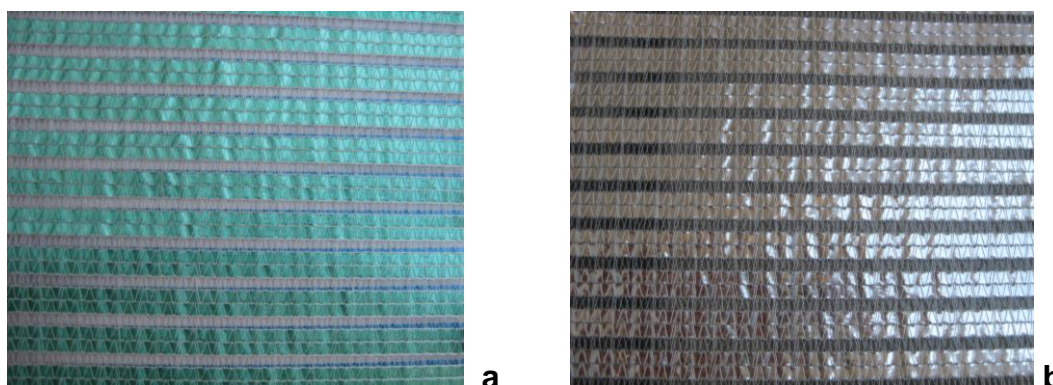


Slika 2. Pozicije mjernih mjesta unutarnje temperature zraka (poprečni presjek jednog „broda“ plastenika)



Slika 3. Raspored mjernih mjesta unutarnje temperature zraka

Pokusna mjerenja unutarnje temperature zraka provedena su u zimskom periodu u dva vremenska intervala s približno istim kretanjem noćnih temperatura vanjskog zraka od 20. siječnja do 26. veljače 2014. godine. U prvom vremenskom intervalu za tri noćna režima grijanja izvršena su mjerenja temperature unutarnjeg zraka bez, a u drugom vremenskom intervalu također za tri noćna režima grijanja sa postavljenom termoenergetskom zavjesom (TEZ). Nominalni koeficijent prolaza topline termoenergetske zavjese debljine 0,7 mm izrađene od elastičnog kompozitnog materijala sivo zelene boje (slika 4.) iznosi oko 3,5 W/m²,K. Učinak sjenjenja iznosi oko 60 % - 70 %, a očekivano smanjenje potrošnje toplinske energije ovisi o agrotehničkim uvjetima, obliku toplifikacijskog sustava i načinu ugradnje termoenergetske zavjese, te se kreće između 25 % i 60 % [5].



Slika 4. Termoenergetska zavjesa (TEZ),
a – prednja strana (prema suncu), b – stražnja strana

Pomoću meteorološke stanice koja je sastavni dio automatiziranog sustava vođenja i upravljanja hidroponskim uzgojem rajčica utvrđeni su vanjski mikroklimatski uvjeti. Registrirane numeričke vrijednosti meteoroloških parametara u pokusnim intervalima prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Meteorološki parametri u pokusnim intervalima I i II

| Br. | Vanjska temp. zraka ϑ_v , °C | Relativna vlaga vanjskog zraka φ , % | Brzina zraka w , m/s | Oblačnost | Snijeg / kiša |
|--|--|--|------------------------|-----------|---------------|
| Termoenergetska zavjesa (TEZ) <i>nije postavljena</i> – I interval | | | | | |
| 1. | – 6° ÷ – 11° | 75 – 88 | 1,2 – 1,8 | Slaba | ----- |
| 2. | – 7° ÷ – 10° | 65 – 85 | 0,7 – 1,4 | Slaba | ----- |
| 3. | – 4° ÷ – 8° | 50 – 65 | 2,5 – 4,6 | Vedro | ----- |
| Termoenergetska zavjesa (TEZ) <i>je postavljena</i> – II interval | | | | | |
| 1. | – 7° ÷ – 12° | 70 – 86 | 0,5 – 1,3 | Umjerena | ----- |
| 2. | – 6° ÷ – 9° | 50 – 65 | 1,8 – 3,5 | Vedro | ----- |
| 3. | – 5° ÷ – 7° | 70 – 85 | 1,9 – 5,8 | Oblačno | Slab snijeg |

U svakom noćnom režimu grijanja mjerenja unutarnje temperature zraka provedena su pomoću temperaturnih osjetnika svakih 60 minuta od 21:00 sati do 06:00 sati, te su registrirane vrijednosti prikupljane u zajedničku bazu podataka. U svakom intervalu od 21:00 sati do 06:00 sati na plinomjeru je očitana i registrirana početna i konačna vrijednost protočne količine plina te je razlikom tih vrijednosti utvrđena potrošena količina prirodnog plina V_p spaljenog pomoću predlačnog plamenika toplovodnog kotla. Tijekom svih pokusnih mjerenja namještena temperatura unutarnjeg zraka u zoni uzgoja rajčica (G) iznosila je 18°C s oscilacijom na pojedinim mjernim mjestima ± 1 °C. Obzirom na vanjske mikroklimatske uvjete i fazu razvoja biljaka toplifikacijski sustavi u zonama Z_4 i Z_5 bili su isključeni. Prosječne vrijednosti unutarnje temperature zraka na visini oko 4 m od tla plastenika (A) i na visini 3 m od tla plastenika (B) u I vremenskom intervalu i u II vremenskom intervalu za svaki od noćnih režima utvrđene su kao aritmetička vrijednost svih izmjerenih vrijednosti (24 · 10) 1A do 24A i 1B do 24B, prema jednadžbama:

$$\vartheta_A = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad x_i = \vartheta_{Ai}, \quad N = 240, \quad (1)$$

$$\vartheta_B = \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad y_i = \vartheta_{Bi}, \quad N = 240. \quad (2)$$

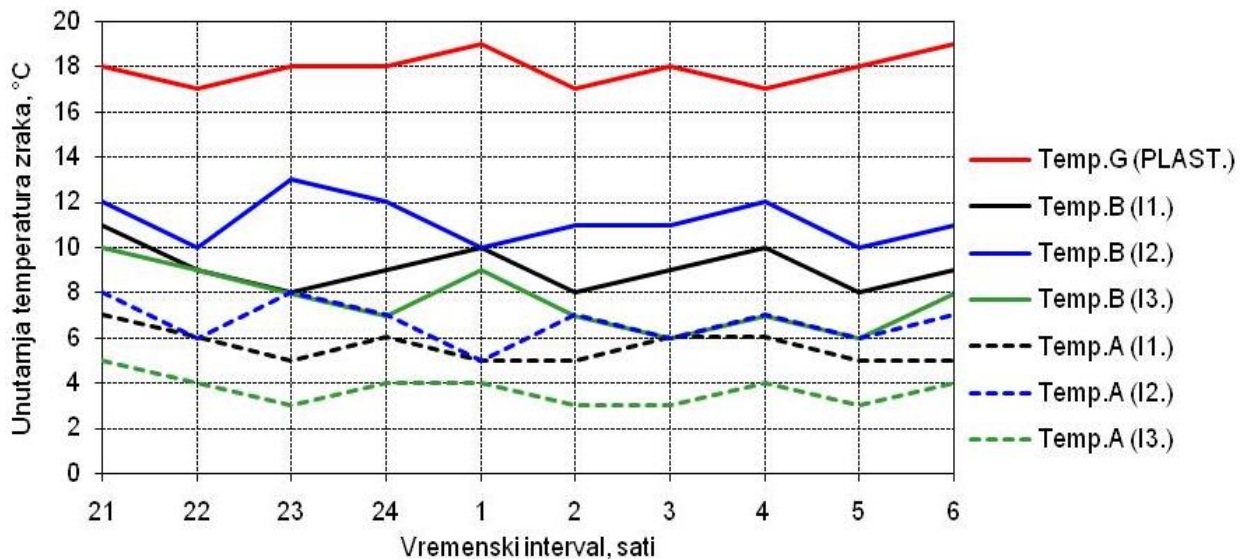
Za svaki od tri noćna režima grijanja u I vremenskom intervalu (bez postavljene termoenergetske zavjese) i u II vremenskom intervalu (sa postavljenom termoenergetskom zavjesom) utvrđena je potrošena toplinska energija prema relaciji:

$$Q_{(1..6)} = V_p \cdot H_d \cdot \eta \quad \text{kWh}, \quad \eta \approx 0,88. \quad (3)$$

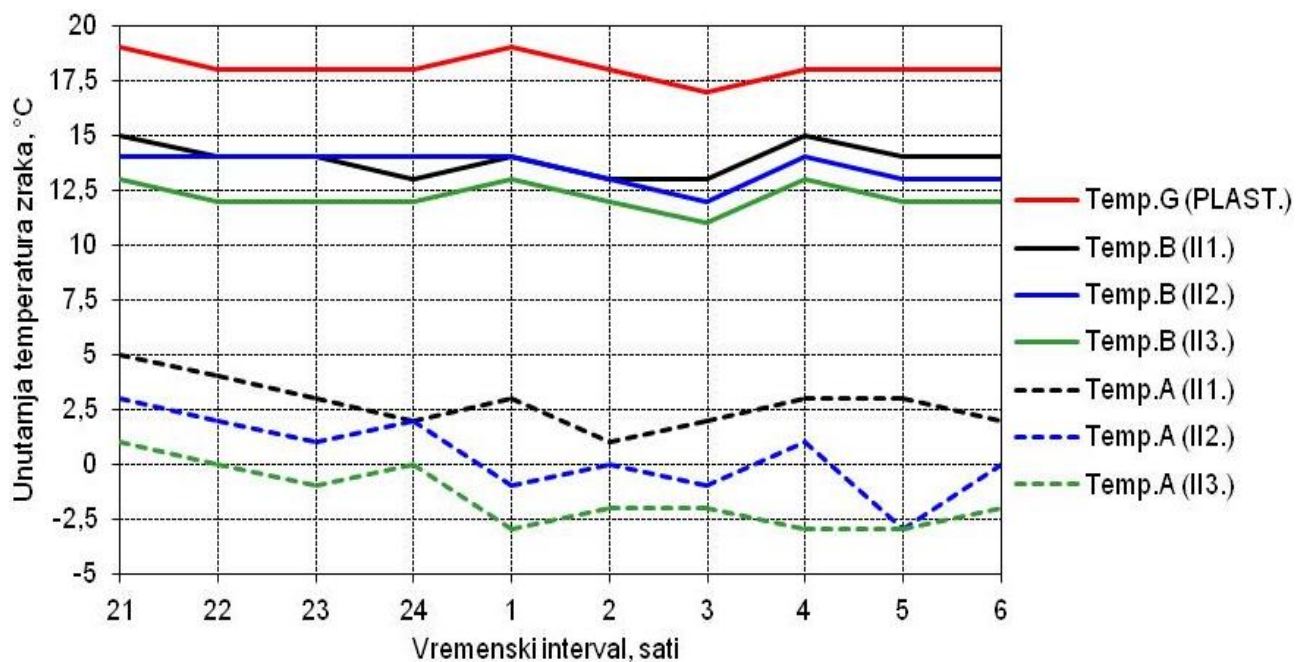
3. Rezultati mjerenja

U prvom vremenskom intervalu za tri noćna režima zonskog toplovodnog grijanja bez postavljene termoenergetske zavjese uočljiv je brži pad unutarnje temperature po visini plastenika u odnosu na namještenu unutarnju temperaturu zraka u zoni uzgoja biljaka. Kvantificirane srednje vrijednosti unutarnje temperature zraka (A, B, G) po visini plastenika unutar devet sati za tri noćna režima grijanja dijagramski su prikazani na slici 5.

U drugom vremenskom intervalu za tri noćna režima zonskog toplovodnog grijanja sa postavljenom termoenergetskom zavjesom vidljiva je manja razlika temperature između namještene unutarnje temperature u zoni uzgoja biljaka (G) i temperature zraka (B) neposredno ispod termoenergetske zavjese. Izražena je znatna razlika temperature unutarnjeg zraka ispod i iznad termoenergetske zavjese, što utječe na smanjenje potrošnje toplinske energije. Numeričke srednje vrijednosti unutarnje temperature zraka (A, B, G) po visini plastenika unutar devet sati za tri noćna režima grijanja dijagramski su prikazani na slici 6.



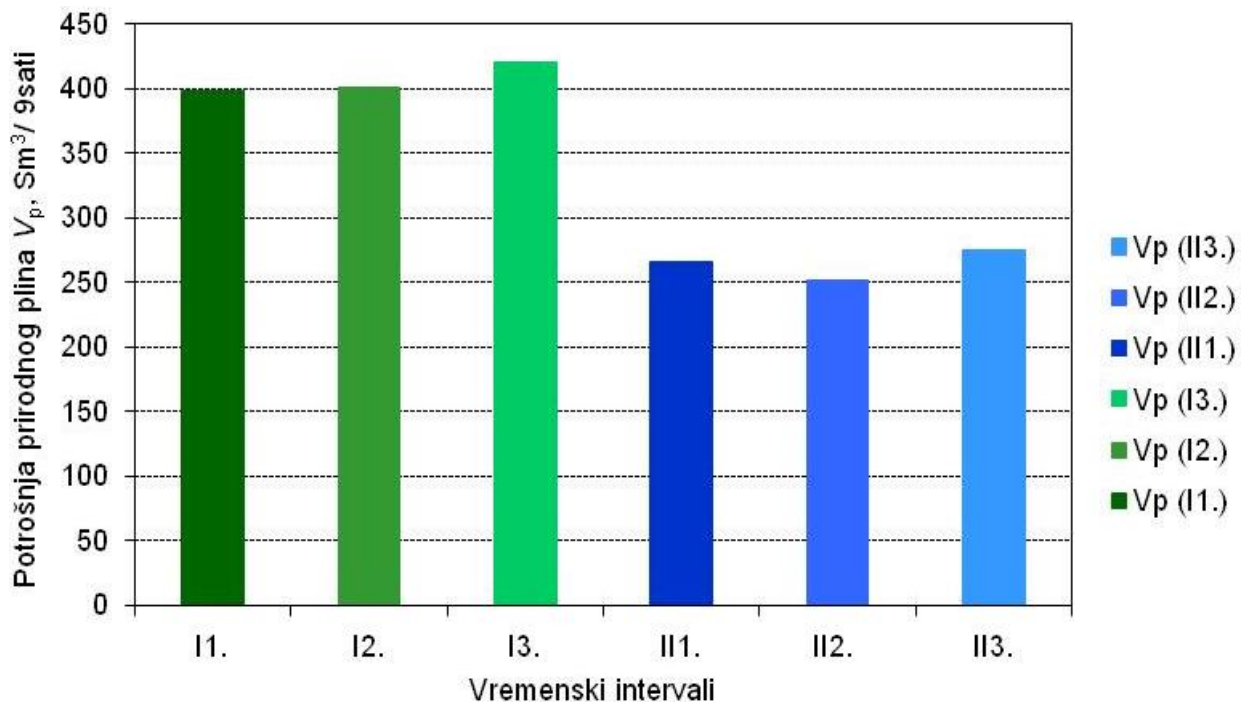
Slika 5. Kvantificirane vrijednosti unutarnje temperature zraka po visini plastenika bez termoenergetske zavjese, I vremenski interval



Slika 6. Kvantificirane vrijednosti unutarnje temperature zraka po visini plastenika sa termoenergetskom zavjesom, II vremenski interval

Potrošnja prirodnog plina za svaki od tri noćna režima grijanja u oba pokusna intervala mjerenja unutarnje temperature zraka po visini platenika prikazana je na slici 7. U prvom vremenskom intervalu provedbe mjerenja unutarnje temperature zraka bez postavljene termoenergetske zavjese potrošeno je oko 33 % do 55 % više prirodnog plina u odnosu na drugi interval pokusnih mjerenja s postavljenom termoenergetskom zavjesom.

Povećanjem brzine vjetra dodatno se povećavaju toplinski gubici i potrošnja prirodnog plina (oko 12 % do 25 %), izraženije kod grijanja bez postavljene termoenergetske zavjese. Rastom brzine vjetra povećava se potrošnja prirodnog plina i uz primjetno povećanje niske noćne temperature vanjskog zraka, u odnosu na niže vrijednosti temperature vanjskog zraka bez djelovanja vjetra.



Slika 7. Potrošnja prirodnog plina (I i II interval pokusnih mjerenja)

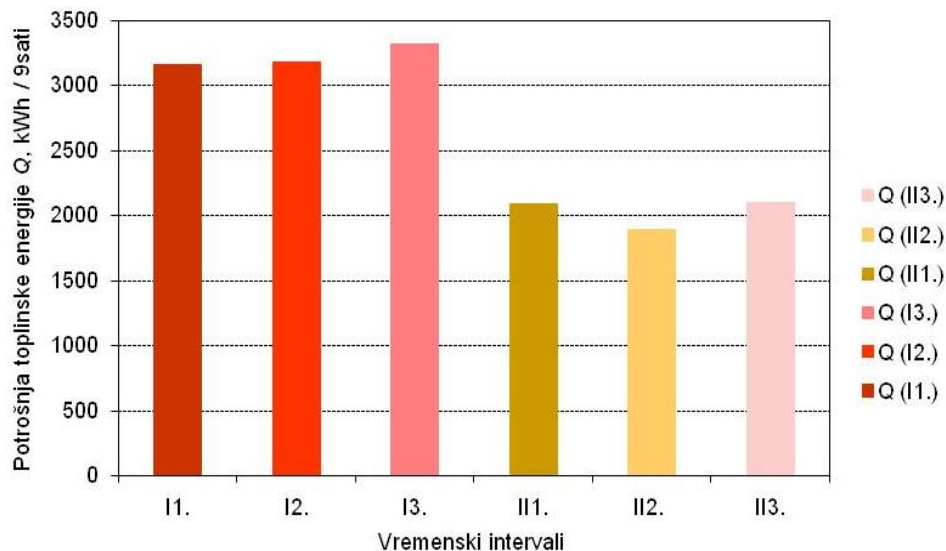
4. Analiza rezultata

Izraženiji je pad unutarnje temperature zraka po visini platenika bez postavljene termoenergetske zavjese s osjetljivim oscilacijama temperature zraka. Kod postavljene termoenergetske zavjese za oko 1,7 – 2,5 puta je manja razlika temperature unutarnjeg zraka po visini platenika ispod zavjese, manje je izražen uzgonski učinak, postiže se veća vertikalna i horizontalna ujednačenost unutarnje temperature zraka i manja je potrošnja prirodnog plina. Za oko 2 do 2,5 puta niža je unutarnja temperatura zraka u prostoru iznad termoenergetske zavjese u odnos na vrijednosti temperature zraka bez termoenergetske zavjese. Manje je izražen utjecaj vjetra na vrijednosti temperature zraka u prostoru ispod postavljene termoenergetske zavjese. U zabatnom prostoru platenika utjecaj vjetra doprinosi većoj oscilaciji i padu temperature unutarnjeg zraka naročito kod postavljene termoenergetske zavjese.

Ovisno o mikroklimatskim uvjetima i meteorološkim prilikama, prema potrebi se provodi kontrolirano zonsko grijanje pomoću sustava Z_4 i Z_5 za otapanje snijega i/ili ublažavanje kondenzacije vlage.

Pri vanjskoj temperaturi od $-4\text{ }^\circ\text{C}$ do $-12\text{ }^\circ\text{C}$ i noćnom režimu rada zonskog toplovodnog grijanja (hidroponski uzgoj rajčica) potroši se prosječno oko 75 % toplinske energije bez

postavljene termoenergetske zavjese, a sa postavljenom termoenergetskom zavjesom prosječno oko 53 % toplinske energije od maksimalnog instaliranog toplinskog kapaciteta. Kvantificirane vrijednosti potrošnje toplinske energije za devet sati u svakom od noćnih režima grijanja u oba pokusna intervala mjerenja unutarnje temperature zraka po visini plastenika prikazane su dijagramski na slici 8.



Slika 8. Potrošnja toplinske energije (I i II interval pokusnih mjerenja)

5. Zaključak

Analizirano je postavljanje horizontalne termoenergetske zavjese iznad zone ranog uzgoja rajčica i njen utjecaj na toplinsku učinkovitost i ekonomičnost u noćnom režimu rada zonskog toplovodnog grijanja plastenika visine 6,5 m u zimskom periodu. Provedena su pokusna mjerenja i dijagramski su ilustrirani odnosi izmjerenih temperatura zraka po visini plastenika. Na praktičnom primjeru prikazane su kvantificirane vrijednosti potrošnje prirodnog plina i toplinske energije kod promjenjive niske temperature vanjskog zraka. Pri sličnim mikroklimatskim uvjetima u noćnom režimu rada zonskog toplovodnog grijanja potroši se prosječno oko 75 % toplinske energije bez postavljene termoenergetske zavjese, a sa postavljenom termoenergetskom zavjesom prosječno oko 53 % toplinske energije od maksimalnog instaliranog toplinskog kapaciteta. Za karakteristični slučaj uzgoja rajčice u plastenicima veće visine kvantificiranim vrijednostima preciznije je utvrđena toplinska učinkovitost, što doprinosi jednostavnijoj procjeni ekonomičnosti ugradnje termoenergetske zavjese.

6. Literatura

- [1] Energy Conservation for Commercial Greenhouse, ISBN: 0 – 9358 17 – 74 – 3, 84 pages, New York, 2003.
- [2] Greenhouse Engineering, ISBN: 0 – 9358 17 – 57 32, 212 pages, New York, 2005.
- [3] Nelson, P.V., Greenhouse Operation and Management, 6th Edition, ISBN: 0 – 13 – 010577 – 5, 692 pages, New York, 2006.
- [4] Computerized Environmental Control in Greenhouse, ISBN: 90 – 75627 – 01 – 07, 264 pages, LONDON, 2005.
- [5] www.ludvigsvensson.com

Design of Micro-tunnel Path for Pipeline on Wheel Supports

N. Kranjčević*, M. Stegić, F. Lukač

Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 5, Zagreb, Croatia

*Corresponding author. E-mail: nenad.kranjcevic@fsb.hr

Abstract

Micro-tunneling is a modern trenchless method for construction of underground utilities, particularly in urban areas. A micro-tunnel can be built as an arc beneath the obstacles on the ground. In this case, insertion of steel pipelines into the existing tunnel presents a considerable technical problem, especially when the tunnel path has sudden changes in curvature or significant deviations from the designed path. Lifting of the supports during the insertion process, due to the path unevenness, leads to the unilateral contact problem. Thus, both the load of the supports in contact and stresses in steel pipes are increased. Also, high value of local curvature of the tunnel results in increased stresses in pipes and additional insertion problems.

Because of that, in this paper a new design of tunnel path with gradual change in curvature is proposed and analyzed. Analysis is conducted on the basis of the previously developed computational model which solves the unilateral contact problem iteratively and treats the pipes as uniformly loaded elastic beams supported by a finite number of stiff supports. A particular problem is the micro-tunnel under the Sava River. In this case study it is shown how the predefined path of a micro-tunnel influences the stresses in pipes and loads of wheel supports during the insertion process and exploitation.

Keywords: micro-tunnel path; steel pipeline; insertion process; support load; pipe stresses

1. Introduction

Micro-tunnelling is a trenchless method for constructing underground structures, mainly utilities and pipelines. It enables construction of underground structures without affecting the ground surface and, thus, it is very useful for avoiding obstacles on pipeline routes such as traffic infrastructure in urban areas or natural obstacles like rivers [1]. Usually, after the micro-tunnel is built, pipes placed on wheel supports are to be inserted into the tunnel by pulling from the other side using a steel cable. Because of possible difficulties, such as plastic deformations of the supports due to overload during the insertion process [2], micro-tunnel design requires a path which enables easy and successful insertion. Multiple insertion attempts lead to additional costs and delays in the project. The path of the micro-tunnel must fulfil requirements such as reaching length and depth at certain points, but otherwise it can be designed to ensure easier insertion process with safe values of support loads and low stresses in pipes.

2. Insertion problems

During the insertion process, lifting of some wheel supports can occur since the contact between the supports and the micro-tunnel is unilateral [3] and stiffness of the pipes does not allow large deflections in places where the path curvature is either too large or changes suddenly. The support lifting causes overloads of wheel supports adjacent to the lifted ones. The overload is affected the most by the micro-tunnel path, both the designed curve and deviations of the real path from the designed one [4]. Overload of the supports can cause damage to the supports and, therefore, must be kept under control. Similar lifting of the pipe from rail car during pipe insertion of Guatami Godavari micro-tunnel crossing was reported in [5], where the micro-tunnel had three straight sections connected with two sections of constant radius, i.e. four sudden changes in radii of curvature.

3. Proposed design of a micro-tunnel path

Micro-tunnel path $z(x)$ is an explicit function that gives vertical coordinates z of the tunnel bottom line with respect to horizontal line of the tunnel x (Fig.1).

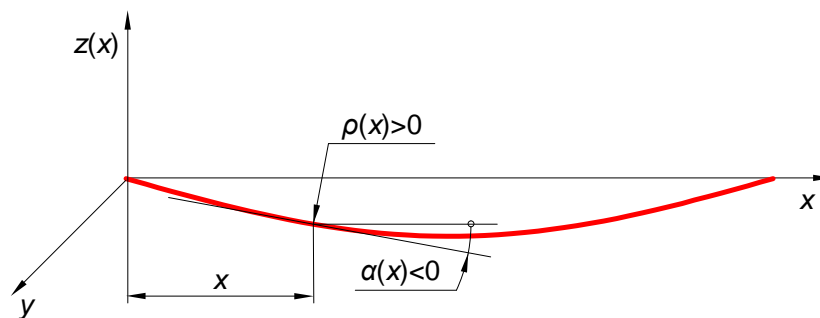


Figure 1. Reference frame of microtunnel path

Slope angle α of the tunnel line is

$$\alpha = \text{atan}[z'(x)], \quad (1)$$

where $\frac{d}{dx} = ()'$, while curvature of the line is

$$\frac{1}{\rho} = \frac{z''(x)}{[1 + z'(x)^2]^{3/2}}. \quad (2)$$

For small values of α ($\alpha \ll 1$) equations (1) and (2) can be approximated by

$$\alpha \approx z'(x) \quad (3)$$

and

$$\frac{1}{\rho} \approx z''(x) \quad (4)$$

respectively.

Similar approach is used in linear elastic beam theory. Furthermore, bending moment M is proportional to the curvature of the beam centre (neutral) line [6]

$$M \sim \frac{1}{\rho}. \quad (5)$$

Considering the steel gas pipes in the micro-tunnel as elastic beams, the main idea is to set up the path of the tunnel as a C2 function, function with continuous second derivative. In that way, sudden changes in curvature will be avoided and continuous leaning of elastic pipes to the bottom of the tunnel insured (without supports). At the same time the boundary conditions on both ends of the tunnel have to be met. Convenient choice for tunnel path function which meets the given condition is half of the wave of the sine function [7]. Nevertheless, in this paper the simple function with piecewise linear second derivative $z''(x)$ is used for further analysis (Fig.2).

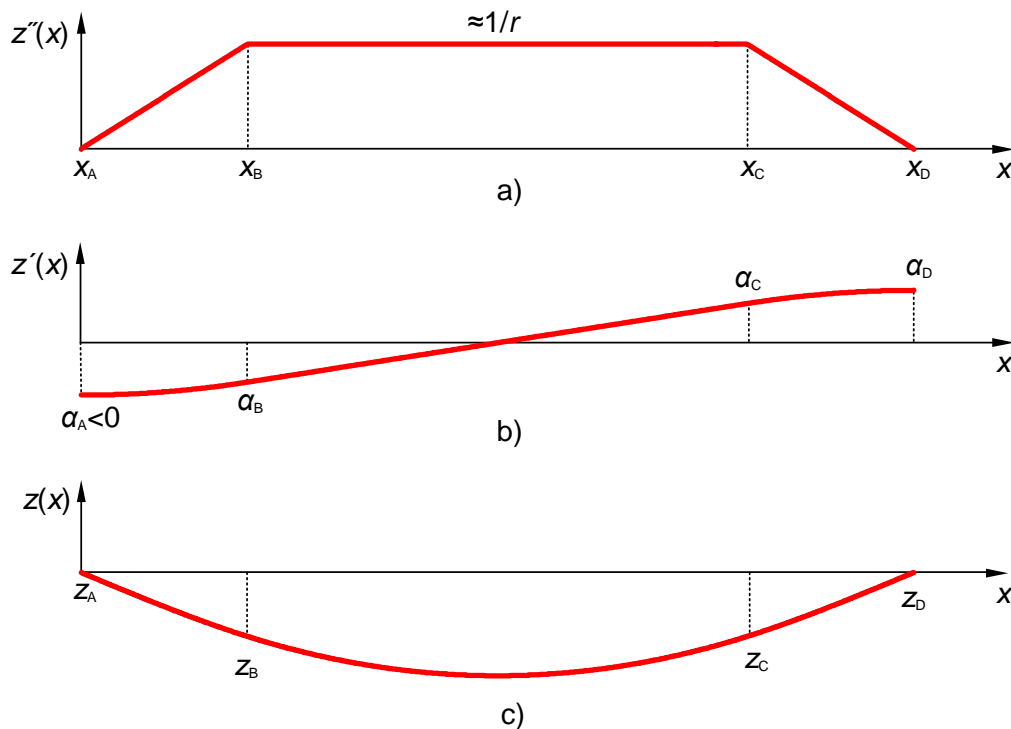


Figure 2. Microtunnel path – C2 class function - symmetric path

4. Case study

Micro-tunnel, approximately 1 km long and 1.6 m in diameter, was built under the Sava River. Path of the tunnel consisted of three sections: first section descending in a straight line, second section of constant curvature, and the third section ascending in a straight line. The lowest point beneath the entrance was approximately 18.5 m (Fig.3).

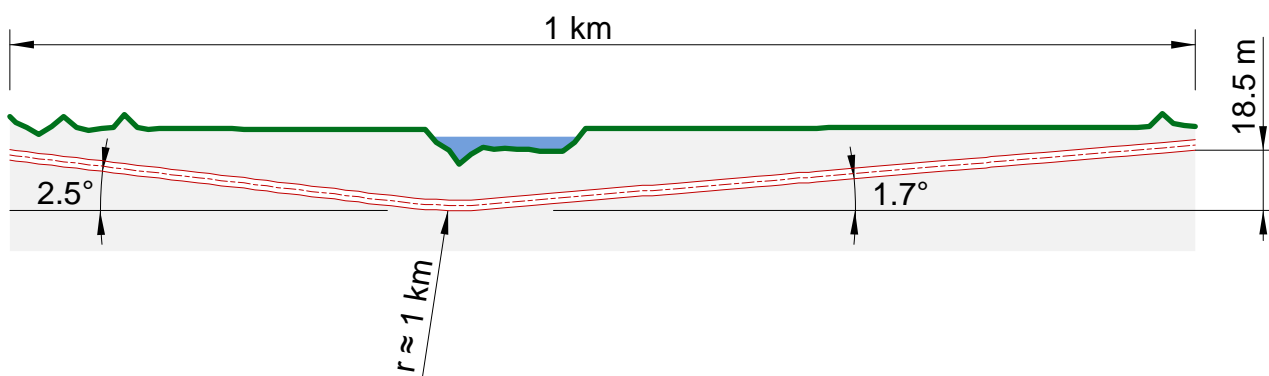


Figure 3. Path of the micro-tunnel under the Sava River, according to geodetic recordings.

Pipe package, to be inserted in the tunnel, comprised two steel gas pipes, 700 and 500 mm in diameter, and one smaller PE pipe which was neglected in further analysis. Pipes were clamped together with a finite number of evenly spaced clamps on wheel supports (Fig.4).

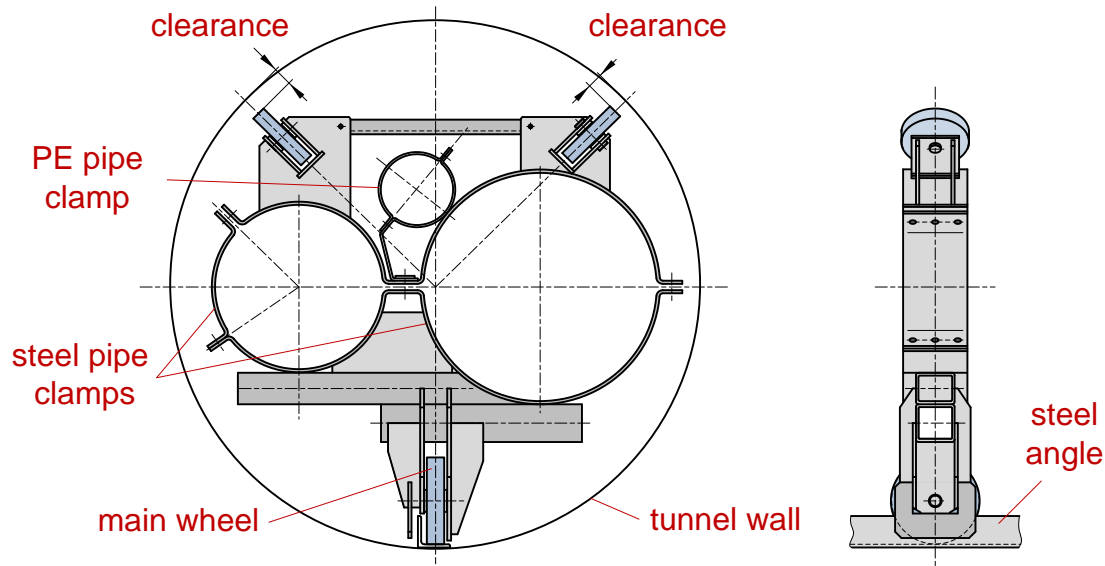


Figure 4. Design of the wheel support with clamps. Rigid structure with main steel wheel on steel angle rail.

Main support wheels were guided on steel angle rail mounted at the bottom of the tunnel. Two additional wheels on every support were intended for sideway leaning of the pipe package against the concrete wall of the tunnel. The whole insertion procedure is described in detail in [2] and [4]. Cross section characteristics of steel pipes are given in Table 1.

Table 1. Cross section characteristics of the steel pipes

| | Pipe 1 | Pipe 2 |
|---|------------------------|------------------------|
| Outer diameter, mm | 711,0 | 508,0 |
| Inner diameter, mm | 679,2 | 488,9 |
| Cross section area, mm ² | 34,721·10 ³ | 14,924·10 ³ |
| Cross section area moment of inertia, mm ⁴ | 2,098·10 ⁹ | 0,464·10 ⁹ |

It can be clearly seen that the bigger pipe is 2.3 times larger in cross section area and thus 2.3 times heavier. It is also 4.5 times larger in cross section area moment of inertia than the smaller pipe. Thus, the weight and stiffness of the pipe package is greatly influenced by the bigger pipe. Nevertheless, in mechanical model they were treated as separate beams jointed at the clamping points [4].

4.1. Proposed path

New path based on the proposed design is shown in figure 5.

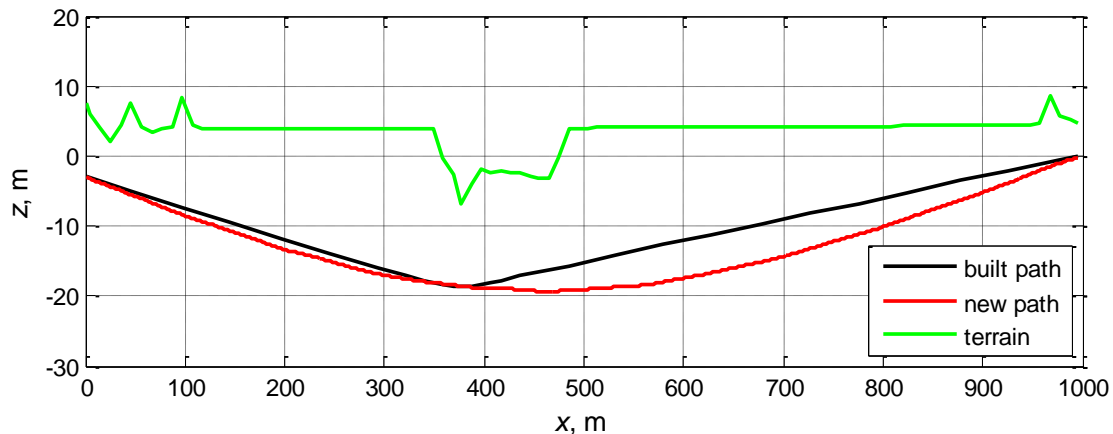


Figure 5. Built path and new proposed path of the tunnel

Entrance and exit points z_A and z_D , together with the minimum of 10 m depth under the lowest point of the river bed are retained. Section of constant curvature with radius $r = 5.5$ km begins at $x_B = 317$ m and ends at $x_C = 517$ m (signs according to fig. 2). Slope angles at the beginning and the end of the tunnel are increased, while the second derivatives, according to the proposed path design, are $z''(x_A) = z''(x_D) = 0$. The above mentioned parameters of the micro-tunnel path were obtained by the Matlab function *fminsearch*.

4.2. Results of insertion simulation – proposed path

The insertion process was simulated with previously developed matlab routine. In the simulation, 306 m long pipe package with 8 m space between supports and 2 m overhang at front end is placed on the bottom of the proposed tunnel path. Insertion depth L_0 is measured from the entrance and increases from 0 to 300 m in 1m increments (Fig. 6).

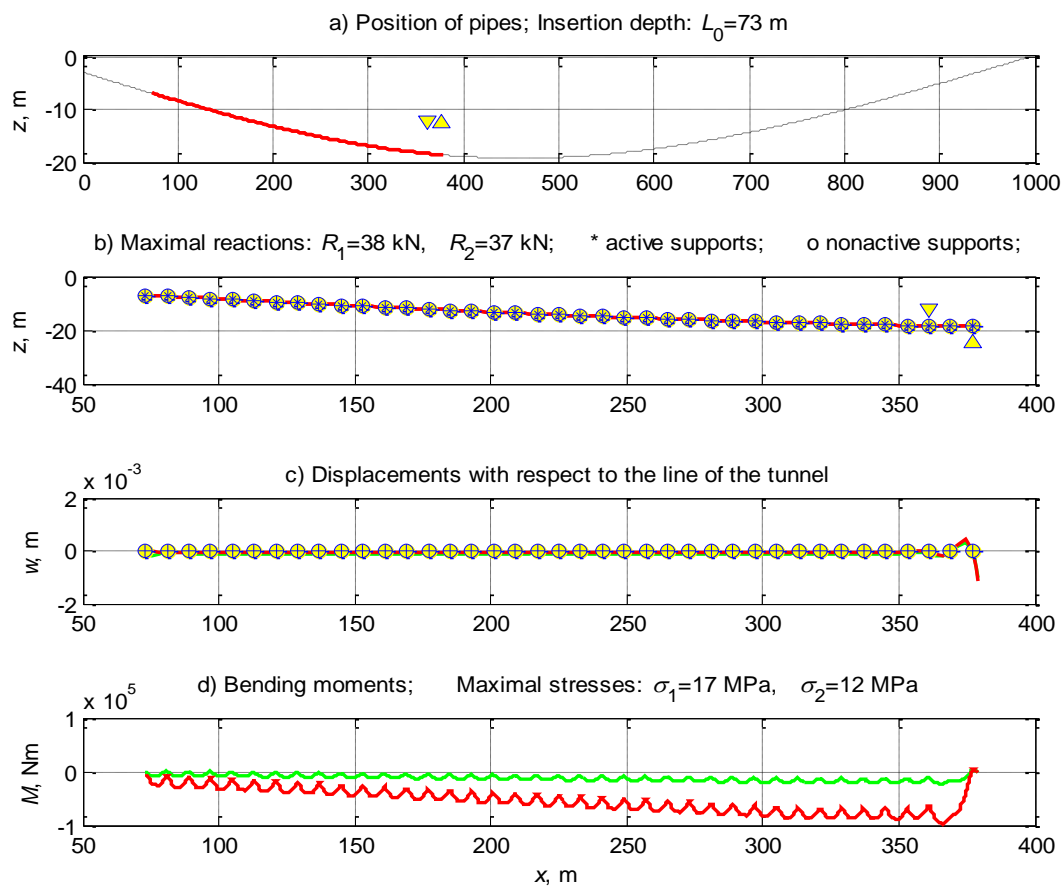


Figure 6. Simulated insertion at given position of the pipe package segment in the micro-tunnel; proposed new path of the tunnel without deviations

According to eq. (5), peaks of bending moment curves (Fig. 6d) follow the linear growth in path curvature up to the point $x_B = 317$ m. After that point, bending curves remain steady. During the insertion simulation all supports remained in contact at the bottom of the tunnel (Fig. 6b). Separate simulation of shorter pipe package insertion across the whole tunnel was carried out and variations of the leading support loads are presented in figure 7.

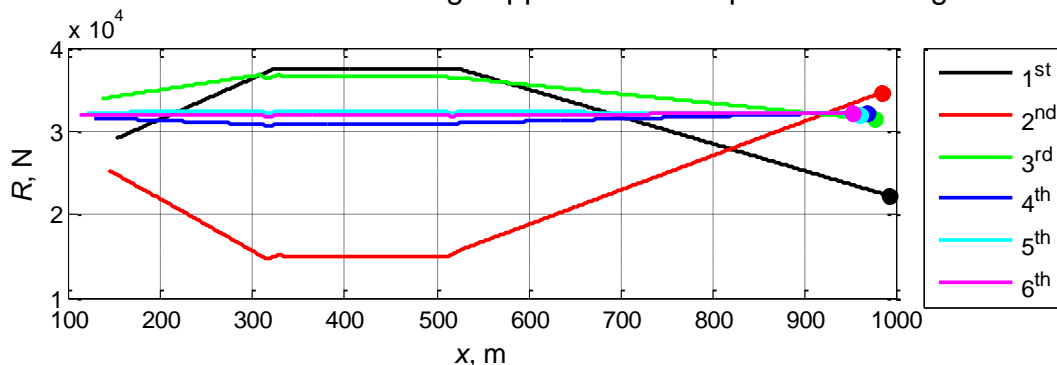


Figure 7. Support reactions of 6 leading supports during insertion simulation for proposed new path of the tunnel without deviations

In this case, when the tunnel is considered as a perfect line without deviations from the designed path, the first support carries the heaviest load in the middle, most curved, section of the tunnel, while on the straightened path at the end of the tunnel its load is halved.

4.3. Results of insertion simulation – proposed path with deviations

In order to simulate unevenness of the path, deviations of maximal value $\pm\Delta$ with random peaks at 33 m distance were introduced (Fig. 8)

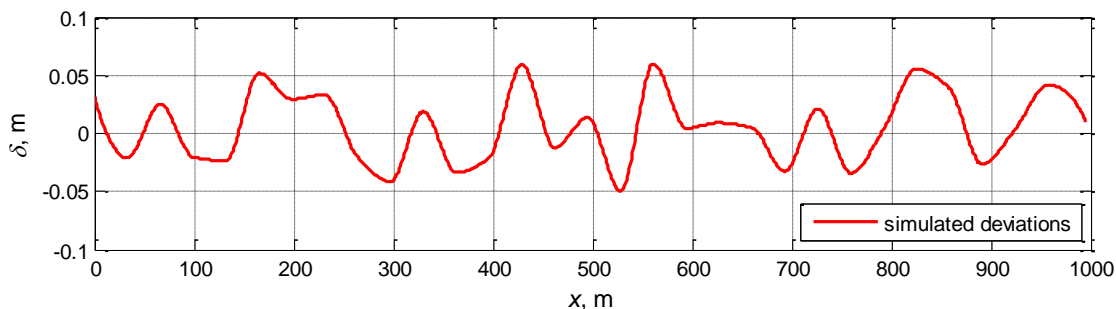


Figure 8. Simulated deviations of the proposed micro-tunnel path, $\pm\Delta = 0.06$ m

Because of that, lifting of the supports occurred and bending moments of the pipes became significantly bigger (Fig. 9).

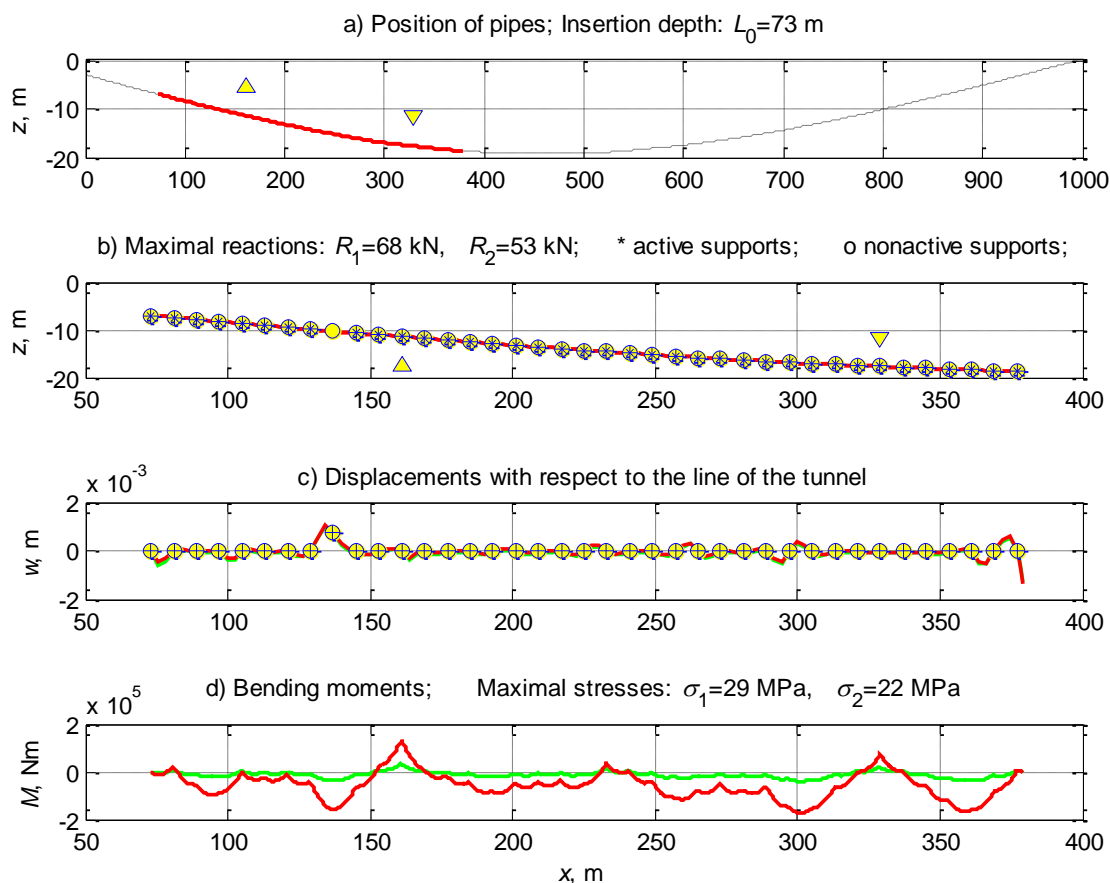


Figure 9. Simulated insertion at a given position of the pipe package segment in the micro-tunnel; proposed new path of the tunnel with simulated deviations of $\pm\Delta = 0.06$ m. Support reactions were also increased and more dependent on local unevenness (Fig. 10).

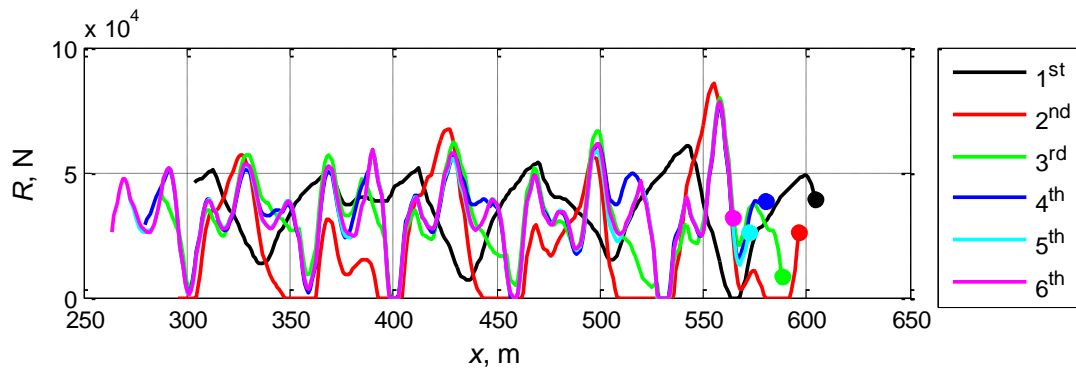


Figure 10. Support reactions during insertion simulation for proposed new path of the tunnel with random deviations of $\pm\Delta = 0.06$ m

Furthermore, insertion simulations were carried out for different maximal values of random path deviations and main results are presented in figure 11.

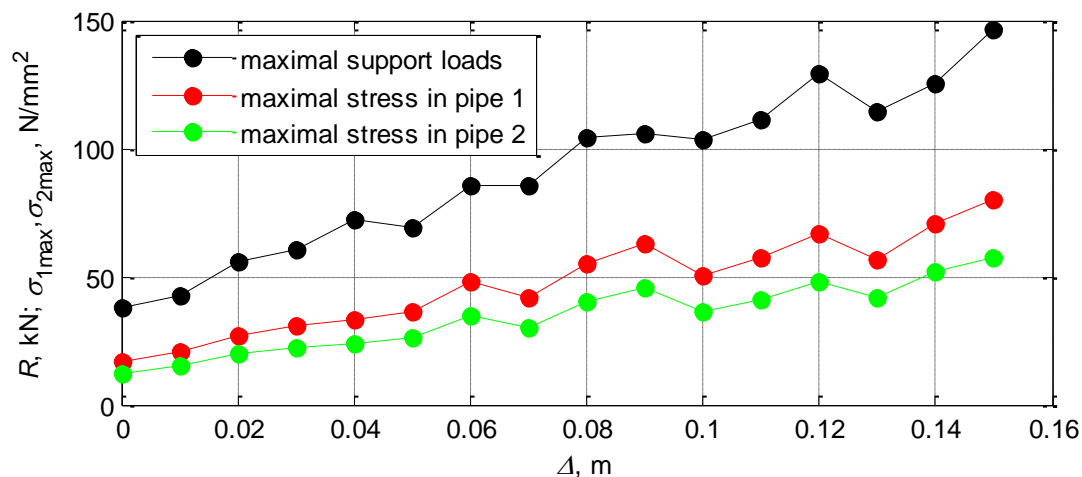


Figure 11. Influence of simulated deviations $\pm\Delta$, of the proposed path, on maximal support loads and maximal stresses in pipes during insertion

In the previous simulations of pipe package insertion into the real tunnel (Fig. 3), maximal support loads of $R_{max} = 140$ kN and stresses of $\sigma_{1max} = 109$ N/mm² and $\sigma_{2max} = 79$ N/mm² in pipes were achieved [4]. In that case, the estimated deviation of the built path from the designed path was approximately ± 0.07 m.

Compared to that, the new proposed path gives a significant improvement both in support loads and pipe stresses (Fig. 11). However, for the same amount of the support load, as in the case of the real tunnel path, the proposed path can be made with doubled deviations and, even then, the stresses in pipes remain up to 30% lower. Load capacity of supports was 150 kN.

5. Conclusion

Overload problem during the insertion of pipes into an existing micro-tunnel is mainly caused by large values or sudden changes in curvature of the micro-tunnel path. Since it can affect the amount of load on wheel supports during the insertion process and, consequently, the stresses in pipes, the curvature can be taken as the key path design parameter. In this work, the micro-tunnel path design with gradual change of curvature is proposed and, thus, loads of stiff supports and stresses in pipes are greatly reduced. With gradual change of curvature,

slopes of the path line at entry and exit point of the tunnel can be easily adjusted to adjoining sections outside the tunnel.

Path deviations from the theoretical curve can significantly increase stresses in pipes, but even more the support loads. It is shown that for the same amount of path deviation, compared to the real path curve studied in [4], the new proposed path with gradual increase of curvature has 40% lower load of supports and 55-60% lower stresses in pipes. This allows either wider tolerances in setting the micro-tunnel path, which could be useful if the ground conditions are difficult, or significant reduction of stiff support loading during the insertion as well as lower stresses in the pipes when the building tolerances are to be met. Lowered stresses in the pipeline immersed in the soil water also lessen the possibility of stress corrosion cracking [8].

In the case of too large support load values due to the unavoidable large path deviations, new design of supports with elastic behavior should be considered, while the proposed design of the tunnel still remains an excellent choice.

6. References

- [1] French Society for Trenchless Technology, Microtunneling and Horizontal Drilling - Recommendations, London, 2006.
- [2] Orešković, M.; Stipanov, D.; Dankić N.; Jurilj, G. Utjecaj izvedbe specijalnih točaka na realizaciju linijskog projekta, *Hrvatski savez građevinskih inženjera, Sabor Hrvatskih Graditelja 2008*, Cavtat, 6.-8. 11. 2008.
- [3] Baniotopoulos, C. C.; Preftitsi, F. Influence of the design parameters on the stress state of saddle-supported pipelines: an artificial neural network approach, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 76 (1999), 401-409.
- [4] Kranjčević, N.; Stegić, M.; Vukšić, M. Loading of Pipeline Supports in Micro-tunnel, *Transactions of FAMENA*, 37 (2013), 1; 1-14.
- [5] <http://asme-ipti.org/files/1956/> Reliance Gas Infrastructure Limited, Application for Global Pipeline Award (GPA) - 2012, Houston, Texas: *ASME Pipeline Systems Division, Annexure-1* (2012), 11-24.
- [6] Alfirević, I. *Nauka o čvrstoći I*, Tehnička knjiga, 1989.
- [7] Lukač, F. Utjecaj uzdužnog profila mikrotunela na opterećenje oslonaca cijevi, *Završni rad*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2013.
- [8] Contreras A.; Hernández S. L.; Orozco-Cruz R.; Galvan-Martínez, R. Mechanical and environmental effects on stress corrosion cracking of low carbon pipeline steel in a soil solution, *Materials & Design*, 35 (2012), 281-289.

Lean i green gubici u distribuciji toplinske energije *Lean and green wastes in distribution of heat energy*

Ivica Mihaljević

HEP-Toplinarstvo d.o.o., Pogon Osijek, Hrvatska

Sažetak

Europska unija je izradila Plan puta za prijelaz na konkurentno gospodarstvo s niskim udjelom ugljika do 2050. godine [1] u kojem se razmatraju scenariji potrebnog smanjenja emisija stakleničkih plinova (za 80% do 95% u razvijenim državama svijeta te za 15% do 30% u državama u razvoju u odnosu na razinu emisija u 1990. godini) i daju smjernice za sektorske politike, te nacionalne i regionalne strategije razvoja. Analize i procjene su pokazale da je okvirne ciljeve smanjenja emisija stakleničkih plinova do 2050. godine u Republici Hrvatskoj moguće smanjiti uz značajne strukturalne promjene u svim sektorima te uz promjene obrasca ponašanja što je temeljni preduvjet uspjeha.

U ovom radu prikazana je početna faza istraživanja o mogućnostima primjene Lean-a u energetske djelatnosti distribucije toplinske energije. Određeni su lean i green gubici, a krajnji cilj istraživanja je izraditi model praćenja učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije u sustavu daljinskog grijanja primjenjujući Lean principe.

Ključne riječi: distribucija toplinske energije, daljinsko grijanje, lean gubici, green gubici.

Abstract

The European Union has developed A Roadmap for moving to a competitive low-carbon economy in 2050. [1] which discusses scenarios required reductions in greenhouse gas emissions (by 80% to 95% in industrialized countries and 15% to 30% in countries developing in relation to the level of emissions in 1990. year) and provides guidelines for sectoral policies, and national and regional development strategies. Analysis and evaluation have shown that the indicative targets for reducing emissions of greenhouse gases by 2050. In Croatia can be reduced with significant structural changes in all sectors, with a pattern of behavior changes as a fundamental prerequisite for success.

This paper presents the initial phase of research on the possibilities of applying Lean in the energy distribution of thermal energy. Certain lean and green wastes, and the ultimate goal of the research is to develop a model for monitoring the effectiveness of the process of distribution of thermal energy in the district heating system by applying Lean principles.

Key words: distribution of heat energy, district heating, lean wastes, green wastes.

1. Uvod

Na zasjedanju 16. konferencije stranaka (COP 16), pod okriljem Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) održanoj u Cancunu (Mexico) 2010. godine dogovoren je i postavljen cilj ograničavanja porasta globalne temperature do 2°C, za što je potrebno smanjiti emisije stakleničkih plinova u 2050. godini, u odnosu na razinu emisija u 1990. godini, za 80 do 95% u razvijenim državama svijeta te za 15 do 30% u državama u

razvoju. Temeljem ovog dogovora Europska unija je izradila Plan puta za prijelaz na konkurentno gospodarstvo s niskim udjelom ugljika do 2050. godine [1] u kojem se razmatraju scenariji potrebnog smanjenja emisija i daju smjernice za sektorske politike, te nacionalne i regionalne strategije razvoja. Prioritetne mjere u sektoru energetike odnose se na povećanje energetske učinkovitost, povećanje udjela obnovljivih izvora energije te izdvajanje i skladištenje CO₂ u fosilnim elektranama. Prioritetne mjere u zgradarstvu odnose se na smanjenje toplinskih gubitaka postojećih zgrada, energetske učinkovite sustave grijanje i hlađenja, nove zgrade blizu nulte energetske potrošnje, individualno mjerenje potrošnje, sustave pametnog upravljanja zgradama i obnovljive izvore energije.

Direktiva Europske unije o energetske učinkovitosti [2] zahtijeva od zemalja članica da procijene potencijal daljinskog grijanja i hlađenja te kogeneracije i poduzmu potrebne mjere za njihovu realizaciju. Temeljna ideja modernog sustava daljinskog grijanja je iskoristiti sve viškove otpadne topline i energiju proizvedenu iz različitih obnovljivih izvora (biomasa, geotermalna i sunčeva energija). Postoji velik neiskorišteni potencijal u zamjeni direktnog korištenja fosilnih goriva s učinkovitim sustavima daljinskog grijanja i hlađenja koji koriste toplinsku energiju proizvedenu u visokoučinkovitim kogeneracijskim postrojenjima, iz otpadne topline i obnovljivih izvora. Prema ovoj Direktivi [2] svi energetske subjekti za distribuciju ili opskrbu toplinskom energijom koji djeluju na teritoriju zemlje članice trebaju se obvezati na uštedu energije koja bi bila jednaka 1,5% ukupne prodane energije u prethodnoj godini. Okvir za izradu Strategije niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske [3] razmotrio je scenarij koji vodi do smanjenja emisija za 80% te predložio osnovne smjernice za izradu Strategije niskougljičnog razvoja. Analize i procjene su pokazale da je okvirne ciljeve smanjenja emisija stakleničkih plinova do 2050. godine u Hrvatskoj moguće smanjiti uz značajne strukturalne promjene u svim sektorima (energetika i industrija, promet, poljoprivreda, gospodarenje otpadom, zemljište i šumarstvo, zgradarstvo i turizam) te uz promjene obrasca ponašanja što je temeljni preduvjet uspjeha. Sa sigurnošću možemo reći da je u ovom trenutku promjena obrasca ponašanja prijeko potrebna u gotovo svim područjima našeg društva kako bi se pokušao pronaći put za izlazak iz krize i gospodarski oporavak. Da je to moguće primjer su tvrtke iz našeg okruženja koje su to prepoznale i prije nekoliko godina krenule u promjene primjenjujući osnove Lean menadžmenta. Ostvarili su značajna poboljšanja u svom poslovanju, eliminirajući poremećaje i gubitke u poslovnim procesima, što je u konačnici rezultiralo stvaranjem proizvoda i usluga bolje kvalitete uz korištenje manje rada, prostora, kapitala i vremena (Končar Energetske transformatori, Županijske ceste Zagrebačke županije, Potomac Croata, Auto Zubak, Jadranska banka, Dalekovod, Feal, OMCO, i dr.). Stoga će se istražiti kakve se promjene i poboljšanja mogu učiniti u energetske djelatnosti distribucije toplinske energije, primjenjujući Lean principe, kako bi se povećanjem učinkovitosti sustava, smanjenjem potrošnje primarne energije i smanjenjem emisija stakleničkih plinova pridonijelo podizanju kvalitete usluge i zadovoljstva kupaca.

2. Osnove Lean menadžmenta

Razvijene su brojne tehnike i metodologije kontinuiranog poboljšanja poslovanja kako bi se smanjili troškovi u poslovnim sustavima i povećalo zadovoljstvo kupaca. Jedna od njih je i metodologija Lean koja je nastala u proizvodnim sustavima te stoga većina znanstvenih i stručnih radova govori o primjeni Lean-a u proizvodnji. Zbog svoje univerzalnosti principi Lean proizvodnje uspješno su primijenjeni i u uslužnim djelatnostima (zdravstvo, javna uprava, sveučilišta, školstvo, turizam, kultura, građevinarstvo i dr.) [4]. Lean menadžment je koncept upravljanja proizvodnjom, razvojem proizvoda i uslugama koji ima za cilj stvoriti točno određenu vrijednost za kupca, stvoriti proizvode i usluge bolje kvalitete, uz korištenje

manje ljudskog rada, prostora, kapitala, informacija i vremena, kroz uravnotežen i brzi tok koji se ostvaruje otklanjanjem poremećaja i gubitaka u procesu te postizanjem fleksibilnosti. To je dinamičan proces koji koristi znanje i orijentiran je na kupca, proces kojim poduzeća kontinuirano rade na otklanjanju gubitaka i stvaranju vrijednosti. Osnovni principi Lean-a su: vrijednost iz perspektive kupca, tok vrijednosti, protočnost, povlačenje i izvrsnost [5]. Podjela aktivnosti i gubitaka prema Lean-u te green gubici opisani su u poglavlju 4.

3. Istraživanje područja Lean-a i distribucije toplinske energije

Budući da je vrlo malo radova koji govore o primjeni Lean-a u energetskim djelatnostima, uključujući i distribuciju toplinske energije, istraženi su radovi koji govore o smanjenju potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova nakon uvođenja Lean-a, o povezanosti Lean-a i Green-a ([6], [7]) te o njihovim sinergijskim učincima kada se istovremeno uvode u procese proizvodnih i uslužnih djelatnosti [8].

U području distribucije toplinske energije istraženi su radovi koji obrađuju teme vezane za učinkovitost distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja:

- optimizacija upravljanja i vođenja sustava daljinskog grijanja [9],
- upravljanje toplinskim gubicima [10] i
- uloga daljinskog grijanja u smanjenju emisija stakleničkih plinova [11].

U ovoj početnoj fazi istraživanja o mogućnostima primjene Lean-a u djelatnosti distribucije toplinske energije prikazano u navedenim radovima poslužiti će za:

- izradu mape sadašnjeg stanja toka vrijednosti procesa distribucije toplinske energije
- analizu toka vrijednosti, određivanje aktivnosti koje dodaju vrijednost, aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, ali su neophodne i aktivnosti koje predstavljaju čisti gubitak te
- određivanje lean i green gubitaka u procesu distribucije toplinske energije.

4. Primjena Lean-a u toplinskim djelatnostima

4.1. Osnovne toplinske djelatnosti

Na Slici 1. prikazane su osnovne toplinske djelatnosti proizvodnja, distribucija i opskrba toplinskom energijom te opisane najznačajnije aktivnosti u okviru ovih djelatnosti koje se odnose na tok energije od proizvodnje do potrošnje.

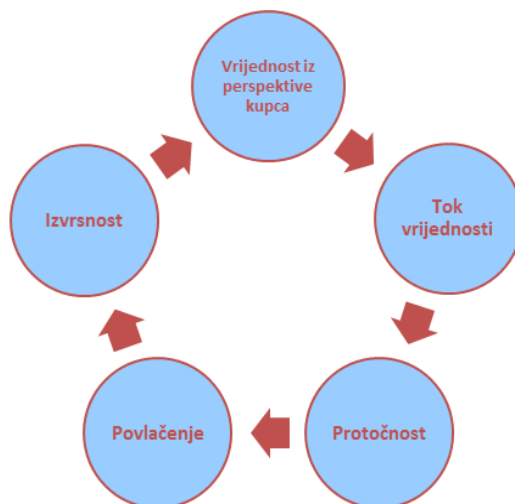


Slika 1. Osnovne toplinske djelatnosti



4.2. Lean principi u djelatnosti distribucije toplinske energije

Na Slici 2. prikazani su osnovni principi Lean-a, a u Tablici 1. navedena su njihova značenja, sadržanost i primjenjivost u osnovnim toplinskim djelatnostima.



Slika 2. Osnovni principi Lean-a

Tablica 1. Lean principi u distribuciji toplinske energije

| Lean principi | Primjena u osnovnim toplinskim djelatnostima |
|--|---|
| Vrijednost iz perspektive kupca | <ul style="list-style-type: none"> ➤ optimalna količina toplinske energije u svakom trenutku uz najniže troškove (minimalna količina toplinske energije potrebna za postizanje projektnih temperatura u prostorijama stambenih i poslovnih prostora priključenih na toplinski sustav, nema pregrijavanja) ➤ sigurna i kontinuirana opskrba toplinskom energijom uz prihvatljivu cijenu ➤ obračun na temelju stvarne potrošnje ➤ što manji utjecaj na okoliš |
| Tok vrijednosti | <ul style="list-style-type: none"> ➤ distributer nabavlja/preuzima toplinsku energiju od proizvođača ➤ distribucija ogrjevnog medija kroz polazni vod vrelovodne mreže od proizvođača do toplinskih podstanica kupaca ➤ opskrba kupaca toplinskom energijom (predaja/ispоруka toplinske energije kupcima) ➤ distribucija ogrjevnog medija kroz povratni vod vrelovodne mreže od toplinskih podstanica kupaca do proizvođača ➤ podizanje tlaka ogrjevnog medija kako bi se omogućila cirkulacija i distribucija ➤ zagrijavanje ogrjevnog medija u toplinskim izvorima proizvođača (proizvodnja toplinske energije) |
| Protočnost | <ul style="list-style-type: none"> ➤ neprekinuti tok/cirkulacija ogrjevnog medija od proizvođača toplinske energije kroz polazni vod distribucijske vrelovodne mreže do toplinskih podstanica kupaca, gdje se toplinska energija predaje kupcima i kroz povratni vod distribucijske mreže vraća do proizvođača ➤ glavne cirkulacijske crpke u distribucijskoj vrelovodnoj mreži omogućuju neprekinuto strujanje (cirkulaciju) ogrjevnog medija |
| Povlačenje | <ul style="list-style-type: none"> ➤ proizvođač proizvodi samo onu količinu toplinske energije koja je konzumu tj. kupcima u tom trenutku potrebna za zagrijavanje njihovih prostora i pripremu potrošne tople vode |
| Izvrsnost | <ul style="list-style-type: none"> ➤ kontinuirani nadzor i kontrola parametara ogrjevnog medija (temperatura, tlak, protok, kemijska kvaliteta) na pragu proizvodnje, na karakterističnim kontrolnim oknima (šahovima) u polaznom i povratnom vodu distribucijske vrelovodne mreže te u toplinskim podstanicama kupaca ➤ kontrola preuzete i isporučene količine toplinske energije te angažirane toplinske snage na pragu proizvodnje i pragu potrošnje |

4.3. Lean i green gubici u distribuciji toplinske energije

U Tablicama 2. i 3. prikazani su lean i green gubici i njima odgovarajući gubici u djelatnosti distribucije toplinske energije.

Tablica 2. Lean gubici u distribuciji toplinske energije

| Lean gubici | Odgovarajući gubici u distribuciji toplinske energije |
|--|--|
| Prekomjerna proizvodnja | <ul style="list-style-type: none"> ➤ proizvodi se više toplinske energije nego što je potrebno ogrjevnom konzumu tako da dolazi do pregrijavanja prostora, previsoke temperature ogrjevnog medija u povratnom vodu vrelovodne mreže i povećanih toplinskih gubitaka (osobito izraženo u prijelaznim jesenskim i proljetnim razdobljima kada su nagle promjene vanjske temperature zraka) |
| Zalihe | <ul style="list-style-type: none"> ➤ predimenzioniranost cjevovoda i opreme |
| Transport | <ul style="list-style-type: none"> ➤ previsoki tlakovi u mreži ➤ poddimenzioniranost cjevovoda i opreme - "uska grla" povećavaju troškove distribucije/transporta ogrjevnog medija |
| Čekanje | <ul style="list-style-type: none"> ➤ predugo vrijeme dolaska ogrjevnog medija od praga proizvodnje do najudaljenijih kupaca (transportno kašnjenje) ➤ problem u jutarnjim satima ako se kasno krene s proizvodnjom ➤ problem kod naglih promjena vanjskih temperatura zraka i brzina vjetra ➤ problem kod dužih ispada iz rada glavnih cirkulacijskih crpki ili prekida u opskrbi toplinskom energijom zbog puknuća magistralnih cjevovoda |
| Nepotrebna kretanja | <ul style="list-style-type: none"> ➤ propuštanja kod zapornih armatura koje bi trebale biti zatvorene kada je vrelovodni sustav u radu (armature u obilaznom vodu u glavnoj vrelovodnoj stanici gdje su glavne cirkulacijske crpke, u distribucijskoj mreži, u toplinskim podstanicama kod kupaca) ➤ neodgovarajuće trase cjevovoda |
| Škart | <ul style="list-style-type: none"> ➤ ispad iz rada vrelovodnog sustava zbog nestanka električne energije ili puknuća cjevovoda ➤ nadopuna ogrjevnog medija zbog propuštanja i curenja cjevovoda |
| Prekomjerna obrada | <ul style="list-style-type: none"> ➤ parametri ogrjevnog medija iznad propisanih vrijednosti |
| Nedovoljno korištenje potencijala zaposlenika | <ul style="list-style-type: none"> ➤ neodgovarajuća organizacija i sistematizacija radnih mjesta ➤ previše rukovodećih kadrova s nejasnim ulogama i odgovornostima ➤ nedostaje opis poslova za radna mjesta ➤ nedostaje pravilnik o ocjenjivanju radnika |

Tablica 3. Green gubici u distribuciji toplinske energije

| Green gubici | Odgovarajući gubici u distribuciji toplinske energije |
|-------------------|---|
| Energija | <ul style="list-style-type: none"> ➤ proizvodi se i distribuira kupcima više toplinske energije nego što je potrebno ➤ zagrijavanje dodatnih količina ogrjevnog medija za nadopunu distribucijske mreže zbog propuštanja cjevovoda ➤ neučinkovita proizvodna postrojenja pa se troši više goriva za proizvodnju toplinske energije (onog dijela koji služi za pokrivanje toplinskih gubitaka) ➤ povećani toplinski gubici zbog loše toplinske izolacije cjevovoda zahtijevaju proizvodnju većih količina toplinske energije da bi kupcima moglo biti isporučeno dovoljno energije ➤ ne korištenje otpadne topline i obnovljivih izvora ➤ viši temperaturni režimi jer građevine nisu toplinski izolirane pa su potrebe ogrjevnog konzuma dosta velike ➤ sve to ima za posljedicu veću potrošnju goriva i veće emisije u okoliš |
| Voda | <ul style="list-style-type: none"> ➤ zbog propuštanja i curenja cjevovoda potrebne su veće količine vode/ogrjevnog medija za nadopunu mreže kako bi se mogao održavati tlak u sustavu na usisu glavnih cirkulacijskih crpki ➤ dodatni troškovi za sirovu vodu i kemijsku pripremu vode za nadopunu distribucijske mreže |
| Materijali | <ul style="list-style-type: none"> ➤ u kemijskoj pripremi vode koriste se sredstva neprihvatljive za okoliš ➤ dodatne količine kemijskih sredstava za pripremu vode zbog propuštanja cjevovoda ➤ korištenje toplinske izolacije, maziva i ostalih materijala koji nisu ekološki prihvatljivi |
| Otpad | <ul style="list-style-type: none"> ➤ sav otpad koji nastane pri obavljanju djelatnosti distribucije toplinske energije (izvođenje radova na zamjenama, rekonstrukcijama i održavanju distribucijske mreže) |
| Emisije | <ul style="list-style-type: none"> ➤ korištenje goriva s velikim udjelom sumpora u proizvodnji toplinske energije (teška loživa ulja) ➤ neučinkovita proizvodna postrojenja ➤ velika potrošnja toplinske energije u zgradarstvu zbog toplinske ne izoliranosti građevina ➤ veliki toplinski i maseni gubici u distribuciji |

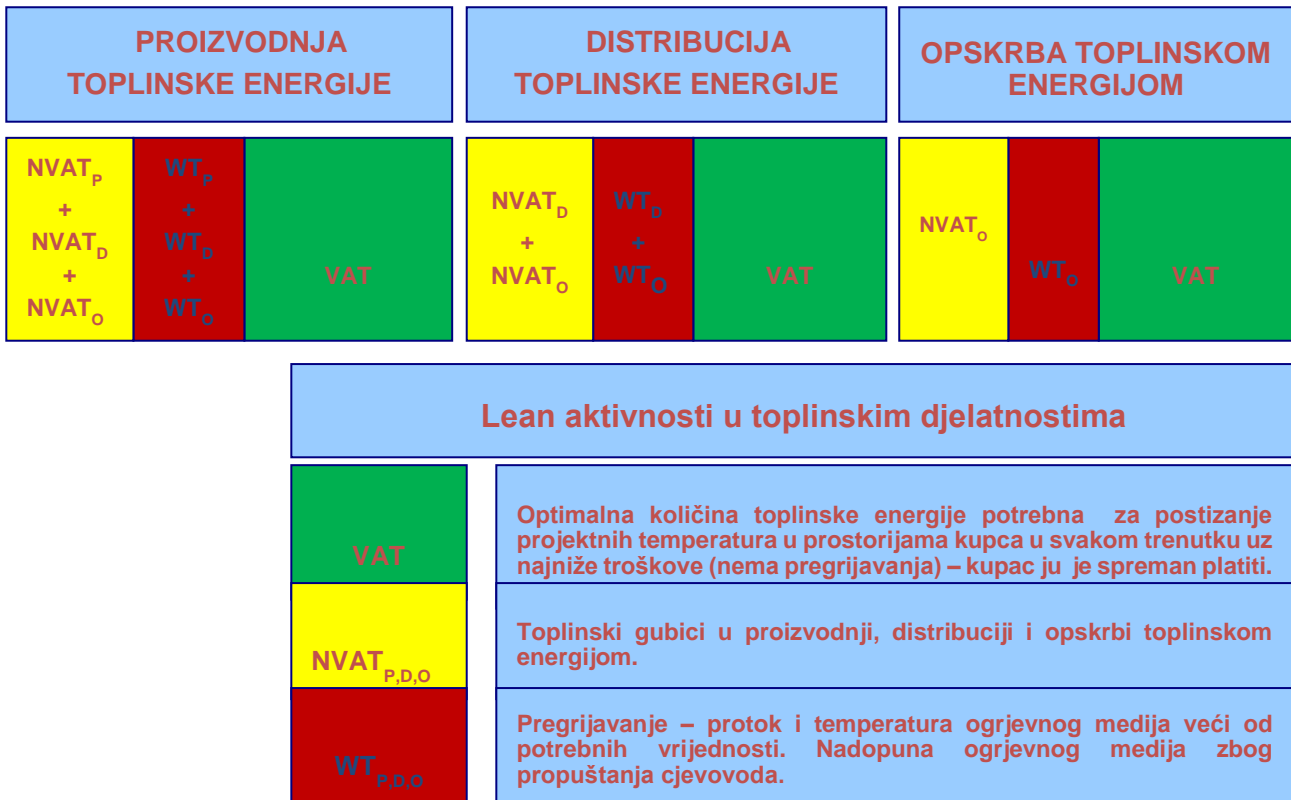
4.4. Lean aktivnosti u toplinskim djelatnostima

Prema Leanu sve aktivnosti u procesima mogu se podijeliti na:

- aktivnosti koje dodaju vrijednost (VAT – Value Added Time)
- aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (NVAT – Not Value Added Time) – neophodni gubitak i
- aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (WT – Waste Time) – čisti gubitak.

Na Slici 3. su prikazane Lean aktivnosti u osnovnim toplinskim djelatnostima kada kao tok vrijednosti promatramo energetska učinkovitost, odnosno gubitke energije u ovim djelatnostima. U VAT aktivnostima su sve one aktivnosti koje doprinose isporuci optimalne

količine toplinske energije potrebne za postizanje projektnih temperatura u prostorijama kupaca u svakom trenutku i uz najniže troškove. NVAT aktivnosti sadrže neophodne toplinske gubitke u svim djelatnostima koji se kreću u zadanim (reguliranim) granicama, dok WT aktivnosti sadrže toplinske gubitke zbog pregrijavanja, puknuća i propuštanja cjevovoda te ispada iz rada toplinskog sustava. Navedeni lean i green gubici u distribuciji toplinske energije su sadržani u NVAT i WT aktivnostima.



Slika 3. Lean aktivnosti u toplinskim djelatnostima

Za poboljšanje procesa distribucije toplinske energije treba donijeti kratkoročne i dugoročne planove za smanjenje gubitaka i njihovu optimizaciju (tzv. ERO strategija - **E**liminirati, **R**educirati, **O**ptimizirati):

Eliminirati aktivnosti koje su čisti gubitak (WT):

- sanacija puknuća cjevovoda
- preventivno održavanje, remont i korektivno održavanje (sustav za upravljanje poslovima održavanja)
- zamjena i rekonstrukcija dotrajalih dionica vrelovodne mreže na temelju kriterija za revitalizaciju mreže novim predizoliranim cijevima s ugrađenim sustavom za detekciju vlage i uređajima za kontinuirani nadzor (kako bi smanjili gubitke ogrjevnog medija zbog propuštanja cjevovoda).

Reducirati aktivnosti koje ne dodaju vrijednost (NVAT):

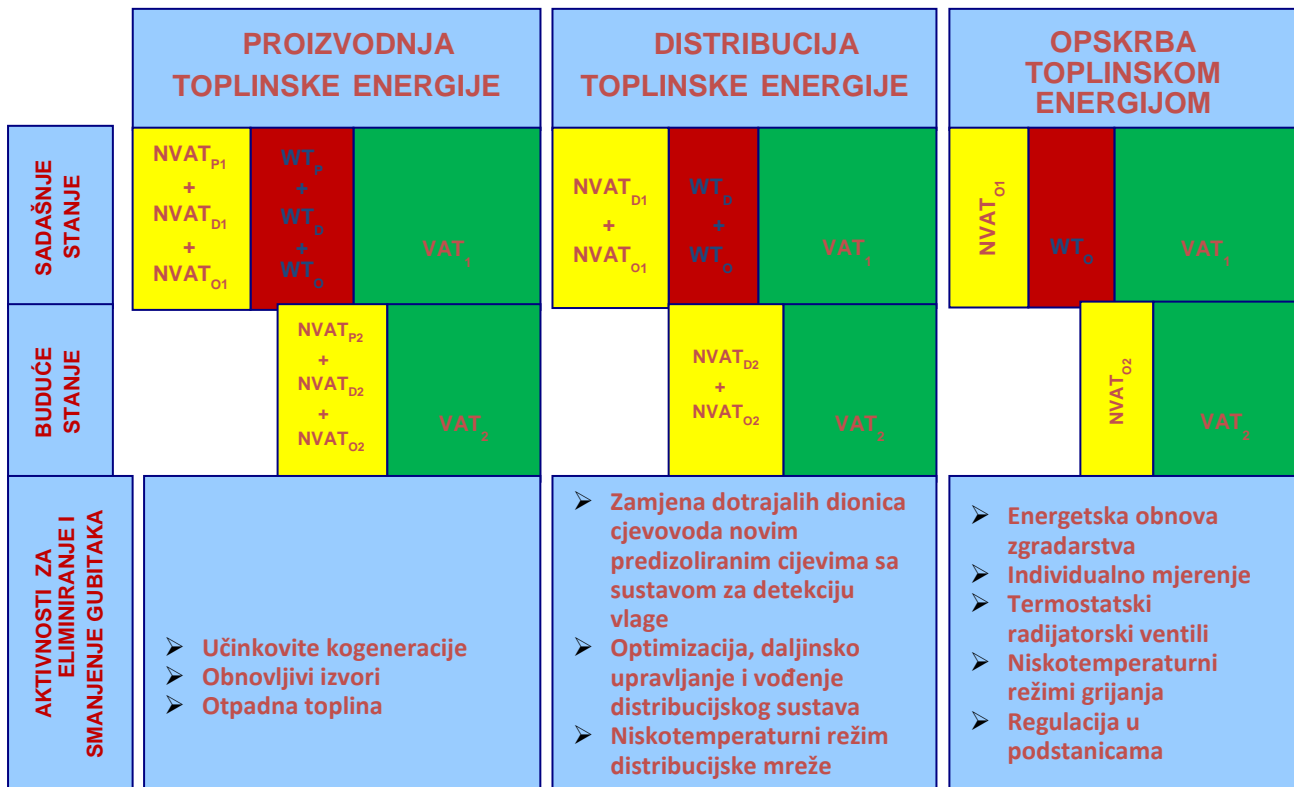
- zamjena i rekonstrukcija dotrajalih dionica vrelovodne mreže (kako bi smanjili toplinske gubitke kroz cjevovod)
- zamjena pojedinih dionica vrelovodne mreže zbog poddimenzioniranosti cjevovoda
- smanjenje lokalnih otpora u mreži ugradnjom armature s manjim padom tlaka
- frekventna regulacija glavnih cirkulacijskih crpki (niži troškovi električne energije)

- redovno preventivno održavanje, remont i korektivno održavanje (sustav za upravljanje poslovanjem održavanja).

Optimizirati aktivnosti koje dodaju vrijednost (VAT):

- kontrola parametara ogrjevnog medija na pragu proizvodnje
- tehničko ekonomska optimizacija sustava daljinskog grijanja
- sustav za upravljanje i vođenje distribucijskog sustava.

U nastavku istraživanja odabrat će se odgovarajući Lean alati i tehnike (VSM - Mapiranje toka vrijednosti, 5S, Kaizen, 5W, Poka-Yoke, Standardizacija, TPM - Total Productive Maintenance i dr.), kako bi se smanjili i uklonili gubici u distribuciji toplinske energije. Poboľšat će se tok vrijednosti i izraditi mapa budućeg stanja procesa distribucije toplinske energije s navedenim aktivnostima koje najviše pridonose povećanju učinkovitosti, uključujući tu i aktivnosti za eliminiranje i smanjenje gubitaka na strani proizvodnje i opskrbe (potrošnje), koje također značajno utječu na gubitke u distribuciji (Slika 4.).



Slika 4. Aktivnosti za eliminiranje i smanjenje gubitaka u toplinskim djelatnostima

5. Zaključak

U ovom radu prikazana je početna faza istraživanja o mogućnostima primjene Lean-a u djelatnosti distribucije toplinske energije koja obuhvaća određivanje lean i green gubitaka. Uvažavajući specifičnosti distribucije toplinske energije u sustavima daljinskog grijanja u nastavku istraživanja primijenit će se odgovarajuće Lean tehnike i alati za unaprjeđenje i poboljšanje procesa distribucije toplinske energije, odredit će se relevantni parametri učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije (toplinski gubici, gubici vode zbog nadopune mreže, emisije stakleničkih plinova, prekidi u distribuciji i opskrbi toplinskom energijom) i način njihovog praćenja (metrika) te kao krajnji cilj istraživanja oblikovati model za praćenje učinkovitosti procesa distribucije toplinske energije koji će poslužiti i pomoći

energetskim subjektima za distribuciju toplinske energije u provođenju potrebnih mjera i aktivnosti na racionalizaciji i optimizaciji poslovanja. Povećanje učinkovitosti sustava, smanjenje potrošnje primarne energije i emisija stakleničkih plinova pridonijet će podizanju kvalitete usluge i zadovoljstva kupaca priključenih na toplinske sustave.

6. Literatura

- [1] Plan puta za prijelaz na konkurentno gospodarstvo s niskim udjelom ugljika do 2050. godine (COM(2011) 112)
- [2] Direktiva Europske unije o energetskej učinkovitosti (2012/27/EU)
- [3] Program Ujedinjenih naroda za razvoj u Hrvatskoj: Tranzicija prema niskougljičnom razvoju Republike Hrvatske, Okvir za izradu Strategije niskougljičnog razvoja, 2013.
- [4] Štefanić, Nedeljko; Tošanović, Nataša. Lean proizvodnja, 2012.
- [5] Womack, James P.; Jones, Daniel T.. Lean thinking, Simon & Schuster, Inc. 2003.
- [6] Kyrö, Riikka; Luoma, Tuuli; Junnila, Seppo; Maattanen, Eeva. Linking Lean to Green – Energy Efficiency as a Value Stream // 10. EuroFM Research Symposium EFMC2011, Vienna
- [7] King, Andrew A.; Lenox, Michael J.. Lean and green? An empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance // Production and Operations Management, 10 (3), 244-256 (2001).
- [8] Bergmiller, Gary G.; McCright, Paul R.. Are Lean and Green Programs Syneristic? // Proceedings of the 2009 Industrial Engineering Research Conference
- [9] Woods, Paul; Gunning, Rebecca; Snock, Chris; Onno, Tom; Yang, Libing; Ahonen, Markku; Wiltshire, Robin.. The Optimisation of District Heating Operating Temperatures and an Appraisal of the Benefits of Low Temperature District Heating // IEA District Heating and Cooling, Annex V, 1999.
- [10] Schmitt, Frieder; Hoffmann, Heinz-Weiner; Göhler, Torsten. Strategies to Manage Heat Losses – Technique and Economy // IEA DHC, Annex VII, 2005.
- [11] SP Technical Research Institute of Sweden; KDHC Korea District Heating Technology Research Institute; SINTEF Energy Research Norway. The potential for increased primary energy efficiency reduced CO₂ emissions by district heating and cooling: method development and case studies // IEA DHC , 2011.

Analiza održivosti projekta čiste energije malih vodotoka pomoću računalne aplikacije ***Analysis of sustainability of the project, of clean energies of small watercourse, using computer applications***

Em. Trožić^{1,*}, En. Trožić², Ed. Smajić³

¹Vodovod Sanski Most, Bosna i Hercegovina

²Škola Vrhpolje, Općina Sanski Most, Bosna i Hercegovina

³Općina Hadžići, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak

U kontinuiranom porastu posljedica negativnog utjecaja na okoliš projekti koji, bar donekle, ublažavaju te utjecaje imaju izuzetnu važnost. Međutim, za svaki od potencijalnih projekata, čiste energije, neophodno je dokazati ekonomsku održivost. Do sada je razrađeno više metoda za identifikaciju i procjenu potencijalnih energetske projekata. Neki od tih metoda su se predstavili softverskim rješenjima koji se besplatno mogu preuzeti. Kod nekih softverskih rješenja postoje integrirane baze podataka o hidrološkim i klimatskim karakteristikama lokacije na kojoj se nalazi projekt. Kod softverskih aplikacija za analizu projekata čiste energije, čiji analitički alati sadrže baze podataka, potpuno su integrirani podaci hidrologije i klime za veliki broj lokacija kopnenih mjernih stanica, satelitski snimci cijele zemljine površine i linkovi na kojima se nalaze karte sa lokacijama svjetskih energetske resursa. Za projekt male hidroelektrane, na odabranom vodotoku, izvršena je cjelovita analiza održivosti. Ulazni podaci su izračunati na osnovu dugogodišnjeg praćenja vodostaja. Analiza i diskusije se provodi kroz scenarije, čiji rezultati su dobiveni ovim softverskim alatima. U zaključku se obrazlažu rješenja koja jamče održivost projekta čiste energije malih vodotoka.

Ključne riječi : održivost, čista energija, mali vodotok, integrirani alati.

Abstract

In continuous rise of consequences to negative environmental impact, the projects that mitigate the impacts are essentially important. However, for each of the potential Projects of clean energy, it is necessary to prove economical viability. Ever since, it has been elaborated numerous methods for the identification and evaluation of potential energy projects. Some of these methods has been presented by software solutions that can be downloaded for free. At some software solutions there are integrated database related to hydrological and climatic characteristics of the location where the project is located. At software applications for the analysis of clean energy Project, whose analytical tools includes databases are fully integrated data for hydrological and climate for a large number locations of land surveying, satellite photos of the entire earth's surface and links which contain maps with locations of

the World's energy resources. For the project small hydro the selected stream was performed complete sustainability analysis. Input data is were calculated based on long-term observations of water levels. Analysis and discussion is conducted through the scenarios, the results of which were obtained by this software tools. In conclusion, be reasonable solutions that guarantee the sustainability of the project clean energies small watercourses.

Keywords: sustainability, clean energy, small watercourse, integrated tools.

1. Uvod

Kod iskorištavanja vodne snage za proizvodnju električne energije, naročito, je bitan odabir optimalne elektrostrojne opreme, odnosno, tehnološkog rješenja za raspoloživi pad i količinu vode, tako da postrojenje bude ekonomski rentabilno. Odabir lokacije ima značajnu ulogu kod izgradnje ali i kod eksploatacije, tako da je preporučljivo da ista bude bliža elektroprijenosnoj i saobraćajnoj infrastrukturi, a u isto vrijeme da efekti utjecaja na okoliš budu usklađeni s uvjetima iz okolišne dozvole. Za monitoring utjecaja mHE na okoliš, važno je kontinuirano osiguravanje ekološki prihvatljivog protoka (EPP) na vodotoku koji se eksploatira. Ovo naročito jer se mHE grade na "malim vodotocima", odnosno, vodenim kanalima čije se širine kreću od 1 do 20 metara a minimalni protok je, prirodno mali. Postoji značajna prednost korištenja hidroenergije u odnosu na korištenje fosilnih i drugih konvencionalnih goriva. Tako na primjer, zamjenom 1 GWh električne energije dobivene u termo elektrani (TE) s proizvedenom u mHE doprinosi se smanjenju emisije ugljičnog-dioksida (CO₂) za 480 tona. [1]

2. Opis problema

Za poticanje izgradnje pogona za iskorištavanje obnovljivih izvora energije, postoje diferencirane otkupne cijene, tako da je otkupna cijena električne energije proizvedene iz mHE veća od cijene energije iz svih drugih vidova. Međutim, bez obzira na stimulativne otkupne cijene, vrlo je važno za odabir optimalnog postrojenja za gradnju održive mHE, odabrati lokaciju s optimalnim hidrotehničkim parametrima. Kod postavljanja kriterija za gradnju, pored hidrotehničkih parametara i troškova građenja, otkupne cijene električne energije, troškova održavanja i dr. postavljaju se i ekološka ograničenja mikrolokacije (zone zaštite kulturnog i prirodnog nasljeđa, ekološki prihvatljiv protok (EPP) i dr.). Na troškove izgradnje i održavanja značajno utječu cijena izgradnje građevinskog dijela objekta, elektro i strojarske opreme, kao i udaljenost od saobraćajnica i dalekovoda ili potrošača električne energije. Utjecaj ovih troškova se može ublažiti tako što se građevinski radovi i oprema nabavljaju putem javnog nadmetanja te se očekuje, u realnim uvjetima, da se može postići najpovoljnija cijena i rokovi plaćanja. Kako se gradnja mHE izvodi na malim vodotocima, određivanje hidro potencijala zavisi od: poprečnog presjeka, minimalne stope protoka, neto pada, dužine potisnog cjevovoda, odnosno maksimalne udaljenosti od vodnog zahvata do centrale i dr. U eksploatacijskim uvjetima je od izuzetne važnosti uskladiti radne karakteristike postrojenja s variranjem hidrotehničkih parametara.

3. Korištenje razvijenih modela za analizu održivosti

U svijetu, već postoji nekoliko metoda koje koriste poznate ulazne parametre i omogućuju definiranje održivosti mHE, kao što su: **Software IMP 5.0**, [2], **RETScreen™**, [3], **HydrA method**, [4], i dr. od kojih su za neke softverske aplikacije dostupne na internetu. U Europi je razvijena *HydrA method*, koja se pokazala praktičnom, a u primjeni je i model koji se razvio pod nazivom **CRES method** (*Centre for Renewable Energy Sources (CRES)*), za

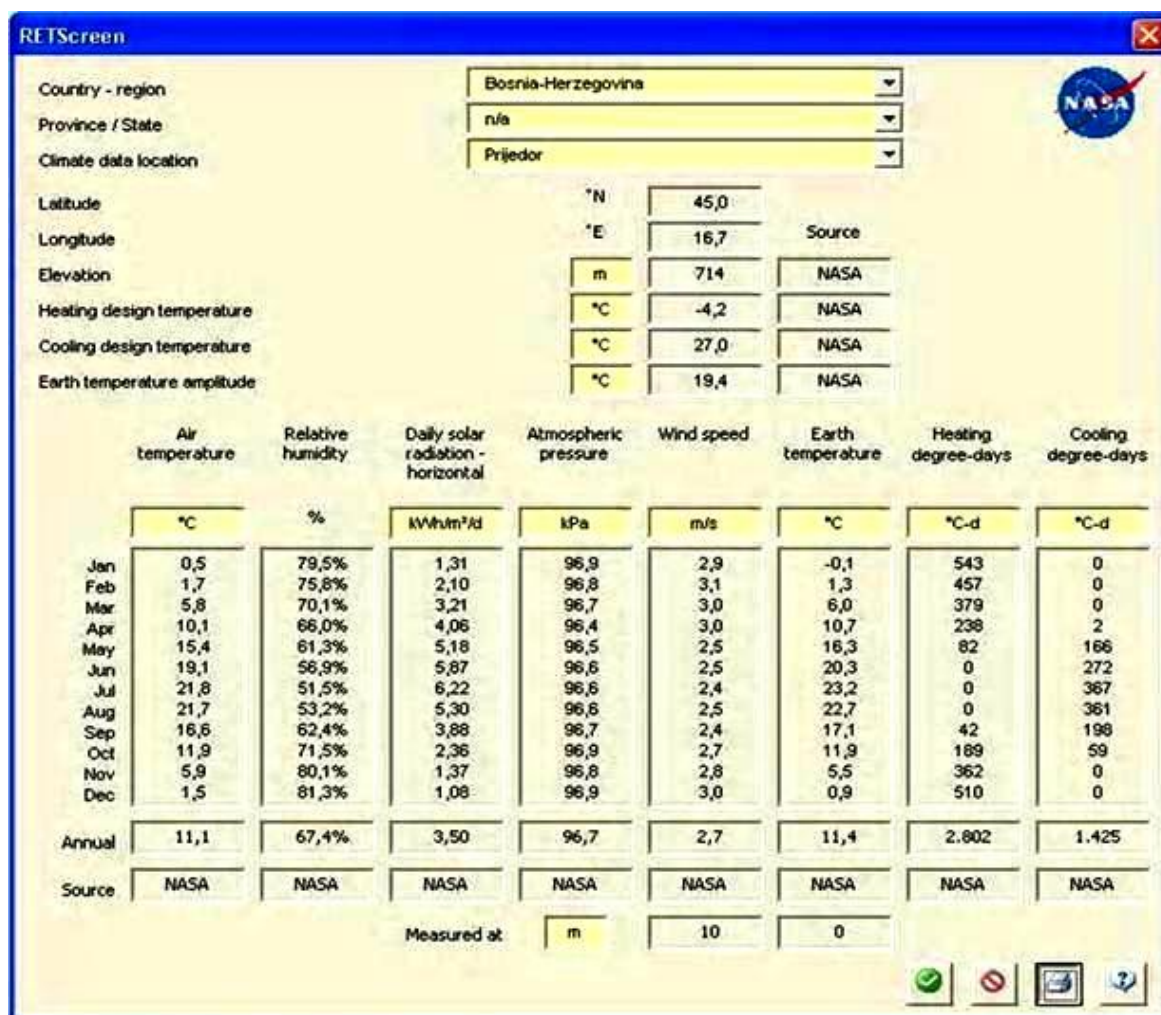
procjenu potencijala male hidroelektrane. Do sada je objavljeno, [1], više različitih publikacija koje imaju za cilj poticanje i pomoć kod donošenja odluka za gradnju mHE postrojenja. Ministarstvo prirodnih resursa i ministarstvo za ekonomski razvoj Savezne Inicijative za Northern Ontario (*Minister of Natural Resources and Minister for the Federal Economic Development Initiative for Northern Ontario*), *Government of Canada (Natural Resources Canada)* je objavio softverske alate (*Software Tools*); *BILDTRAD*, *HOT2000 (2XP & 2EC)*, *Housetrad*, *EE4 (Code & OBC)*, *RETSscreen*, *WATSUN 2009*, *Enerpool 3.0*, *SWIFT (i) PHEV-CIM / PEV-CIM*. Ovi softverski alati su napredna pomagala za izračun i analizu održivosti gradnje pogona za iskorištenje obnovljivih izvora energije. [5]

Moguće je izvoditi analizu za određen broj scenarija za koje je potrebno utvrditi održivost gradnje postrojenja mHE na potencijalnim lokacijama. Razvijeni model za analizu, pod nazivom *RETSscreen™*, koristi ranije izračunate parametre kao što su; pored hidrotehničkih (protok, neto pad, očekivana proizvodnja električne energije, dužina potisnog cjevovoda, odnosno maksimalna udaljenost od vodnog zahvata do centrale i dr.) i ekonomskih parametara (otkupne cijene energije, i dr.) sadrži i tehničke karakteristike (različiti načini ili režimi korištenja protoka, radne karakteristike, odnosno efikasnosti usvojenih tipova turbina (Pelton, Francis, Kaplan, Turgo ili Bankin).

Za sve modele su definirani potrebni ulazni parametri, od kojih su kritični (minimalna stopa protoka, neto pad, radne karakteristike turbina i očekivana proizvodnja električne energije), dok drugi parametri (dužina potisnog cjevovoda, odnosno maksimalna udaljenost od vodnog zahvata do centrale, povoljne otkupne cijene energije, različiti načini ili režimi korištenja protoka i dr.) imaju manjeg utjecaja na održivost postrojenja.

Prema *RETSscreen™* metodi standardna analiza se izvodi u pet koraka, koja obuhvaća analizu energije, analizu troškova, analizu emisija, financijsku analizu i analizu osjetljivosti, odnosno rizika.

Tehnologije koje su sadržane u projektnim modelima *RETSscreena* su sveobuhvatne i uključuju kako tradicionalne tako i neuobičajene izvore čiste energije, te konvencionalne energetske izvore i tehnologije. Ispitivanje ovih projektnih modela uključuje: energetske efikasnost (počev od velikih industrijskih postrojenja pa do privatnih domova), zagrijavanje i hlađenje (npr. biomasa, pumpe za zagrijavanje i sistemi za zagrijavanje na solarni i zračni/vodeni pogon,) energiju (uključujući obnovljivu, kao što je; solarna, energije vjetera, energije valova, hidroenergiju, geotermalnu, itd., kao i konvencionalne tehnologije poput plinskih/parnih turbina i stapnih parnih strojeva i kombinacije toplote i snage, odnosno kogeneriranje. Na slici 1. NASA hidrološki i klimatski podaci za lokalitet Prijedor, BiH.



Small Hydro Project Model_SASINKA_001
Bosna and Herzegovina

30.5.2014
RETScreen4-1

Slika 1. Tabelarni prikaz lokalnih klimatskih parametara, *RETScreen*, NASA

Ovaj analitički alat sadrži potpuno integrirane baze podataka koje se odnose na energetski proizvod, projekte, hidrologiju i klimat (ova posljednja baza podataka uključuje i podatke o 6.700 lokacija kopnenih mjernih stanica, plus satelitske snimke koje je uradila NASA, a koji pokrivaju cjelokupnu površinu zemljine kugle), kao i linkove koji upućuju na svjetske karte energetskih resursa. Osim toga, kao dodatno pomoćno sredstvo koje omogućava korisniku da izvrši brzu analizu, u *RETScreen* je ugrađena opširna baza podataka koji se odnose na šablone projekata generičke čiste energije.

4. Rezultati

Preduvjet za razvijanje modela je prethodno definiranje eksperimentalnog potencijala, tako što se na osnovu rezultate ranije dobivenih mjerenjem protoka formiraju krivulje trajanja protoka u određenim točkama na modelu vodotoka iz kojih se mogu predvidjeti elementi protoka u svakoj njegovoj tački.

Na vodotoku dužine 26,560 km i 273 metra visinske razlike od izvora (430,00 m.n.v.) do ušća (157,00 m.n.v.), odabrano je šest lokacija za izgradnju postrojenja mHE.

Tablica 1. Hidroenergetske karakteristike Blihe, Općina Sanski Most, BiH

| Hidroenergetske karakteristike Blihe, Općina Sanski Most, BiH | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|-------------------|------|------|-----|----------------------|------|------|-------|------|------|
| Naziv lok. | Stac.zahv | Stac.postr | Qm | Ld | Lt | Hbr | Qi | Dd | Dt | Hn | Ni | Ey |
| mHE | km+m | km+m | m ³ /s | m | m | m | m ³ /s | mm | mm | m | kW | MWh |
| Skucani Vakuf | 26+255 | 24+300 | 0,22 | | 1650 | 17 | 0,110 | | 300 | 8,48 | 7 | 64 |
| Alternativa A, B, C | | | | | | | 0,220 | | 400 | 9,14 | 16 | 111 |
| | | | | | | | 0,330 | | 500 | 11,14 | 29 | 139 |
| | | | | | | | 0,440 | | 600 | 12,81 | 45 | 153 |
| | | | | | | | <i>Accepted flow</i> | | | | | |
| | | | | | | | <i>design</i> | | | | | |
| Šumari | 22+180 | 21+050 | 0,8 | | 1050 | 17 | 0,400 | | 600 | 14,76 | 47 | 310 |
| Alternativa A, B, C | | | | | | | 0,800 | | 800 | 14,99 | 95 | 491 |
| | | | | | | | 1,200 | | 1000 | 15,56 | 148 | 584 |
| | | | | | | | 1,600 | | 1200 | 15,97 | 202 | 628 |
| Kamengrad | 16+105 | 12+600 | 1,49 | 2810 | 311 | 138 | 0,750 | 800 | 600 | 130 | 772 | 4832 |
| Alternativa A | | | | | | | 1,500 | 1200 | 900 | 133,9 | 1591 | 7265 |
| | | | | | | | 2,250 | 1400 | 1000 | 133,4 | 2377 | 8446 |
| | | | | | | | 3,000 | 1600 | 1200 | 134,4 | 3193 | 9022 |
| Hatiraj | 16+105 | | 1,49 | 1840 | 290 | 124 | 0,750 | 800 | 600 | 117,9 | 700 | 4361 |
| Alternativa B | | | | | | | 1,500 | 1200 | 900 | 120,9 | 1436 | 6536 |
| | | | | | | | 2,250 | 1400 | 1000 | 120,4 | 2145 | 7595 |
| | | | | | | | 3,000 | 1600 | 1200 | 121,2 | 2880 | 8111 |
| Skok | 16+095 | | 1,49 | | 135 | 77 | 0,750 | | 600 | 75,6 | 449 | 2752 |
| Alternativa C | | | | | | | 1,500 | | 900 | 76,29 | 907 | 4077 |
| | | | | | | | 2,250 | | 1000 | 76,05 | 1356 | 4730 |
| | | | | | | | 3,000 | | 1200 | 76,37 | 1815 | 5045 |
| Ljutovik | 14+830 | | 1,49 | 2025 | 151 | 61 | 0,750 | 800 | 600 | 55,98 | 333 | 2460 |
| Alternativa C | | | | | | | 1,500 | 1200 | 900 | 58,45 | 695 | 4006 |
| | | | | | | | 2,250 | 1400 | 1000 | 58,18 | 1037 | 4837 |
| | | | | | | | 3,000 | 1600 | 1200 | 58,71 | 1395 | 5310 |

Analiza je rađena na scenariju 3 za lokaciju "Ljutovik", za koju je $Q_i = 2,250 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.1. Aktiviranje početnog Sheet-a

Prozivanjem instalirane aplikacije, *RETScreen® International u Version 4*, pokreće se radna površina u *Microsoft Office Excel Macro-Enabled Worksheet*. Između alatki i radnog prostora nalazi se engl. "Security Warning Macros have been disabled", sa komandom "Options...". Klikom na ovo okno na radnoj površini se pojavljuje novi izbornik u kom je potrebno isključiti ograničenja (zaštitu) da bi ova excel verzija dopuštala sve potrebne naredbe i radnje.

Na slici 2. je prvi analitički list za unos osnovnih podataka o lokaciji projekta. U prve četiri sive rubrike se unose podaci o lokaciji, nazivu i vlasniku projekta.



Informacije o projektu [Pogledati bazu projekata](#)

| | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Naziv projekta | mHE Ljutovik vodotok Biha 1037 kW |
| Lokacija projekta | Bosna i Hercegovina |
| Pripremljeno za | M/r LOI 2 |
| Pripremio | Em. Tr |
| Tip projekta | Snaga |
| Tehnologija | Hidro turbina |
| Tip mreže | Centralna mreža |
| Tip analize | Metod 1 |
| Referentna vredost grejanje | Visoka toplotna vrednost (HHV) |
| Prikaz podešavanja | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Jezik | Serbian - Srpski |
| Korisnička dokumentacija | English - Anglais |
| Valuta | \$ |
| Jedinice | Metričke jedinice |

Slika 2. Informacije o projektu, podaci o lokaciji, nazivu i vlasniku

Nakon unosa podatka o lokaciji softverski alat automatski iz NASA baze preuzima hidrološki i klimatski podaci za ciljani lokalitet. Ovi podaci se prikazuju u vidu tabele prikazane na slici 3.

| | Jedinica | Lokacija klimatskih podataka | Lokacija projekta |
|-----------------------------------|----------|------------------------------|-------------------|
| Geografska širina | °N | 45,0 | 45,0 |
| Geografska dužina | °E | 16,7 | 16,7 |
| Elevacija | m | 714 | 714 |
| Projektovana temperatura grejanja | °C | -4,2 | |
| Projektovana temperatura hlađenja | °C | 27,0 | |
| Amplituda temperature zemlje | °C | 19,4 | |

| Mesec | Temperatura vazduha | Relativna vlažnost | Dnevno solarno radijacija - horizontalno | Atmosferski pritisak | Brzina vetra | Temperatura zemlje | Grejni stepen-dani | Hlađenje stepen-dani |
|-----------|---------------------|--------------------|--|----------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | °C | % | kWh/m ² /d | kPa | m/s | °C | °C-d | °C-d |
| Januar | 0,5 | 79,5% | 1,31 | 96,9 | 2,9 | -0,1 | 543 | 0 |
| Februar | 1,7 | 75,8% | 2,10 | 96,8 | 3,1 | 1,3 | 457 | 0 |
| Mart | 5,8 | 70,1% | 3,21 | 96,7 | 3,0 | 6,0 | 379 | 0 |
| april | 10,1 | 66,0% | 4,06 | 96,4 | 3,0 | 10,7 | 238 | 2 |
| Maj | 15,4 | 61,3% | 5,18 | 96,5 | 2,5 | 16,3 | 82 | 166 |
| Jun | 19,1 | 56,9% | 5,87 | 96,6 | 2,5 | 20,3 | 0 | 272 |
| Jul | 21,8 | 51,5% | 6,22 | 96,6 | 2,4 | 23,2 | 0 | 367 |
| Avgust | 21,7 | 53,2% | 5,30 | 96,6 | 2,5 | 22,7 | 0 | 361 |
| Septembar | 16,6 | 62,4% | 3,88 | 96,7 | 2,4 | 17,1 | 42 | 198 |
| Oktobar | 11,9 | 71,5% | 2,36 | 96,9 | 2,7 | 11,9 | 189 | 59 |
| Novembar | 5,9 | 80,1% | 1,37 | 96,8 | 2,8 | 5,5 | 362 | 0 |
| Decembar | 1,5 | 81,3% | 1,08 | 96,9 | 3,0 | 0,9 | 510 | 0 |
| Godišnje | 11,0 | 67,4% | 3,50 | 96,7 | 2,7 | 11,4 | 2.802 | 1.425 |
| Mereno na | m | | | | 10,0 | 0,0 | | |



Slika 3. Hidrološki i klimatski podaci, preuzeti sa NASA baze za ciljani lokalitet.

4.2. Aktiviranje Sheet-a Energetskog modela

Aktiviranje Energetskog modela zahtijeva definiranje tipa postrojenja, faktor kapaciteta, distribuiranu i prodanu energiju. Za izračune finansijskog dijela neophodno je definirati sve parametre na Sheet-u Alati.

Na slici 4. je prvi dio drugog lista za unos podataka o predloženom slučaju energetskog sistema. Ovi podaci sadrže informacije o: tehnologiji, tipu analize, podatke o hidro-turbini (kapacitet snage, proizvođač, model, faktor kapaciteta, električnu energiju dostavljenu

mreži, količinu prodane električne energije). U desnom dijelu zaslona je plavim slovima ispisana naredba „Pogledaj bazu podataka proizvođača“, čijim aktiviranjem RETScreen automatski otvara izbornik proizvođača i turbina.

Energetski model RETScreen-a - Projekat električne energije

| Predloženi slučaj energetskog sistema | | Dodatni inicijalni troškovi | |
|---------------------------------------|---|-----------------------------|--------------|
| Tehnologija | Hidro turbina | | |
| Tip analize | <input checked="" type="radio"/> Metod 1 <input type="radio"/> Metod 2 | | |
| Hidro turbina | | | |
| Kapacitet snage | kW | 1.037 | \$ 5.274.000 |
| Proizvođač | | Litostroj | |
| model | | Francis | |
| Faktor kapaciteta | % | 80,0% | |
| Električna energija dostavljena mreži | MBx | 7.267 | |
| Količina prodane električne energije | S/MBx | 100,00 | |

Slika 4. Podaci o predloženom slučaju energetskog sistema - Energetski model RETScreen-a - Projekt električne energije

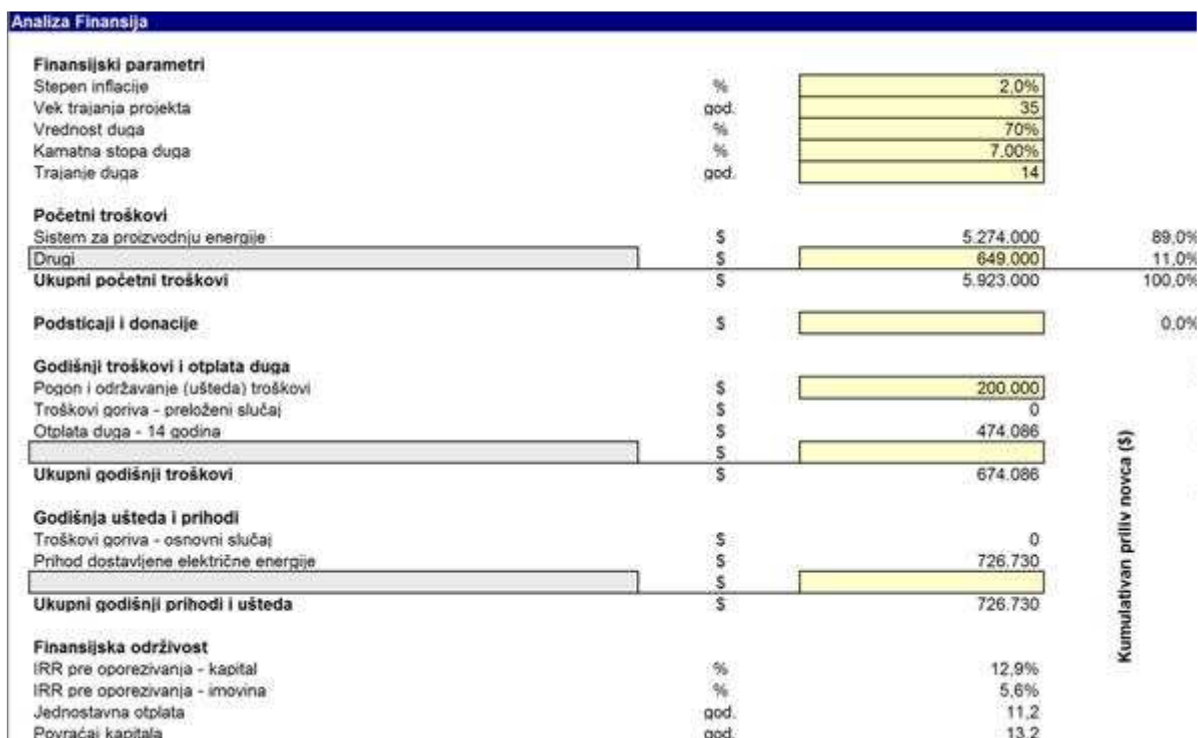
Na slici 5. je srednji dio drugog lista za analizu emisije, odnosno za unos podataka o emisiji plinova stakleničke bašte.

Analiza Emisije

| Osnovni slučaj elektro energetskog sistema (polazna linija) | | Emisija gasova staklene bašte faktor | Prenos i distribucija gubici | Emisija gasova staklene bašte faktor |
|---|------------|--------------------------------------|------------------------------|--|
| Zemlja - region | Tip goriva | tCO2/MBx | % | tCO2/MBx |
| Bosnia-Herzegovina | Ugalj | 1.368 | 5,0% | 1.440 |
| Električna energija dostavljena mreži | MBx | 7.267 | Prenos i distribucija gubici | 2,0% |
| Emisija gasova staklene bašte | | | | |
| Osnovni slučaj | tCO2 | 10.467,7 | | |
| Predloženi slučaj | tCO2 | 209,4 | | |
| Bruto godišnje smanjenje emisije gasova staklene bašte (GHG) | tCO2 | 10.258,4 | | |
| GHG krediti transakciona naknada | % | 0,0% | | |
| Neto godišnje smanjenje emisije gasova staklene bašte | tCO2 | 10.258,4 | jednak je | 4.407.744 Litri benzina koji nisu korišćen |
| Prihod od smanjenja gasova staklene bašte | \$/tCO2 | 0,00 | | |
| Iznos kredita emisije gasova staklene bašte | | | | |

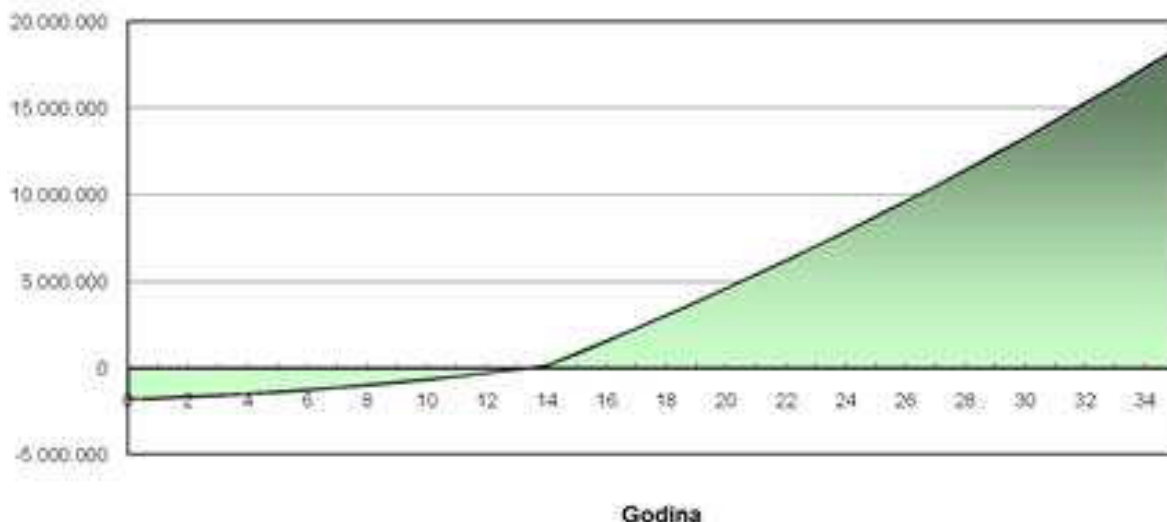
Slika 5. Emisiji plinova stakleničke bašte

Na slici 6. je financijska analiza koja sadrži financijske parametre, početne troškove, poticaje i donacije, godišnje troškove otplate duga, godišnje uštede i prihoda, a kao rezultat softverski alat izračunava financijsku održivost pri čemu podrazumijeva IRR prije oporezivanja - kapital, IRR prije oporezivanja - imovina, jednostavnu otplatu i povraćaj kapitala.



Slika 6. Financijska analiza

Rezultat ove analize pokazuje opravdanost gradnje s dužim vremenom otplate jer se radi o malim protocima iako je pad vode zadovoljavajući. Na grafikonu slike 7. prikazano je kontinuirano smanjenje negativnog bilanca do 14 godine kada je predviđen kraj otplate kreditnog zaduženja. Nakon ovog perioda pa do predviđenog vijeka trajanja projekta bilans je u kontinuiranom porastu.



Slika 7. Graf kumulativnog priliva novca

4.3. Aktiviranje Sheet-a Alati

U ovisnosti od odabrane valute na početnom Sheet-u ovdje je neophodno unijeti koeficijente koji odražavaju odnose cijena na lokalnom tržištu i Kanadi. Također je potrebno unijeti trenutne odnose novčanih valuta za ove dvije administrativne jedinice. Ovdje se unose

podaci o infrastrukturnim objektima koji se grade, kao što su vrste materijala i dimenzije cjevovoda, saobraćajnice, elektro voda itd.

5. Zaključak

U cilju povećanja zastupljenosti postrojenja za iskorištenje obnovljivih izvora energije razvijeno je nekoliko metoda za analizu održivosti gradnje. Ove metode su razvijene kao softverski alat od kojih se neki mogu slobodno preuzeti. Ovdje korištena *RETSscreen* metoda je analitički alat koji pored neophodnog unosa traženih podataka posjeduje baze hidroloških i klimatskih podataka koje se automatski aktiviraju nakon unosa podatka za lokaciju. *RETSscreen* je razvio alat za donošenje odluka, *RETSscreen* softvera, koji je od velike pomoći planerima, donosiocima odluka i proizvođačima opreme za iskorištenje obnovljivih izvora energije, kogeneracija i projekata energetske učinkovitosti. *RETSscreen* softverski alat smanjuje troškove studija pred-izvedivosti i proširuju znanje kako bi pomogli kod donošenja bolje odluke i osposobljavanju radi bolje analize tehničke i financijske održivosti mogućih projekata.

U Energetski model *RETSscreen*-a - Projekt električne energije unose se podaci o predloženom slučaju energetskog sistema. Ovi podaci sadrže informacije o: tehnologiji, tipu analize, podatke o hidro-turbini (kapacitet snage, proizvođač, model, faktor kapaciteta, električnu energiju dostavljenu mreži, količinu prodane električne energije). U analizu emisije unose se podaci o emisiji plinova stakleničke bašte. Financijska analiza sadrži financijske parametre, početne troškove, poticaje i donacije, godišnje troškove otplate duga, godišnje uštede i prihoda, a kao rezultat softverski alat izračunava financijsku održivost pri čemu podrazumijeva IRR prije oporezivanja - kapital, IRR prije oporezivanja - imovina, jednostavnu otplatu i povraćaj kapitala.

Svaki dobiveni rezultat zahtijeva procjenu točnosti. S obzirom da za male vodotoke ne postoje uvijek kontinuirana mjerenja, tada podaci dobiveni aproksimacijom sa podacima drugih vodotoka, mogu prouzročiti i razmjerna odstupanja. Najčešća odstupanja se mogu pojaviti kod neprecizno utvrđenih odnosa cijena lokalnog i Kanadskog tržišta.

Ovdje dobiveni rezultat pokazuje opravdanost gradnje, tako što se realno može očekivati kontinuirano smanjenje negativnog bilanca do 14 godine kada je predviđen kraj otplate kreditnog zaduženja. Nakon ovog perioda pa do predviđenog vijeka trajanja projekta bilanca je u kontinuiranom porastu.

6. Literatura

- [1] ESHA, *European Small Hydropower Association* <http://www.esha.be>,
- [2] **Software IMP 5.0** (*Integrated Method For Power Analysis*), Powel, Victoria-Canada, www.powelgroup.com, 2004., Kearon Bennett, P. Eng., *Operating Agent and Secretary, Annex II, Small Hydro, IEA Hydropower Agreement*, <http://www.small-hydro.com/Programs/Policy,-Regulations---Planning/IMP-Software.aspx>
- [3] *RETSscreen® International, RETSscreen softver za analizu projekata čiste energije*, www.retscreen.net
- [4] http://www.ieahydro.org/reports/AnnexII_smallhydro_assessment_methods.pdf
- [5] <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>, preuzeto Augusta 2014.
- [6] Đugum A., Delalić N., Džaferović E., Lekić A., Hidropotencijal za izgradnju malih elektrana u Bosni i Hercegovini, Peti međunarodni naučni skup Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene, Budva, C. Gora, oktobar 2007.,
- [7] Džafo H.; Džaferović E.; Hydro aggregate CF-CT 5-200 kW development on the Mechanical Engineering Faculty in Sarajevo, Hidroenergija 2010, 16-19 June 2010, Lausanne, Switzerland.,

-
- [8] Emmanuel Kofi Ackom (M.Sc.), Technical & Economic Viability Analysis of Renewable Energy Technologies in Ghana, Dissertation, Brandenburg University, 2005.,
- [9] E. M. Wilson, D.Sc., Fice, Fasce, Assessment Methods for Small-hydro Projects, The International energy agency – Implementing agreement for hydropower technologies and programmes, IEA Technical Report, IEA Hydropower Agreement, April, 2000.,
- [10] Nicolas Crettenand, The Facilitation of Mini and Small Hydropower in Switzerland: Shaping the Institutional Framework (with a Particular Focus on Storage and Pumped-Storage Schemes), Pour L'obtention du grade de Docteur és Sciencesm, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2012.,
- [11] Roko Andričević, Male Hidroelektrane - Investicijski troškovi i troškovi pogona MHE u RH, Građevinsko-arhitektonski fakultet Split, preuzeto sa www.gradst.hr,

Održivi model uključivanja biomase u energetske portfolio lokalne zajednice *Sustainable model of inclusion of biomass in the energy portfolio of the local community*

Ed. Smajić¹, Em. Trožić^{2,*}, En. Trožić³

¹Općina Hadžići, Bosna i Hercegovina

²Vodovod Sanski Most, Bosna i Hercegovina

³Škola Vrhpolje, Općina Sanski Most, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak

Upotreba biomase, u lokalnoj zajednici, može doprinijeti povećanju društvenog i gospodarskog razvoja. Ovo je moguće postići ako obnovljivi izvori energije budu ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije. Radi ostvarivanja globalnog cilja, kroz ovaj rad su istraživane raspoložive količine neiskorištene biomase i sagorivog otpada i mogućnosti uzgoja biomase u lokalnoj zajednici. Istraživanjem je utvrđivana trenutno raspoloživa količina neiskorištene biomase i sagorivog otpada i mogućnost uzgoja biomase, s velikim prinosima, za korištenje u termoenergetskom procesu. Obuhvaćeni su svi lokaliteti na uzorcima iz različitih cjelina, kao što su: objekti zajedničkog stanovanja, javne ustanove, uslužni objekti i proizvodni pogoni. Osvrtom na trenutne izvore energije, prikazan je način korištenja i uočenim nedostacima za čije otklanjanje je potrebno primijeniti dodatne korektivne mjere od strane konzumenata, odnosno građana, i/ili nadležnih institucija lokalne vlasti. Dakle, na temelju dobivenih rezultata o trenutno raspoloživim i očekivanim količinama gorivih produkata i energije koja će se dobiti sagorijevanjem, neophodno je odrediti najprihvatljivija rješenja, načina prikupljanja, transporta i skladištenja biomase, projektiranje i izgradnju pogona za korištenje obnovljivih izvora energije, mogućnosti izgradnje središnjih pogona za veće konzumente ili grupirane stambene jedinice. Nakon dobivenih podataka o količini moguće proizvodnje energije biomase u zaključku je prikazan ekonomski opravdani udio biomase usporedbom s konvencionalnim elektranama, odnosno, količina i vrijednost energije drugih izvora koja se neće morati koristiti uključivanjem energije biomase.

Ključne riječi : biomasa, portfolio, termoenergetski proces, energija, obnovljivi izvor ,

Abstract

The use of biomass in the local community, can contribute to improving the social and economic development. This can be achieved if renewable energy sources are economically competitive with conventional energy sources. In order to achieve the global goal, in this paper have investigated the available amount of unused biomass and combustible waste and the possibility of growing biomass in the local community. The study is currently determining the available quantity of unused biomass and combustible waste and the possibility of growing biomass, high-yield, for use in thermal process. Included are all the sites on samples from different units, such as buildings common housing, public buildings, service facilities and manufacturing plants. Emphasis on current energy sources, show how

to use the identified deficiencies and its elimination is necessary to apply additional corrective action by consumers or citizens, and / or competent institutions of local government. However, based on given results of the currently available and expected quantities of combustible products and energy that would be obtained by burning, it is necessary to determine the most acceptable solutions, ways of collecting, transporting and storing biomass, design and construction of facilities for the use of renewable energy sources, the possibility of building central plants for larger consumers or grouped dwellings. After the obtained data on the amount of possible production of biomass energy in the conclusion is presented economically justifiable share of biomass compared to conventional power plants, that is, the quantity and value of other energy sources that will not need to use the inclusion of biomass energy.

Keywords: biomass, portfolio, thermal power generation process, energy, renewable.

1. Uvod

Konzumenti energije opredjeljuje se za određeni izvor zavisno od dostupnosti i financijskih pogodnosti, prema kojima je energija iz jednog izvora dostupnija (i financijski) nego energija drugog izvora. Pored ogromnih prirodnih potencijala i relativno malih ulaganja za proizvodnju energije i vrlo niske emisije štetnih supstanci, alternativni izvori energije učestvuju sa svega 2% u ukupnoj svjetskoj potrošnji primarne energije. Za razliku od drugih konvencionalnih izvora energije biomasa, kao obnovljivi izvor energije, je lokalni resurs, čijim prikupljanjem se smanjuje količina otpada na prostoru lokalne zajednice, a sagorijevanjem biomase se znatno manje onečišćuje okoliš, jer je produkcija štetnih plinova manja nego kod drugih konvencionalnih goriva. Naravno i kod biomase kao i kod drugih obnovljivih izvora energije, moguće je da ne bude svih 365 dana u godini ravnomjerno raspoređeno obezbjeđivanje. Dakle, zavisno od raspoloživih resursa biomase, koja će se koristiti iz sagorivog otpada ili namjenski uzgojene, moguće je, kao i kod drugih obnovljivih izvora, govoriti o njenoj upotrebi u kogeneraciji, kao na primjer za tehnološka hlađenje postrojenja gdje se dobiva topla voda, koja se dalje može koristi u novom tehnološkom ciklusu, tada imamo ekonomičniju varijantu iskorištenja biomase.

Tablica 1. Srednje vrjednosti ogrjevne moći biomase i nekih konvencionalnih izvora (izvor: Dr.sc. Suad Halilčević, vanr.prof, 2013., Energetska Vrijednost Biomase - I Dio)

| Ogrjevna moć biomase | Ogrjevna moć konvencionalnih izvora energije |
|--------------------------------|--|
| Drvo 8,2 do 18,7 MJ/kg | Nafta oko 42 MJ/l |
| Biodizel 37,2 MJ/l | Prirodni plin 34-38 MJ/Nm ³ , |
| Biljni ostaci 5,8 – 16,7 MJ/kg | Kameni ugalj 24-37,7 MJ/kg |
| Etanol 26,8 MJ/l | Mrki ugalj 12,7-23,9 MJ/kg |
| Bioplin 26 MJ/Nm ³ | Lignit do 12,6 MJ/kg |

Vrste biomase

- Šumski ostaci i otpaci,
- Poljoprivredni ostaci,
- Ostaci iz obrade poljoprivrednih proizvoda,
- Energetske kulture i
- Biomasa iz čvrstog komunalnog otpada (ovu kategoriju promatramo uvjetno u sklopu rasprave o biomasi kao energetsom resursu jer je suvremena zakonska regulativa promatra kao komunalni čvrsti otpad).

1.1. Usklađivanje lokalnih potreba i preporuka iz Direktive EU

Svakodnevno se povećavaju potrebe za energijom čiji resursi se smanjuju ili čije korištenje negativno utječe na okoliš. Iz tog razloga su i preporuke Direktiva EU usmjerene prema korištenju obnovljivih izvora i smanjenju emisije štetnih plinova. Osim smanjenja emisije ugljičnog dioksida (CO₂), obnovljivi izvori imaju značajnu ulogu kod sigurnosti snabdjevanja energijom i smanjenju količine energije iz uvoza. Iako su, iskoristivi prirodni energetske potencijali obnovljivih izvora energije ogromni u odnosu prema ukupnoj svjetskoj potrošnji energije, njihovo iskorištavanje zavisi o ekonomskim karakteristikama energetske tehnologija. U državama ex-Jugoslavije postoji velika količina neiskorištene biomase i sagorivog otpada, koju je potrebno sakupiti, odložiti ili ponovno iskoristiti. Kako svaka od ovih aktivnosti zahtijeva dodatne financijske troškove, potrebno je ili birati najjeftinije ili one aktivnosti koje će ovaj otpad ponovno iskoristi kao sirovinu ili energiju. Sagledavanjem mogućih načina zbrinjavanja neiskorištene biomase i sagorivog otpada, došlo se do zaključka da bi upotreba ove mase, kroz adekvatan termički tretman dala najviše koristi. Iako je vidljivo da lokalna zajednica na svom prostoru ima značajne količine neiskorištene biomase i sagorivog otpada i nekultiviranog prostora na kom bi se mogla uzgajati biomasa, potrebno je izvršiti istraživanja radi utvrđivanja trenutno raspoloživih količina neiskorištene biomase i sagorivog otpada i mogućnosti uzgoja biomase, sa velikim prinosima, za korištenje u termoenergetskom procesu. Ovim istraživanjem je potrebno obuhvatiti sve lokalitete i odrediti broj uzoraka iz različitih cjelina lokalne zajednice, kao što su: objekti zajedničkog stanovanja, javne ustanove, uslužni objekti i proizvodni pogoni.

1.2. Energetske potrebe i nivoi potrošnje

U skladu sa projekcijom demografskog rasta i prostornog razvoja, a uz uvažavanje postojećeg energetske bilanca, mogućnosti energetske sistema, utvrđenih mjera racionalizacije potrošnje energije, potrebe za daljim istraživanjima, po pitanju dugoročnog usmjeravanja energije, procijenjene su globalne potrebe pojedinih oblika energije.

Tablica 2. Pregled potrošnje energenata - projekcija za 2023. godinu

| | | |
|--|--------|--------|
| Finalna energija (procjena za 2023. godinu) | | 2023. |
| Broj stanovnika (procjena za jedinicu lokalne zajednice) | | 24000 |
| Čvrsta goriva | | 10,09 |
| Tečna goriva | GWh | 91,09 |
| Zemni gas | GWh | 85,73 |
| Električna energija | GWh | 64,59 |
| Ukupno | GWh | 251,5 |
| Indeks potrošnje | MWh/st | 10,048 |

2. Identifikacija izvora i resursa biomase

Pored šumskih kompleksa koji proizvode biomasu koja se većim dijelom koristi kao resurs za proizvodnju drvnih sortimenata u drvoprerađivačkoj industriji, odnosno poljoprivrednih kompleksa za prehrambenu industriju, postoji značajan dio ostatka biomase koja se ne može iskoristiti u osnovnom prerađivačkom lancu. Ovaj ostatak neiskorištene biomase se koristiti u tehnološkom procesu proizvodnje obnovljive energije. Istraživanjem u lokalnoj zajednici su identificirani iskoristivi potencijali biomase. Pored biomase šumskih i poljoprivrednih kompleksa evidentna je i količina sagorivog čvrstog komunalnog otpada i otpada iz domaćinstava. Kroz Strategije razvoja na Državnom, entitetskim i Kantonalnim nivoima procijenjene su godišnje vrijednosti čvrstog komunalnog otpada i otpada iz domaćinstava proizvedenog na nivou entiteta i države za 2010, 2020. i 2030. godinu.

Tablica 3. Procijenjene godišnje vrijednosti čvrstog komunalnog otpada i otpada iz domaćinstava proizvedenog na nivou entiteta i države za 2010, 2020. i 2030. godinu prema podacima i metodologiji (Strategija)

| | Godišnja količina čvrstog komunalnog otpada u 1999. godini (Gg) | Godišnja količina čvrstog komunalnog otpada u 2010. godini (Gg) | Godišnja količina čvrstog komunalnog otpada u 2020. godini (Gg) | Godišnja količina čvrstog komunalnog otpada u 2030. godini (Gg) |
|----------------------------------|---|---|---|---|
| Čvrsti komunalni otpad u RS | 724.27 | 1002.56 | 1347.35 | 1810.73 |
| Otpad iz domaćinstava u RS | 362.13 | 501.28 | 673.68 | 905.36 |
| Čvrsti komunalni otpad u FBiH | 1138.0 | 1575.26 | 2117.02 | 2845.09 |
| Otpad iz domaćinstava u FBiH | 569.0 | 787.63 | 1058.51 | 1422.55 |
| Ukupno čvrstog komunalnog otpada | 1862.27 | 2577.81 | 3469.37 | 4655.82 |
| Ukupno otpada iz domaćinstava | 931.13 | 1288.91 | 1732.18 | 2327.91 |

3. Značajke lokacije istraživanja

Za istraživanje je određena lokalna zajednica koja je administrativno ustrojena kao općina i smještena između 43°41' i 43°52' sjeverne geografske širine, te između 18° i 18°22' istočne geografske dužine. Najjužnije tačke ovog područja su vrhovi Bjelašnice: Vukovo polje, Mali Visin, Javorak i Krvavac, a najsjevernije Batalovo Brdo i Gladno polje. Najistočnija tačka je Veliko polje na Igmanu, a najzapadnija Veliko šljeme. Najveću nadmorsku visinu Općine ima vrh Krvavac (2062 m.n.v), a najniža tačka Općine je Mostarsko raskršće (513 m.n.v). Prema teritorijalnom položaju ova lokalna zajednica spada u perifernu administrativnu jedinicu Sarajevskog kantona. Prednost ove zajednice je što se nalazi duž važne saobraćajnice koja povezuje središnji dio Evrope preko Mađarske sa izlazom na Sredozemlje preko Jadranskog mora. Kroz ovo lokalnu zajednicu prolazi i trasa do sadašnjeg Evropskog puta E73 i novog Panevropskog transportnog koridora Vc, koji je projektiran prema Trans-European North-South Motorway (TEM) standardima. Ova općina sa površinom od 272,8 km² je jedna od većih općina Kantona. Prema popisu stanovništva iz 2004. godine, u općini živi 21.139 stanovnika sa gustoćom naseljenosti 77 stan/km². Od ukupnog broja stanovnika 49,94% su muškarci, a 50,06% žene. Na općinu Hadžići otpada 21,45% teritorije, odnosno 5,4 % stanovništva Kantona (izvor; Prostorni plan za period od 2003. do 2023. Godine) Prema procjeni prirasta za 2023. godinu očekuje se da na ovoj lokalnoj zajednici bude ukupno 24000, od čega 19710 gradskog i 4290 prigradskog stanovništvo. Iako se ovaj prostor nalazi iznad 500 m.n.m. važnost mreže infrastrukturnih komunikacija dodatno je izražena industrijskim i privrednim razvojem ove lokalne zajednice. Osim velikih pogona kao što su „Coca-Cola „ postoji i veliki broj malih pogona (543), poduzeća i ustanova (68) i potrošača koji značajno doprinose sveukupnom energetske bilancu u prvom redu kao konzumenti energije, a kao i distributeri industrijskog i komunalnog (sagorivog) otpada, koji uz primjenu adekvatne tehnologije se može transformirati u energiju. Nedvojbeno je jasno da je za ovu zajednicu od izuzetne važnosti prikupljanje iskoristivog otpada, pri čemu se smanjuje ukupna količina otpada koji se odlaže u prirodi a ujedno se doprinosi povećanje energetske i ekonomske efikasnosti stanovništva i privrede.

4. Metoda istraživanja resursa i primjene biomase kao obnovljivog izvora

Za izračun raspoloživih i potencijalnih resursa biomase na prostoru ciljane lokalne zajednice moguće je primijeniti:

- eksperimentalni pristup detaljnog snimanja stanja lica mjesta i razvojnih dokumenata lokalne zajednice,
- korištenjem dostupne softverske baze i naučno verificiranih podataka o poljoprivrednim i šumskim zasadima u zemljama EU

4.1. Eksperimentalni pristup detaljnog snimanja stanja lica mjesta i razvojnih dokumenata lokalne zajednice

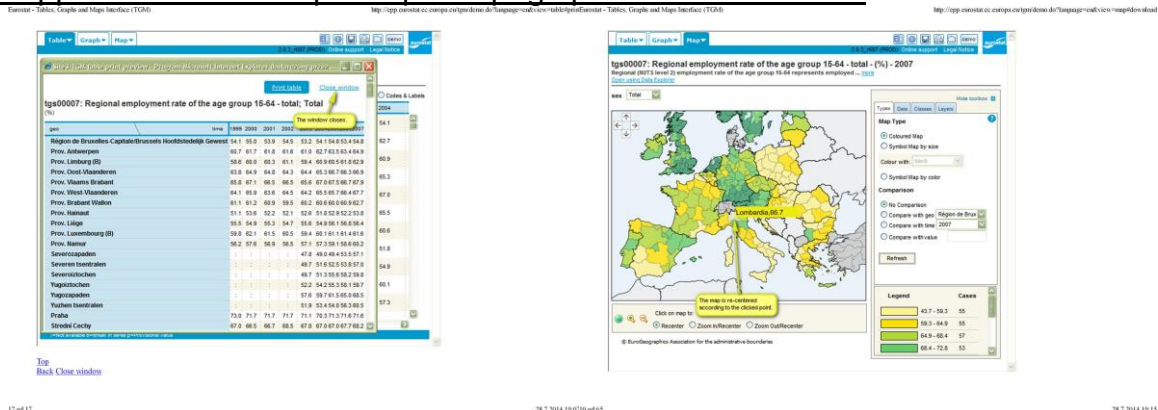
Kod istraživanja na prostoru lokalne zajednice su identificirane lokacije i količine potencijalnih resursa iskoristivih sagorivih produkata biomase. Na licu mjesta se utvrdilo trenutno stanje zaliha, dnevna i mjesečna produkcija raspoložive i potencijalne količine neiskorištene biomase i sagorivog otpada i mogućnosti uzgoja biomase prema izvorima, odnosno vrstama.

Količine otpada prema djelatnostima (izvor: Informacija o upravljanju otpadom u Kantonu, 2009..) predstavljaju rezultat ukupno 98 ispunjena obrasca (o primopredaji „sirovina iz“ otpada) kod kojih kao odredište za odlaganje je naveden KJKP «Rad», odnosno deponija Smiljevići, za godišnju količinu 96.676,85 m³ i 3.565,74 t i akumuliranu količinu 33.293,93 m³ i 27,14 t. Od toga je godišnja količina komunalnog otpada 70.162,18 m³ i 8.313,36 t; a akumulirana količina 2.824,33 m³ i 61,08 t. (Na općinu otpada 21,45 % teritorije, odnosno 5,4 % stanovništva Kantona (izvor; Prostorni plan za period od 2003. do 2023. godine)

4.2. Korištenje dostupne softverske baze i naučno verificiranih podataka o poljoprivrednim i šumskim zasadima u zemljama EU

Za izračun raspoloživih količina biomase iz poljoprivrednih i šumskih zasada dostupne su softverske baze podataka o poljoprivrednim i šumskim zasadima u zemljama EU. Softverska baza koja objedinjuje podatke zemalja EU je

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home>



Slika 1. Izgled portala Eurostat, baze podataka biomase u EU

Dostupna baza nudi korisnicima besplatno podatke zemalja članica EU. Za zemlje sa prostora bivše Jugoslavije na ovom portalu ne postoje podaci. Korištenjem podataka o članicama EU iz okruženja moguće je doći do izračuna aproksimativnih podataka za ciljane lokacije koje ne postoje u bazi. Za izračun orijentacionih podataka o očekivanim količinama biomase za lokalnu zajednicu (u BiH) poslužio je tabelarni pregled količina biomase za 2020 godinu zemalja EU-15 koji je prikazan u tabeli 5. Pod pretpostavkom da se primjeni iskustvo i tehnologija EU-15 moguće je iz navedenih podataka doći do orijentacionih pokazatelje očekivane količine biomase za lokalnu zajednicu. Ako se EU-15 promatra kao šira zajednica u kojoj je prostom aritmetičkom sredinom izračunato da je količina biomase po km²

0,000382 (mil.tona/ km²), tada se može očekivati da na jedinici lokalne zajednice sa 272,8 km² bude 0,1042096 mil.tona biomase.

Tablica 5. Količina biomase i energije koje je moguće dobiti iz bioplina za 2020. godinu u zemljama EU-15. (izvor; Šljivac, Šimić, 2009.,)

| | Površina km ² | Stanovnika | Naseljen st/ km ² | Ukupna količina biomase, mil.tona | Ukupna energija iz bioplina, TWh/god | Ukupna energija iz bioplina, PJ |
|----------------|--------------------------|---------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Austrija | 83871 | 8331930 | 99,3422 | 36,1 | 6,1 | 22,0 |
| Belgija | 30150 | 11140000 | 369,486 | 52,0 | 8,8 | 31,7 |
| Danska | 43094 | 5590000 | 129,716 | 52,5 | 8,9 | 32,0 |
| Finska | 338144 | 185000000 | 547,104 | 18,5 | 3,1 | 11,3 |
| Francuska | 543965 | 61538322 | 113,129 | 251,9 | 42,7 | 153,7 |
| Njemačka | 357050 | 82422299 | 230,842 | 234,6 | 39,8 | 143,2 |
| Grčka | 131940 | 10964020 | 83,0985 | 11,4 | 1,9 | 7,0 |
| Irska | 70273 | 4588252 | 65,2918 | 70,5 | 11,9 | 43,0 |
| Italija | 301230 | 59464644 | 197,406 | 112,0 | 19,0 | 68,3 |
| Luksemburg | 2586 | 442972 | 171,296 | 2,08 | 0,4 | 1,3 |
| Nizozemska | 41526 | 16669112 | 401,414 | 80,8 | 13,7 | 49,3 |
| Portugal | 92391 | 10555853 | 114,252 | 22,0 | 3,7 | 13,4 |
| Španjolska | 504030 | 46030109 | 91,3241 | 108,2 | 18,3 | 66,0 |
| Švedska | 450295 | 9540065 | 21,1863 | 26,3 | 4,4 | 16,0 |
| U. Kraljevstvo | 243610 | 62262000 | 255,581 | 155,4 | 26,3 | 94,8 |
| Ukupno EU-15: | 3234155 | 574539578 | 177,648 | 1234,3 | 209,0 | 753,0 |

Tablica 6. Izračun srednje vrijednosti količina biomase za 2020. godinu u zemljama EU-15 i lokalnoj zajednici (po km²)

| | Površina km ² | Stanovnika | Naseljen st/ km ² | Ukupna količina biomase, mil.tona | Ukupna energija iz bioplina, TWh/god | Ukupna energija iz bioplina, PJ |
|--|--------------------------|------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Srednja vrijednost količina biomase i energije koje je moguće dobiti iz bioplina za 2020. godinu u zemljama EU-15. (po km ²) | | | | 0,000382 mil.ton/ km ² | 0,0000646 TWh/god/ km ² | 0,0002328 PJ/ km ² |
| lokalnih zajednica | 1268,5 | 401696 | 316,67 | 0,484567 mil.tona | 0,0819451 TWh/god | 0,2953068 PJ |
| jedinica lokalne zajednice | 272,8 | 20133 | 73,80 | 0,1042096 mil.tona | 0,01762288 TWh/god | 0,06350784 PJ |

5. Obrada i analiza rezultata uključujući i definiranje potreba i interesa lokalne zajednice

Istraživanje je vršeno na lokalnoj zajednici sa 27.281 ha zemljišta. U strukturi površina dominira šumsko zemljište sa 16.854 ha (81%) i poljoprivredno zemljište sa 9.122 ha (33%). Na neplodno zemljište otpada 1.304 ha (4%).

5.1. Biomasa sa šumskog zemljišta

Tablica 7. Energetski potencijal šuma i šumskog zemljišta u lokalnoj zajednici

| površina šuma i šumskog zemljišta u općini, 16854 ha, (aproksimacija iz podataka KS, Izvor: Prostorni plan KS 2003-2023) | | količina m ³ /god | količina t/god | Donja top. moć GJ/t | Energ. Potenc. TJ/god | |
|--|----------|---------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------|----|
| Šumska biomasa | lišičari | 3871,43 | 2.787 | 10,28 | 29 | |
| | četinari | 2657,54 | 1.196 | 10,28 | 12 | |
| otpad od drvne industrije | paljevin | lišičari | 3711,23 | 2.672 | 10,28 | 27 |
| | | četinari | 1902,47 | 856 | 10,28 | 9 |
| | odresci | lišičari | 2782,77 | 2.004 | 10,28 | 21 |
| | | četinari | 1902,47 | 856 | 10,28 | 9 |
| Ukupno ΣΣΣ | | 16827,91 | 10.371 | 10,28 | 107 | |

5.2. Biomasa sa poljoprivrednog zemljišta

Iscjepkanost obradivih površina u BiH čini dodatni problem: 54% svojine je ispod 2 ha, 13,5% je između 2 i 3 ha, 16% je između 3 i 5 ha, 10% između 5 i 8 ha, oko 3% između 8 i 10 ha, i samo 2,9% je preko 10 ha površine (Nacionalni akcioni plan životne sredine BiH, 2002.). U Federaciji BiH je ukupna zasijana površina znatno manja i iznosila je oko 206 000 ha u 2001 i 197.000 ha u 2006. godini.

Tablica 8. Procjena ukupnog godišnjeg potencijala poljoprivredne mase za 2010.godinu

| POLJOPRIVREDA Proizvodnja u općini (tona) | Ostatak (tona) | Stepen Iskorištenja | Ostatak za energetsku eksploa. | Količina (tona) | Energetski potencijal (GJ) |
|--|-------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| ŽITARICE (kukuruz, pšenica, ječam, uljarice, zob, raž) | 3.899 | 5.609 | 30% | 1.683 | 23.645 |
| VOĆE (šljive, jabuke, vinogradi, kruške trešnje i ostalo) | 903 | 250 | 80% | 193 | 2.997 |
| UKUPNO ΣΣΣ | 4.802 | 5.859 | - | 1.883 | 26.642 |

Analizom godišnjeg potencijala poljoprivredne mase od žitarica (kukuruz, pšenica, ječam, uljarice, zob i raž) godišnji ostatak je 5.609 t/god. sa stupnjem iskorištenja 30% što konačno iznosi 1.683 t/god. odnosno, energetski potencijal od 23.645 (GJ). Potencijal poljoprivredne mase od voća (šljive, jabuke, vinogradi, kruške, trešnje i ostalo) na godišnjem nivou iznosi 250 t/god. sa stupnjem iskorištenja 80% , što je 193 t/god., odnosno, energetski potencijal 2.997 (GJ). Prema tome ukupni energetski potencijal na godišnjem nivou od poljoprivredne mase u lokalnoj zajednici iznosi 26.642 (GJ).

6. Zaključak

Ovo istraživanje je provedeno na obuhvatu lokalne zajednice a nakon identifikacije značajnih količina svakodnevnih produkata sagorivog otpada koji ima energetsku vrijednost. Takvi lokaliteti su privredni pogoni srednjih i malih poduzeća koji su veliki konzumenti energije a u isto vrijeme proizvode sagorivi otpad. U okruženju naseljenih i privrednih zona postoje šumska i poljoprivredna gazdinstva čiji resursi su nedovoljno iskorišteni. Ovim istraživanjem se obuhvata sva potencijalna sagoriva biomasa. Na osnovu iskustvenih podataka, koji su verificirani u ranijim istraživanjima drugih autora i predstavljeni kroz

naučne radove, izračunava se energetska vrijednost evidentirane sagorive biomase lokalne zajednice. Krajnji rezultat ovog istraživanja je dobivenu energiju sagorive biomase uvrstiti u energetske portfolio lokalne zajednice. Za količinu energije sagorive biomase umanjuje se potrošnja energije drugih izvora kao i fosilnih goriva, te se tako doprinosi smanjenju onečišćenja okoliša.

7. Literatura

- [1] Akcijski plan energetske održivosti razvoja općine Livno (SEAP), Livno 2012., Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, dobavito 06.nov.2013. sa http://helpdesk.eumayors.eu/docs/seap/2771_1349334080.pdf,
- [2] Analiza potencijala drvnih ostataka u BiH, s posebnim fokusom na opštine Srebrenica, Bratunac, Milići, GEP, Sarajevo, 2012.
- [3] Biomass Residuals Study, preuzeto sa; <http://www.canadiancleanpowercoalition.com/pdf/BM22%20-%20Biomass%20Residuals%20Study%20for%20OPG%20Repowering%20Program.pdf>,
- [4] Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases, Natural Resources Canada, 2005,
- [5] Đonlagić M. Obnovljivi izvori energije, Centar za ekologiju i energiju, Tuzla, 2010.,
- [6] Đurić S., Đaković D., Brankov S., Omerović M., Džaferović E.: Matematički model proračuna ravnotežnog sastava gasifikacije komunalnog čvrstog otpada. eee energija _ ekonomija _ ekologija. List saveza energetičara Republike Srbije. Broj 4 / Godina XII (2010). pp. 67-74.,
- [7] Energija i tehnologija d.o.o.- kogeneracijsko postrojenje na biomasu – sustav Eniteh, www.eniteh.hr,
- [8] European Commission, Directorate-General for Energy and Transport: „COM 2001/77/EC: Directive on Electricity Production from Renewable Energy Sources”,
- [9] Granić G., Željko M., Studija energetske sektora u BiH. Modul 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, Sarajevo, 2008.,
- [10] Gvero P., Biomasa kao potencijal pokretački faktor održivog razvoja u BiH, Konferencija „Energetska efikasnost obnovljivi izvora energije, Zenica, 2012.,
- [11] Harmonisation of methodologies for estimation and sustainable incorporation of biomass and other RES in municipal and national strategies, Geothermal association of Macedonia and Energy agency of north –west Croatia, Skoplje, Macedonia., 04 November 2010.,
- [12] Husika, A.: “Potential for GHG emission reduction by using vegetative residues from agricultural production in Bosnia and Herzegovina”, journal “Modern agriculture technologies”, 2008,
- [13] Husika A, Vasković S.: Production and use of wood chips for generation of heat energy, proceedings “Perspectives of utility energy industry in Bosnia and Herzegovina”, Neum, 2009.,
- [14] Husika A.: “State mechanisms for deployment of biomass energy”, 2nd Regional conference “Industrial Energy and Environmental Protection in Southeast Europe”, Society of Thermal Engineers of Serbia, Zlatibor, Serbia, 2010.,
- [15] Husika A.: “Potentials and utilization of biomass energy in Bosnia and Herzegovina”, West Balkan workshop on Harmonisation of methodologies for estimation and sustainable incorporation of biomass and other RES in municipal and national strategies, Skoplje, Macedonia, 2010.,

- [16] Izvještaj nevladinih organizacija o procesu izgradnje regionalnih sanitarnih deponija u BiH, Inicijativa i civilna akcija, Email: icva@bih.net.ba, Web: www.icva-bh.org, Sarajevo,
- [17] Jenkis N., Allan R., Crossley P., Strbac G., Embedded generation, The Institution of Electrical Engineerings, London, 2010.,
- [18] Jovanović B., Musić J., Lojo A., Energetski potencijal drvene biomase u BiH, Konferencija "Šumska nauka između ekonomije i zahtjeva društva", sarajevo, 2008.,
- [19] Lokalni ekološki akcioni plan Općine Hadžići, 01-23.8-10793/07, Općinsko vijeće Hadžići, 29.11.2007.g., http://hadzici.ba/bs/pdf_dokumenti/leap.pdf.,
- [20] Ministero dello Sviluppo ,Izvještaj o analizi stanja okolišnih tehnologija i obnovljivih izvora energije u BiH, Sarajevo,2012.,
- [21] Mogućnosti korištenja niskovrijednih drvnih sortimenata i konverzija izdaničkih šuma u Bosni i Hercegovini, Završni izvještaj, USAID & Sida FIRMA Project, Američke agencije za međunarodni razvoj (USAID) i Švedske međunarodne razvojne agencije (Sida), Fostering Interventions for Rapid Market Advancement (FIRMA), April, 2013.,
- [22] Petrović, S., Smajević, I., Metović, S., Hodžić, N.: "Energy potential and possibility of energy conversion of the wooden waste in Bosnia and Herzegovina", 8. Međunarodni naučno-stručni skup: "Tendencije u razvoju mašinskih tehnologija" TMT 2004, 15.-19.09.2004., Neum, Bosnia & Herzegovina,
- [23] Petrović, S., Hodžić, N., Smajević, I.: "Biomass resources in Bosnia and Herzegovina", 14th European Biomass Conference and Exhibition, Paris / France, 17-21 October 2005.,
- [24] Petrović, S., Peljto, Dž., Selmanović, S., Hodžić, N.: "Natural gas, biomass and solar energy sources in Bosnia and Herzegovina. Challenge and opportunity for a lot of market actors; 23rd World Gas Conference 2006, June 2006, Amsterdam,
- [25] Projekat: INCO – ADEG: Obnovljivi izvori energije / podprojekat: Biomasa, Sarajevo, 2005., finansijer Evropska unija, međunarodna saradnja: Njemačka, Grčka, Srbija i Crna Gora, Hrvatska, Bosna i Hercegovina.,
- [26] Prostorni plan Federacije Bosne i Hercegovine za period 2008 do 2028., Konzorcij, IPSA Institut iz Sarajeva (lider Konzorcija), Urbanistički zavod BiH iz Sarajeva i ECO-Plan iz Mostara, www.fmpu.gov.ba, www.ipsa-institut.com.,
- [27] Prostorni plan Kantona Sarajevo za period od 2003. do 2023. godine („Službene novine Kantona Sarajevo“ broj: 26/06),
- [28] Report: Analyses of existing technological level in wood processing industry in Federation Bosnia and Herzegovina, published by REZ, 2005.,
- [29] Schneider D., Duić N., Ragužin I., Džaferović E., at all., Mapping the potential for decentralized energy generation based on RES in Western Balkans, Thermal science: Vol. 11 (2007), No. 3, pp. 7-26.,
- [30] Srednjoročna strategija razvoja poljoprivrednog sektora F BiH za period 2014-2018. godine, I dio, Strateški okvir, Draft, Sarajevo, oktobar 2013. godine,
- [31] Statistički godišnjak Federacije Bosne i Hercegovine za 2010. godinu Sarajevo,2010., Federalni zavod za statistiku, na stranicama 220-221, dostupno na: <http://www.fzs.ba/>,
- [32] Strategija gospodarenja poljoprivrednim zemljištem, 10-14-1718-2/10, Federalno ministarstvo poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva u Sarajevu i Agronomski i prehrambeno-tehnološki fakultet Sveučilišta u Mostaru, 2011.,
- [33] Strategija razvoja općine Hadžići za period 2011 – 2015.godine, Općina Hadžići, 2010.,

- [34] Studija izvodljivosti „Komercijalna upotreba drvnog ostatka u centralnoj BiH, REZ,2006.,
- [35] Suad Halilčević, 2013., Energetska Vrijednost Biomase - I Dio
- [36] Šljivac D. i Šimić Z., Uvodno - Obnovljivi izvori energije, Najvažnije vrste, potencijal i tehnologija, Zagreb, 2009.,

Modeliranje utjecajnih parametara za izbor mjerila protoka u eksploatacijskim uvjetima kod tretmana vode za piće

Modeling of influential parameters for selection of flow meters in exploitation conditions during treatment of drinking water

En. Trožić¹, Em. Trožić^{2,*}, Ed. Smajić³

¹Škola Vrhpolje, Općina Sanski Most, Bosna i Hercegovina

²Vodovod Sanski Most, Bosna i Hercegovina

³Općina Hadžići, Bosna i Hercegovina

*Autor za korespondenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak

Kontrola instaliranih mjerila, u praksi, nije redovita, pored toga što postoji propisana obveza periodične kontrole mjerila u odnosu na etalone nadležnog Zavoda za mjeriteljstvo. Poseban problem se javlja kod većih ili specifičnih mjerila čiji broj je mali na cijelom prostoru nadležnog Zavoda za mjeriteljstvo. Tijekom izgradnje postrojenja, instalirano je više različitih mjerila kojima se kontroliraju različiti parametri u tehnološkom procesu tretmana vode za piće. Poseban problem se uočava kod nerazmjernih odnosa očitanih vrijednosti mjerila za protok ulazne (sirove ili izvorske) i izlazne (tretirane ili pročišćene) vode. Nakon uočenog nerazmjernog odnosa očitavanja između dva mjerila, dva puta je izvršena kontrolu, pri čemu je prvi put konstatirana pogreška mjerila a drugi put je ta konstatacija odbačena. Uočena razlika u očitanjima se vezivala za moguće pogreške u fizičkom položaju mjerila u odnosu na ostale cijevne, zatvaračke i pumpne elemente. Kako su mjerila u eksploataciji 8 godina moguće je uraditi jednu opsežniju analizu. Analiza će uključiti proizvođačke postavke kao i preporuka za mjesta ugradnje mjerila u odnosu na stvarne eksploatacijske uvjete. U zaključku su identificirani mogući razlozi kao i preporuke za korektivne mjere u cilju otklanjanja uočenih nerazmjernih odnosa očitavanja.

Ključne riječi : vodomjer , protok , etalon , greška .

Abstract

Control of installed gauges in practice is not a regular despite the fact that there is ordered obligation for periodic control standards in relation to relevant standards of the Institute of Metrology. A particular problem arises in large or specific meters whose number is small on whole territory of authorized the Institute of Metrology. During construction of the plant, it has been installed a number of different meters which control the various parameters of the technological process during water treatment. A particular problem is detected at disproportionate relationship read value of meters for flow input (raw or spring) and output (treated or purified) water. Having observed the disproportionate relationship between the

two readings of the meter, it has been performed control twice, where it was first agreed on the meter error and the second time this statement was discarded. The observed differences in readings have been bounded to error in the physical position of the meter in relation to the other tube, shutting and pumping elements. Regarding that meters has been in service for 8 years it is possible to do a more comprehensive analysis. The analysis will include manufacturing settings as well as recommendations for the installation of the meter to the real exploitation conditions. In conclusion identified possible reasons and recommendations for corrective measures to remedy the perceived disproportionate relationship of readings.

Keywords: water meter, flow, standard, error.

1. Uvod

Elektromagnetno mjerilo «sirove» i mjerilo «čiste» vode, od samog početka rada, imaju neusklađena mjerenja, čije uzroke nije precizno identificirao ni ovlaštenu serviser «Junuzović». I nakon otklanjanja «mogućih uzroka» za koje je «Junuzović» tvrdio da su uzrok velikih razlika u mjerenju, nije došlo da logičnijeg odnosa između ulaznih i izlaznih količina vode koji se mjere na ovim mjerilima. Iz ovog razloga se pristupilo analizi lokacije i odabiru novih mjerila.

2. Proizvođačke postavke

U radu, gdje se poziva na proizvođačke postavke, iste se odnose na Elektromagnetni mjerač protoka koji je ugrađen u vodovodni sistem; Prolina Promag - 50W, 53W – Endress+Hauser, (Proline Promag 53, Electromagnetic Flow Measuring System), gdje se mjerenje vrši tako što se medij kreće kroz tijelo mjerača. Ovdje upotrebljeni inducirani napon je proporcionalan brzini protoka koji dolazi do pojačala pomoću dvije mjerne elektrode. Mjerenje protočnog volumena se vrši tako što se mjeri volumen fluida koji prolazi kroz presjek cijevi na mjestu ugradnje mjerača odnosno između induciranih namotaja. DC magnetsko polje se stvara kroz prolaz istosmjerne struje izmjeničnog polariteta. Inače, Elektromagnetski mjerač protoka namijenjen je za dvosmjerno mjerenje tekućine s najmanje vodljivost $\geq 5 \mu S / cm$: pitke vode, otpadnih voda, kanalizacijskog mulja. Mjerenje protoka je do $110000 \text{ m}^3 / \text{h}$, ($484,315 \text{ gal} / \text{min}$), temperatura medija do $+80 \text{ }^\circ \text{C}$ ($176 \text{ }^\circ \text{F}$), procesni pritisci do 40 bara (580 psi), duljina u skladu sa DVGW / ISO., [Izvor; Endress+Hauser, Proline Promag 53, Electromagnetic Flow Measuring System -elektromagnetni protočni mjerni sistem, kratke upute za upotrebu. U objektu za tretman vode za piće; na liniji sirove vode i na liniji tretirane vode ugrađeni su elektromagnetni mjerači protoka, čiji kontrolni displeji su ovješeni na žbuku neposredno iznad cjevovoda kroz koji se vrši mjerenje. Signal svakog mjerača je, također, umrežen u centralni nadzorni PC u dispečerskoj stanici. U donjem dijelu tijela displeja sa dvorednim ispisom, postoje tri tastera za manualno unošenje parametara o fluidu i materijalu cjevovoda, kao i mogućnost manualnog prozivanja tih i parametara mjerenja. Na slici 1 položaj elektromagnetnog mjerača protoka na liniji čiste vode



Slika 1. Položaj mjerača i rezultati mjerenja na liniji čiste vode

3. Kontrolna očitavanja

Evidentno je da mjerači rade jednak broj sati od ugradnje do posljednjeg vremena očitavanja. Isto tako se na licu mjesta može uočiti da se nalaze u približno istim uvjetima rada; vlažnost zraka i drugo. U tehnološkom procesu tretmana vode za piće, zahvaćena (sirova) voda nakon završetka tretmana najvećim dijelom odlazi u rezervoar čiste vode, dok znatno manje količine se koriste u postrojenju ili se izdvajaju sa muljem. Ovdje bi se mogla uspostaviti relacija

$$Q_{t,w} = Q_{zi,w} - (Q_{teh,w} + Q_{lab,w} + Q_{wc} + Q_n) \quad (1)$$

Gdje je

$Q_{zi,w}$ - Zahvaćena (sirova) voda,

$Q_{t,w}$ - tretirana (čista) voda,

$Q_{lab,w}$ - voda potrošena u laboratoriji,

Q_{wc} - voda potrošena za sanitarne svrhe,

$Q_{teh,w}$ - otpadna voda iz tehnološkog procesa,

Q_n - druga potrošena voda u objektu za tretman (npr, od osoblja, hidrantska mreža, pranje podova i drugo)

Iz koje slijedi da je količina tretirane (čiste) vode ($Q_{t,w}$) uvijek manja od količine zahvaćene (sirove) vode ($Q_{zi,w}$), odnosno iskazano izrazom;

$$Q_{t,w} < Q_{zi,w} \quad (2)$$

Tablica 1. Očitana stanju na displeju u intervalu od 205 dana

| mjerilo | mj.j ed | 30.11-09 | 31.12-09 | 23.06-10 (15h) | 23.06-10 (16h) | Prirast (m ³) 23.06-30.11 | Prirast (%) 23.06/30.11 | Dn.prosj (m ³ /dan) |
|-----------------------|----------------|----------|----------|----------------|----------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| $Q_{zi,w}$ | m ³ | 2283065 | 2453962 | 4161347 | 4161969 | 1878904 | 1,823 | 9165,39 |
| $Q_{t,w}$ | m ³ | 2158300 | 2582069 | 4277000 | 4277610 | 2119310 | 1,982 | 10338,10 |
| R-600 m ³ | m | | | 0,128 | 0,134 | | | |
| R-2500 m ³ | m | | | 3,08 | 3,43 | | | |
| $Q_{t,w}/Q_{zi,w}$ | % | 94,54 | 105,22 | 102,78 | 102,78 | | | 112,79 |

Nakon kontrole mjerenja u vremenskom intervalu od 205 sati rezultati pokazuju da je prema stanju na displeju elektromagnetnih mjerača $Q_{t,w}$ (količina tretirane vode) veća za 12,79 % od $Q_{zi,w}$ (zahvaćene vode), odnosno;

$$Q_{t,w} + 12,79 \% = Q_{zi,w}, \text{ odnosno, } Q_{t,w} > Q_{zi,w} \quad (3)$$

Tablica 2. Očitana 3 kontrolna mjerenja, u 1-no satnim intervalima 25.06.2010.

| mjerilo | mj.jed | 10,30 h | 11,30 h | 12,30 h | Prirast (m ³) 12,30-10,30 | Prirast (%) 12,30/10,30 |
|--|---------------------|----------------|----------------|----------------|--|----------------------------|
| Q_{zi,w} | m ³ | 4178680 | 4179292 | 4179899 | 1219 | 1,00029 |
| Q_{zi,w} | l/s | 171,34 | 170,90 | 171,68 | | |
| Q_{t,w} | m ³ | 4293970 | 4294573 | 4295173 | 1203 | 1,00028 |
| Q_{t,w} | l/s | 168,35 | 169,00 | 170,33 | | |
| R-600 m ³ ; 24x16,5x1,5 | m (m ³) | 0,96 (380) | 1,00 (396) | 1,03 (408) | | |
| R-2500 m ³ ; 33,75x16,75x4,5 | m (m ³) | 2,36 (1334) | 2,62 (1481) | 2,89 (1634) | | |
| Q_{t,w} / Q_{zi,w} | % | 102,76 | 102,76 | 102,76 | | |
| Q_{t,w} - Q_{zi,w} | m ³ | 115290 | 115281 | 115274 | | |

Nakon kontrole mjerenja u 3, 1-no satna vremenska intervala, 25.06.2010., rezultati pokazuju da je; Q_{t,w} (količina tretirane vode) veća za 2,76 % od Q_{zi,w} (zahvaćene vode), odnosno;

$$Q_{t,w} + 2,76 \% = Q_{zi,w}, \text{ odnosno, } Q_{t,w} > Q_{zi,w} \quad (4)$$

Tablica 3. Izdvojeno kontrolno očitavanje 05.04.2013 (ukupnog rada 7 godina i 11 mjeseci, ~2891 dan)

| mjerilo | mj.jed | Početno 31.07.04 | 11,52 h 05.04.13 | 12,25 h 05.04.13 | prosijek (m ³ /dan) Apr.13-aug.04 |
|---|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---|
| Q_{zi,w} | m ³ | | 4267568 | 4267670 | 1476,19 |
| Q_{zi,w} | l/s | | 176,55 | 176,21 | |
| Q_{t,w} | m ³ | | | 4321397 | 1494,79 |
| Q_{t,w} | l/s | | | 166,06 | |
| Q_{t,w} / Q_{zi,w} | % | | | 101,26 | 101,26 |
| Q_{t,w} - Q_{zi,w} | m ³ | | | 53727 (18,58) | 18,60 |

Kod izdvojenog kontrolnog očitavanja 05.04.2013., nakon ukupnog rada postrojenja od 7 godina i 11 mjeseci, odnosno, 2891 dan, rezultati pokazuju da je; Q_{t,w} (količina tretirane vode) veća za 1,26 % od Q_{zi,w} (zahvaćene vode), odnosno;

$$Q_{t,w} + 1,26 \% = Q_{zi,w}, \text{ odnosno, } Q_{t,w} > Q_{zi,w} \quad (5)$$

Kada bi pretpostavili da je teoretski moguće da kod idealno čiste izvorske vode (bez tretiranja) i bez lokalne potrošnje unutar objekta moguće postići da je Q_{t,w}=Q_{zi,w}, tada bi nakon kontrole količina kroz 2891 dana rada postrojenja imali da je svaki dan u prosjeku izlazna količina bila veća od ulazne količine vode za 18,60 (m³/dan), odnosno u izrazu;

$$Q_{t,w}/dne + 18,60 = Q_{zi,w}/dne \quad (6)$$

Prema prikazanim izdvojenim kontrolnim očitanjima evidentno je da kod mjerenja elektromagnetnim mjeracima protoka imamo grešku prema kojoj se registriju veće količine tretirane (čiste) vode od one koja je uopće ušla u tretman. Ovako evidentirano stanje ukazuje na potrebu analize uzroka greške mjerenja.

4. Utjecajni parametri za rad i izbor mjerila

Kod odabira i ugradnje mjerila neophodno je izvršiti analizu utjecajnih parametara i modeliranje rada u eksploatacijskim uvjetima. Ovdje spomenuti utjecajni parametri se analiziraju i kod traženja uzroka greške mjerenja gdje se uočavaju svi parametri koji mogu biti u direktnoj ili indirektnoj relaciji sa rezultatima mjerenja. Ove parametre je moguće grupirati u, bar, tri skupine i to:

- Odabir tehničkih karakteristika mjerila prema vrsti i količini fluida,
- Izvedbeni uvjeti montaže mjerila,
- Procjena i unos parametara o karakteristikama fluida i cjevovoda
- Eksploatacijski uvjeti rada mjerila

4.1. Tehničke karakteristike mjerila prema vrsti i količini fluida,

Kako se radi o vodi za piće, dalja kontrola se izvodi samo prema zahtijevanim protocima. Iz tog razloga su uzeti tehnički podaci instaliranih pumpnih agregata koji se nalaze na liniji tečenja fluida ispred mjerača.

Tablica 4. Tehničke karakteristike instaliranih pumpnih agregata koji se nalaze prije elektromagnetnih mjerača na liniji mjerenja

| | | | | |
|--|---|--|----------------------------------|-----------------------------------|
| Podaci o agregatima (pumpama) instaliranim objektu | 2 pumpe «sirove» vode KSB ETANORM-R M 250-300 2003. god PNo 6-N96-538477/2 Q=540 m³/h , H=5 m, n=970 1/min | 3 pumpe «čiste» vode KSB ETANORM-R M 200-500 2003. god PNo 6-N96-538476/2 Q=522 m³/h , H=65 m, n=1485 1/min | | |
| Broj agregata | Jedna pumpa | dvije | Jedna pumpa | dvije |
| protok | 150 l/s 540 m ³ /h | 300 l/s 1080 m³/h | 145 l/s 522 m ³ /h | 290 l/s 1044 m ³ /h |

Iz ove tabele slijedi da je zahtijevani protok u opsegu od 522 m³/h do **1080 m³/h**, s tim da kod zaustavljanja i pokretanja agregata postoje i protoci od 0 do 522 m³/h, koji su kratkih vremenskih intervala. Kod ovih radnji postoje i udari čiji efekt treba da se izgubi ako se poštuju propisane udaljenosti kod montaže.

Tablica 5. Tehničke karakteristike elektromagnetnih mjerača Endress+Hauser, Promag 50/53 W

| | | | | | |
|--|-------------|------|------------|------|-------------|
| Nazivni DN (mm) | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| Dužina L (mm) | 350 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| Q, m ³ /h, Za tvornička podešenja kod v=2,5 m/s | 283 | 442 | 636 | 866 | 1131 |
| Q, m ³ /h, za v=10 m/s | 1131 | 1767 | 2545 | 3464 | 4524 |

Na obje linije mjerenja su instalirani mjerači DN 400 mm čiji optimalni radni protoci su;

- Q=**1131 m³/h**, za tvornička podešenja kod v=2,5 m/s, i
- Q=**4524 m³/h**, za v=10 m/s.

4.2. Izvedbeni uvjeti montaže mjerila

Prema preporukama proizvođača mjerila postoji nekoliko uvjeta koji se moraju ispoštovati kod montaže mjerila. Iz ovih uvjeta moguće je definirati jedan generalni kriterij, prema kom su dužine ravnog (horizontalnog) dijela cijevi **prije (= i > 5xDN) i poslije (= i > 2xDN) mjeri**

(u odnosu na DN mjerača) i **mjerač ne postavljati prije zatvarača** (čak i ako se ispoštuje prvi uvjet) (odnosno, može **samo iza ...**) (zatvarača i/ili pumpnog agregata). Na slici 2 je položaj elektromagnetnog mjerača protoka na liniji zahvaćene vode

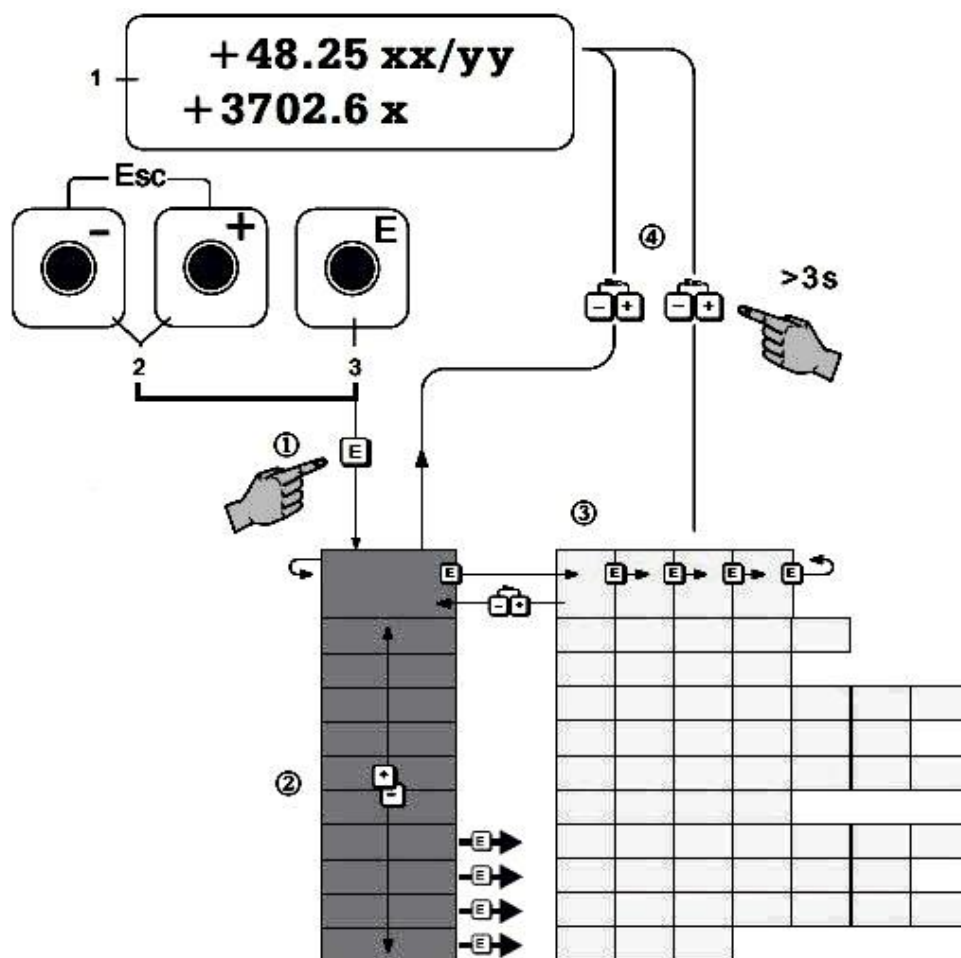


Slika 2. Elektromagnetni mjerač na liniji zahvaćene vode

Prema stanju na licu mjesta uočeno je da su ispoštovani proizvođački uvjeti za ispravnu montažu, odnosno, da se mjerila nalaze u horizontalnom položaju i između ravnih dijelova cjevovoda na rastojanjima većim od 2DN i 5DN.

4.3. Procjena i unos parametara o karakteristikama fluida i cjevovoda

Nakon montaže uređaja neophodno je pristupiti instalaciji (unosu) traženih parametara o karakteristikama cjevovoda i fluida. Kod ove radnje posebno je važno imati izvorne podatke o karakteristikama cjevovoda, a kada to nema, potrebno je pristupiti pravilnoj procjeni traženih parametara (mjerenjem ili snimanjem). Kod određivanja traženih parametara, osim karakteristike fluida koji se mjeri, neophodno je procijeniti; vrstu, kvalitetu, debljinu, dijаметar cjevovoda, eventualne vrste i debljine zaštitnih premaza i druge karakteristike. Na slici 3 je shematski prikaz postupka unosa parametara fluida i cjevovoda koristeći se sa tasterom „E“ i tasterima „- ili + Esc“.



Slika 3. Shematski prikaz postupka unosa parametara sa tasterima [Endress+Hauser]

4.4. Eksploatacijski uvjeti za rad mjerila

Efekti uvjeta eksploatacije imaju proporcionalan rast, povećanju intervala vremena eksploatacije. Dakle povećanjem starosti instaliranog uređaja povećavaju se i (uglavnom negativni) efekti uvjeta eksploatacije. Ovdje naročito ima utjecaja prisustvo vlažne sredine i agresivnih (klornih ili drugih) para u zraku, koji oštećuju zaštitne premaze, poslije čega se intenzivnije povećava oksidacija površinskih slojeva. Ako se ne vrši redovno čišćenje i ponovno zaštitno premazivanje, oksidacijsko djelovanje prodire dublje, tako da nakon izvjesnog vremena može dovesti i do oštećenja zaštićenog dijela uređaja. Kada nije vršena redovna i periodična, neophodno je izvršiti ciljanu, inspekciju na dijelovima koji su zahvaćeni oksidacijom površinskih slojeva. Rezultati inspekcije će dati i smjernice za čišćenje, zaštitu ili otklanjanje oštećenja koja su nastala. Naknadnom provjerom usklađenosti rezultata mjerenja uređaja sa etalonskim mjerilom će se preporučiti korektivne mjere ili potpunu zamjenu uređaja. Na slici 4 se vidi rezultat oksidacijskog djelovanja u vlažnoj i agresivnoj sredini.



Slika 4. Oksidacijsko djelovanje u vlažnoj i agresivnoj sredini

5. Zaključak

Nakon što se uočio nelogičan odnos mjerenja protoka vode prije i poslije tretmana, pristupilo se sveobuhvatnoj analizi mogućih uzroka greške u mjerenjima. Naknadnim očitanjem preuzete su protočne vrijednosti na osnovu kojih je utvrđeno da je greška u mjerenju prisutna u kontinuitetu, te da je stvar konstantnog djelovanja uzročnika greške koji samo zavisi o trenutnim protočnim količinama fluida. U cilju utvrđivanja parametara koji mogu biti uzročnici uočenog „pomaka“ u rezultatima mjerenja, izvršila se analiza parametara koji su svrstani u skupine:

- Parametri za odabir tehničkih karakteristika mjerila prema vrsti i količini fluida,
- Izvedbeni uvjeti montaže mjerila,
- Procjena i unos parametara o karakteristikama fluida i cjevovoda
- Eksploatacijski uvjeti rada mjerila

Na osnovu analize svih uočenih parametara može se zaključiti da svaki od pretpostavljenih može biti i uzročnik uočenog „pomaka“ u rezultatima mjerenja. Isključivanjem parametara koji su sa manjim učinkom, dolazi se do zaključka da do uočenog pomaka dolazi zbog greške iz skupine parametara 3., odnosno; procjene i unosa parametara o karakteristikama fluida i cjevovoda. Ovo zato što je uočeni „pomaka“ u rezultatima mjerenja konstantan i kontinuiran od početka rada uređaja. Na osnovu zaključenog neophodno je reinstalirati instalirane parametre i izvršiti temeljitu procjenu i ponovnu instalaciju parametara o karakteristikama fluida i cjevovoda.

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 centralnog vodovodnog 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] Endress+Hauser, Proline Promag 53, Electromagnetic Flow Measuring System – elektromagnetni protočni mjerni sistem, Brief operating instructions, Kratke upute za upotrebu,
- [5] Trožić, Em., Trožić, En., Smajić, Ed., Koncept kontinuiranog monitoringa strateških i zonski mjerača protoka centralnog vodovodnog sistema, Osijek, 2013., (rad u zborniku)

Primjena solarne energije kao dodatnog izvora energije za sustave neprekidnog napajanja *Use of solar energy as an additional energy source for uninterruptible power supplies*

M. Hornung^{1,*}, K. Hornung²

¹Fakultet organizacije i informatike, Sveučilište u Zagrebu, Varaždin, Hrvatska

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

*Autor za korespondenciju. E-mail: majahornung@gmail.com

Sažetak

Ljudi sve više, čak i u svakodnevnom životu, ovise o tehnologiji koja ne može funkcionirati bez električne energije. Elementi tehničke opreme koji nisu pod stalnim nadzorom operatera izloženi su ispadima napajanja i na duže vrijeme. Ako dođe do prekida u opskrbi električnom energijom posljedice mogu biti gotovo beznačajne, (npr. zaustavljanje lifta u zgradi, nemogućnost otvaranja automatskih vrata u trgovini,....) , ali mogu nastati i veliki problemi koji će mnogim poduzećima i institucijama nanijeti veliku financijsku štetu ili će u opasnosti biti ljudski životi jer mnogim sustavima upravljaju računala koja su ovisna o kontinuiranoj opskrbi električnom energijom. Primjena UPS (*engl. Uninterruptible power supply*) sustava, ograničenog kapaciteta zbog akumulatorskih baterija i dopunskih agregata uobičajeni su načini rješavanja problema. Usprkos tehnološkom napretku, obnovljivi izvori energije još uvijek ostaju neiskorišteni, a rezervna napajanja uglavnom rade pomoću neobnovljivih izvora energije. Solarne ćelije dobra su i učinkovita zamjena primarnim (neobnovljivim) izvorima energije pri napajanju generatora električnom energijom koja se koristi za opskrbu tehničke i računalne opreme i mrežne infrastrukture, ali i za kondicioniranje prostora u kojem se nalazi oprema. U ovom radu se razmatraju mogućnosti primjene solarnih fotonaponskih ćelija, odnosno u kojoj mjeri i da li uopće solarne ćelije mogu u potpunosti zamijeniti neobnovljive izvore energije za opskrbu električnom energijom.

Abstract

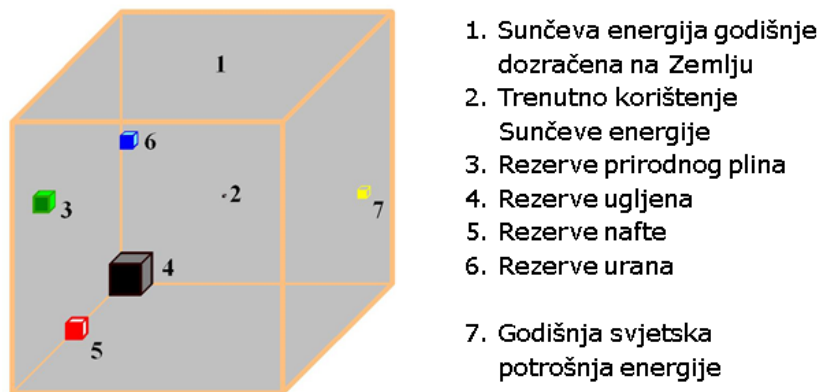
People are increasingly dependent, even in everyday life, on technology that can not function without electricity. Elements of computer equipment that are not under the constant surveillance of operators are exposed to power outages, sometimes for a long time. If an interruption or an outage in the electricity supply occurs, consequences can be almost insignificant (e.g. stopping the elevator in the building, the impossibility of opening the automated doors,) but may also be a big problem to many businesses and institutions that can experience great financial damage or even worse - human lives can be in danger (maybe even lost) because many systems are managed by computer technology which is dependent on a continuous supply of electricity. UPS (*engl. Uninterruptible Power Supply*) systems, that have limited capacity because of *accumulator batteries, and additional*

aggregates are the common way of solving problems. Despite technological advances, renewable energy sources still remain untapped and backup power systems are usually working by using non-renewable energy sources. Solar cells are good and efficient alternative to the primary (non-renewable) energy sources that can be used to charge generators with electric energy which is used for the supply of technical equipment and network infrastructure, but also for air conditioning rooms in which the equipment is located. This paper discusses the possible application of solar photovoltaic cells, or to what extent and whether or how solar cells can completely replace non-renewable energy sources for electric energy supply.

Ključne riječi: solar energy, UPS, renewable energy

1. Uvod

Električna energija je ključna za razvoj ljudske civilizacije i u današnje vrijeme je osnova materijalnih i društvenih djelatnosti, kao i životnog standarda. Ona se primjenjuje u svim područjima života zato što je najčišći oblik korisne energije, a njezinom se uporabom ne narušava okoliš [1]. Unatoč tome, jako mali dio električne energije dobivamo pretvorbom energije Sunčeva zračenja iako je Sunce izvor energije s najvećim potencijalom, a gotovo neiskorišten [2]. Na Zemlju dolazi 15000 puta više energije nego li je danas trošimo što je ilustrirano na slici 1.



Slika 1. Raspoloživa energija na Zemlji [3]

Zbog veličine i kompleksnosti elektroenergetskog sektora može doći do slučajnih prekida opskrbe električnom energijom [2]. Za neke ustanove i postrojenja je prekid opskrbe električnom energijom veliki rizik zato što za uspješno odvijanje poslovnih procesa moraju imati neprekidnu opskrbu električnom energijom pa bi prestanak opskrbe značio velike probleme i negativan utjecaj na poslovanje, a u nekim slučajevima čak i smrt. To su, na primjer, bolnice, računalni centri, svjetionici, zatvori, itd.

2. Sustavi neprekidnog napajanja

Danas sve važnije ustanove imaju neki oblik rezervnog izvora napajanja i to su najčešće generatori koji se koriste neobnovljivim izvorima energije. Oni mogu opremu održavati aktivnom od nekoliko sati pa do više dana, ali problem je u tome što im treba vremena da se pokrenu. Generatori se mogu gotovo trenutno pokrenuti uslijed nestanka električne energije u sustavu, ali to nije dovoljno brzo kada se radi o opremi kojoj je potrebna električna

energija za rad. Dakle, u slučaju kratkotrajnog gubitka električne energije ili potpunog prestanka opskrbe električnom energijom, tehnička oprema će biti nepropisno i „prisilno“ isključena. Također, klasični generatori ne pružaju zaštitu opreme od varijacije jakosti struje. Regulacija jakosti struje, napona i frekvencije ostvaruje se posebnim regulatorima/mikroprocesorima. To sve predstavlja problem za osjetljiviju tehničku opremu i za podatke pohranjene na računalima jer se mogu oštetiti.

Problem neprimjerenog isključenja opreme se može riješiti korištenjem sustava neprekidnog napajanja (eng. *Uninterruptible Power Supply*, *Uninterruptible Power Source* – *UPS*), koji je središnja komponenta svake dobro dizajnirane arhitekture za zaštitu napajanja.

Postoje tri načina realizacije UPS-a, a svaki u osnovi funkcionira tako da [4]:

1. Prilagođava dolazni napon kako učestali padovi ili iznenadno pojačanje napona ne bi oštetili osjetljivu elektroničku opremu
2. U slučaju prestanka opskrbe električnom energijom pruža napajanje dovoljno dugo da se osjetljiva oprema isključi na propisani način i da ne dođe do gubitka podataka ili dok se ne pokrenu generatori.

UPS uglavnom može vrlo kratko osiguravati napajanje, obično oko 10 minuta. Iako je to dovoljno vremena da se oprema propisno isključi ili generatori uključe, otklanjanje kvarova i ponovna uspostava opskrbe električnom energijom može potrajati mnogo dulje nego što su mogućnosti generatora.

U ovoj situaciji vidimo dva problema: nedovoljne mogućnosti generatora i korištenje neobnovljivih izvora energije. Smatramo da je napajanje UPS-a obnovljivim izvorima energije, točnije Sunčevom solarnom energijom pomoću fotonaponskih ćelija (FN), jedno od mogućih rješenja ovih problema.

2.1. Glavni tipovi UPS-a [4]

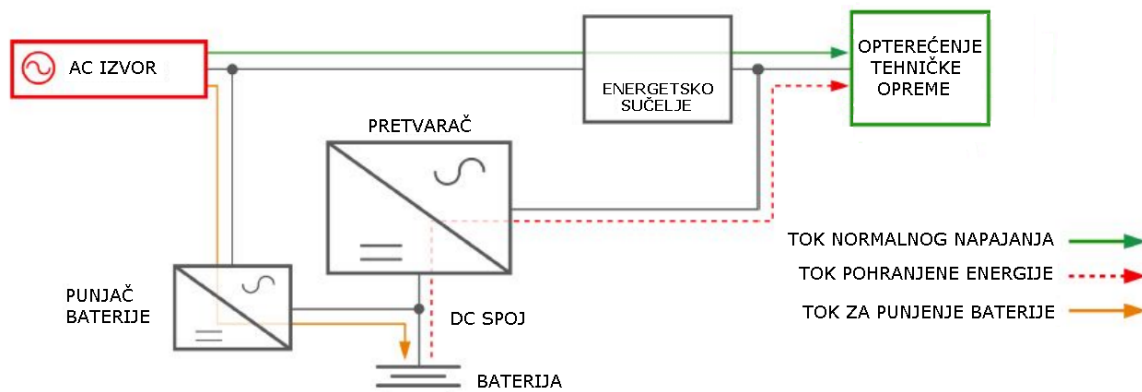
UPS može biti realiziran na jedan od 3 glavna načina.

Sustav jednostruke pretvorbe (engl. *Single – conversion system*):

Prilikom normalnog rada, ovaj sustav pruža dolazeću izmjeničnu (AC) struju električnoj opremi. Ako dolazno napajanje prijeđe unaprijed definirane i dozvoljene granice (pad napona ili previsok napon), UPS koristi svoj pretvarač kako bi koristio električnu energiju iz akumulatora te isključuje opskrbu izmjeničnom strujom kako bi spriječio povratak struje iz pretvarača. UPS se koristi energijom iz baterije dokle god se ulazni napon ne vrati u granice normale ili dok se baterija ne isprazni.

Dvije najčešće korištene topologije sustava jednostruke pretvorbe su:

- Standby → omogućava opremi korištenje struje iz mreže dok UPS ne detektira problem i tada se prebacuje na korištenje energije baterije
- Line – interactive → prema potrebi regulira dolazni napon prije nego ga prosljedi do opreme. Za stabilizaciju frekvencije koristi energiju baterije. Line-interactive model prikazan je na slici 2.

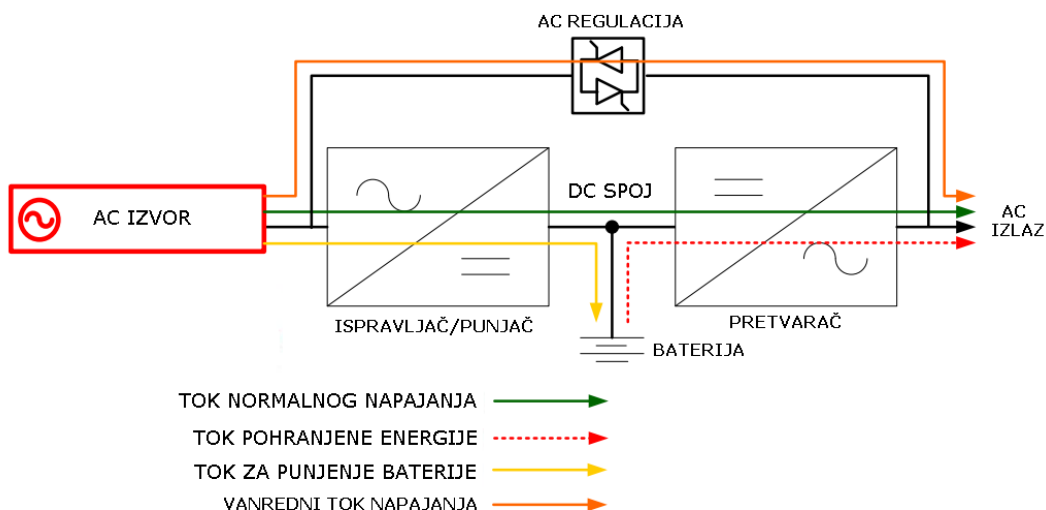


Slika 2. Model line – interactive UPS-a [4]

Sustav dvostruke pretvorbe (engl. *Double – conversion sustavi*):

Ovaj sustav (prikazan na slici 3) napon pretvara dva puta. Prvo ulazni ispravljač konvertira AC struju u DC i dovodi je do izlaznog pretvarača, a nakon toga izlazni pretvarač struju ponovno pretvara u AC prije nego je prosljedi do tehničkih uređaja i opreme. Dvostruka pretvorba se koristi zato što izolira kritična opterećenja i osigurava da do opreme dođe čista i pouzdana električna energija.

Ako dolazni napon izađe izvan definiranih granica, ulazni ispravljač se isključuje, a izlazni pretvarač počinje koristiti energiju iz baterije sve dok se dolazni napon ne stabilizira ili dok se baterija ne potroši. U slučaju teških preopterećenja pretvarača te kvara ispravljača ili pretvarača, uključuje se alternativna putanja pomoću statičkog prekidača kako bi podržala izlazna opterećenja.

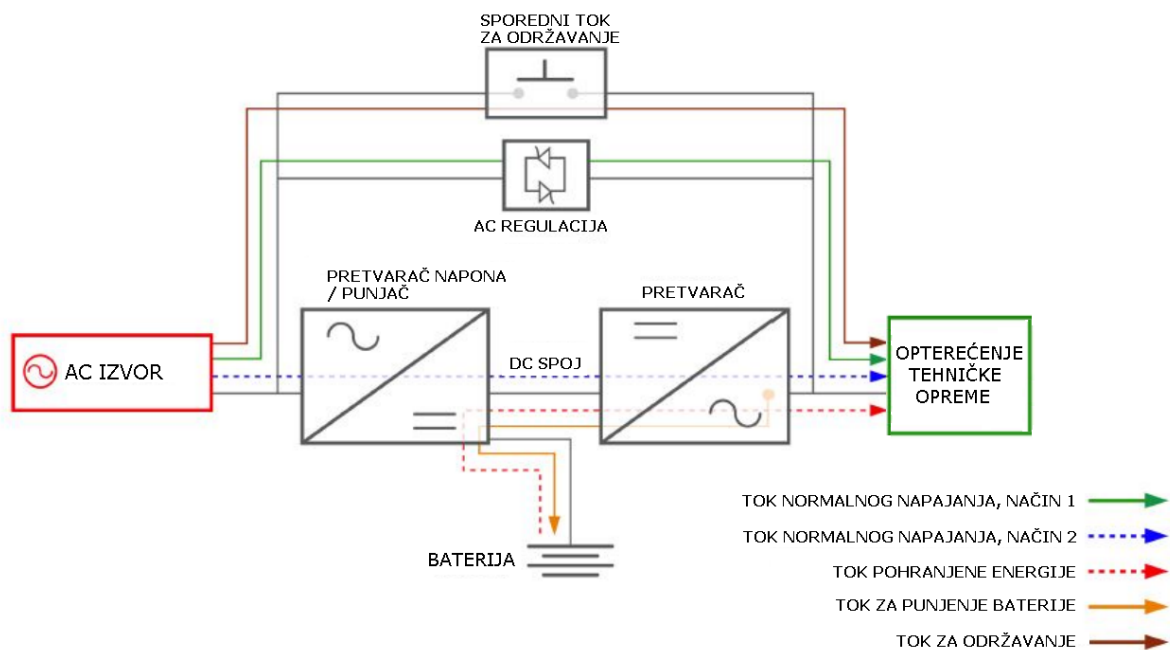


Slika 3. Model UPS sustava dvostruke pretvorbe [4]

Sustav višestruke pretvorbe (engl. *Multi – mode system*):

Ovaj sustav je kombinacija prethodna dva, uz određena poboljšanja učinkovitosti i pouzdanosti. Realiziran je tako da dinamično održavaju balans učinkovitosti i zaštite – u normalnim uvjetima omogućuje maksimalnu učinkovitost, a ako dođe do problema, osiguravaju maksimalnu zaštitu uz malo smanjenje učinkovitosti.

Sustav višestruke pretvorbe (prikazan na slici 4) funkcionira tako da u normalnim uvjetima radi u line – interactive načinu jer se tako štede energija (i novac) pošto se istovremeno napon drži unutar normalnih granica te ispravljaju anomalije u dolaznoj struji. Ako dolazna AC struja prijeđe dozvoljene granice u line – interactive načinu, sustav se automatski prebacuje na sustav dvostruke pretvorbe kako bi odvojio opremu od problematičnog izvora AC struje. Ako ulazna AC struja prijeđe van granica normale ispravljača, sustav dvostruke pretvorbe se u potpunosti isključi, UPS će koristiti bateriju kako bi održao opterećenje aktivnim. Kada se generator uključi, UPS se vraća na sustav dvostruke pretvorbe dok se dolazna struja ne stabilizira i tada se vraća na line – interactive način rada.



Slika 4. Model UPS sustava višestruke pretvorbe [4]

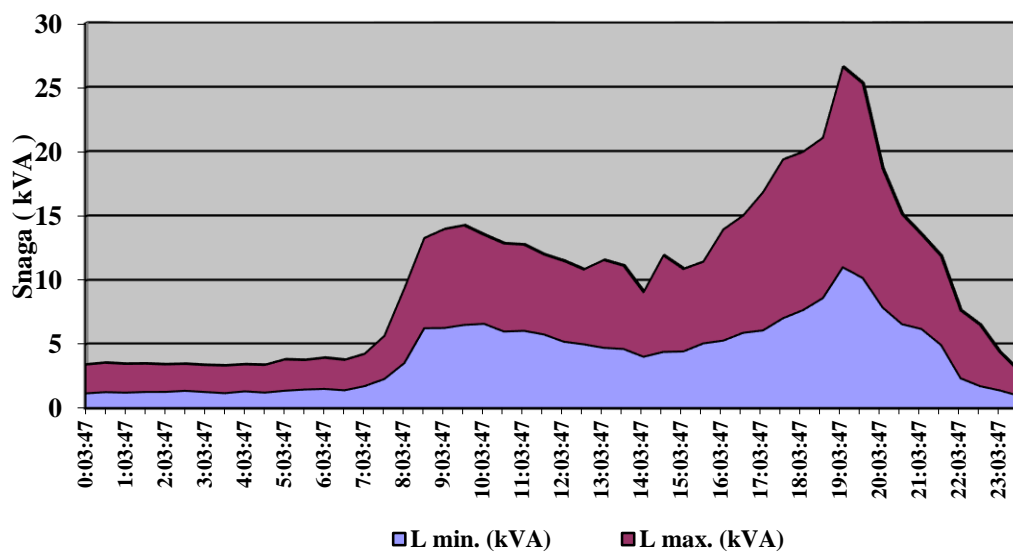
3. Primjena FN sustava kao UPS i za uštedu energije

S obzirom da se dio električne energije koju trošimo u sektoru opće potrošnje (kućanstva, uslužni sektor, poljoprivreda i građevinarstvo) proizvodi u termoelekttranama, između ostalog, i na prirodni plin, bilo kakav način uštede tako proizvedene energije utječe na smanjenje potrošnje prirodnog plina.

U prethodnom poglavlju, već su navedeni neki sustavi za osiguravanje nesmetanog rada pojedinih, ovisno o ustanovi, nama važnih uređaja. UPS sustavi dobri su za kratkotrajno

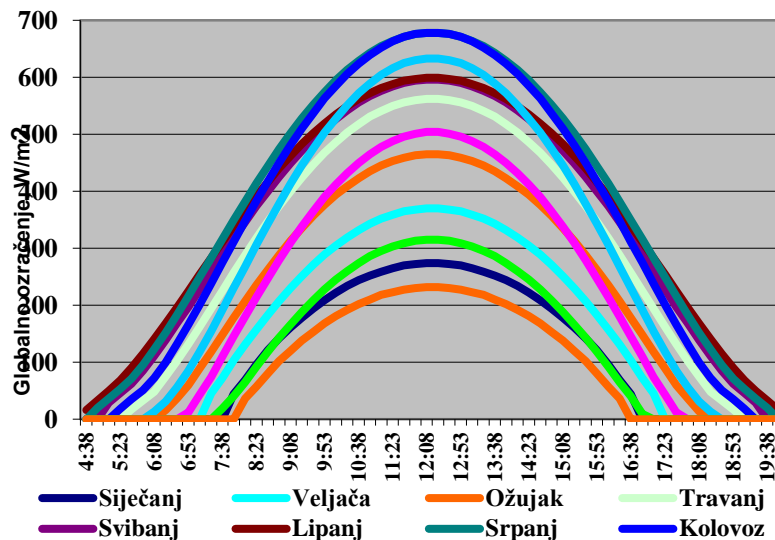
napajanje dok se ne uključi drugi izvor energije (npr. agregati na naftne derivate i sl.). Međutim, svi ti uređaji predstavljaju rezervu koja stoji i čeka svoj red. U te smo uređaje uložili određena sredstva da imamo određenu sigurnost u radu, ali oni u principu samo stoje dok ne dođe od poremećaja u opskrbi energijom. S druge strane, postavljanjem FN sustava koji u sebi ima i određeni broj akumulatora, energiju Sunca pretvaramo u električnu, akumulatoru dopunjavamo/držimo pune, a ostatak energije koristimo za redovnu potrošnju.

Za primjer možemo uzeti Srednju školu Valpovo. Na slici 5 prikazano je kretanje opterećenja, tj. potrošnja električne energije tijekom radnog dana.



Slika 5. Ukupno opterećenje priključka tijekom radnog dana (školska zgrada) [5]

Iz dijagrama je vidljivo da potrošnja energije prati događanja u školi. Isto tako, povećanje potrošnje poklapa se sa kretanjem Sunca pa ima opravdanih razloga razmotriti upotrebu FN sustava za proizvodnju električne energije i tako ostvariti određene uštede. Sa slike 6 vidljivo je globalno ozračenje tijekom godine tako da se tijekom cijele godine može računati na određenu količinu Sunčevog zračenja, a samim tim i na određenu količinu energije.



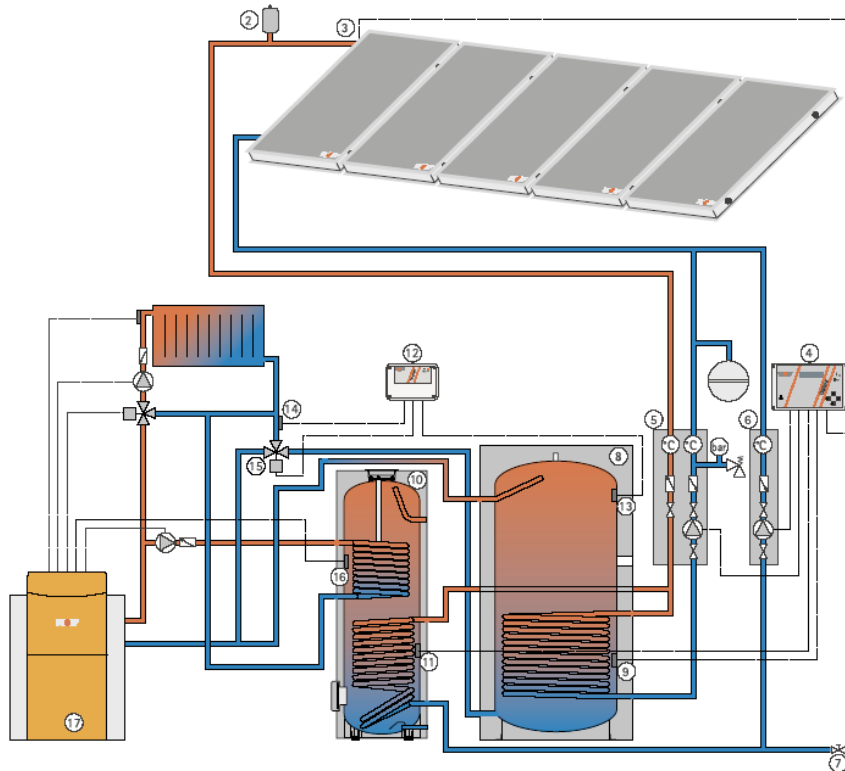
Slika 6. Globalno ozračenje tijekom godine, W/m², lokacija - Valpovo [5]

Također je opravdano razmotriti postavljanje određenog broja akumulatora za skladištenje električne energije kako bi u slučaju nestanka električne energije pojedini uređaji mogli i dalje raditi određeno vrijeme.

Kao drugi primjer možemo uzeti bolnicu u Popovači, u kojoj je situacija slična kao i sa školom u Valpovu. Trenutno kao rezervno napajanje koriste 15 manjih, ali starijih, Bosch generatora ukupne snage 24 kW. Troše oko 10 l dizela na sat ako rade punim pogonom, spremnik je od 100 l. Duljina njihovog rada ovisi o opterećenju, a normalno i o rezervama goriva. Tijekom normalne opskrbe energijom, generatori samo stoje i „čekaju svoju priliku za rad“, uložena su sredstva za njihovu nabavu i održavanje, uglavnom predstavljaju rezervu koja samo troši sredstva i osigurava nesmetani rad bolnice.

I u bolnici imamo slično kretanje potrošnje energije – od jutra se povećava, preko dana dostiže određeni maksimum i kako prolazi dan, potrošnja se smanjuje da bi preko noći bila manja i uglavnom konstantna.

I ovdje se može postaviti FN sustav za proizvodnju električne energije, ali bi bilo dobro postaviti i kolektore za pripremu potrošne tople vode – PTV, a može i podrška grijanju, kao što je prikazano na slici 7, s obzirom da je to ustanova gdje se dosta koristi i toplina. Postavljanjem FN sustava od oko 30 kW u kombinaciji sa određenim brojem akumulatora, može se znatno uštediti na električnoj energiji, a sa kolektorima za PTV i podršku grijanju, mogu se uštediti znatna financijska sredstva koja bi se izdvajala za plaćanje energije.



Slika 7. Priprema tople vode i podrška grijanju [5]

Ovakvi sustavi će nakon određenog vremena otplatiti uložena sredstva, a vrijeme otplate ovisi o nekoliko činioca: veličina sustava, stupanj automatizacije, količina akumulatora potrebnih za nesmetani rad bitnih uređaja i sl. Mikroprocesori reguliraju punjenje i pražnjenje akumulatora i preusmjeravaju energiju gdje je to potrebno/moguće.

4. Zaključak

Korištenjem Sunčeve energije za proizvodnju električne i/ili toplinske energije, mogu se tijekom vremena uštedjeti znatna materijalna sredstva. Otplate sustava se može promatrati ili kroz poticajna sredstva koja se dobiju isporukom električne energije u mrežu i otkupom po povlaštenoj cijeni (ovisno o jačini sustava) od strane distributera ili kroz smanjenje potrošnje energenata (npr. električne energije, plina), tj. kada proizvedenu energiju sami trošimo u određenom objektu za napajanje električnih uređaja ili za pripremu PTV i/ili za grijanje prostora.

Sustavi za korištenje toplinske energije mogu znatno utjecati na smanjenje potrošnje energije za zagrijavanje sanitarne vode ili za zagrijavanje prostora. Pravilnim dimenzioniranjem i postavljanjem sustava, može se Sunčevu energiju iskoristiti, kao i kod FN ćelija, za djelomičnu ili potpunu samostalnost objekta u energetskom smislu.

Prilikom određivanja maksimalne snage sustava, potrebno je uzeti u obzir kada se dobivena energija koristi – odmah, ili je potrebno predvidjeti akumuliranje/spremanje energije za kasniju upotrebu. Kod toplinske energije može nastati problem ako je sustav akumuliranja energije/spremnik nedovoljan te može doći do povišenja temperature u kolektorima iznad dozvoljene granice, ali i to se može riješiti određenim uređajima i automatikom.

5. Literatura

- [1] Udovičić, B., (2004), *Neodrživost održivog razvoja: energetske sustavi u globalizaciji i slobodnom tržištu*. Zagreb: Kigen
- [2] Jakovac, P., (2010.), Važnost električne energije i osvrt na reformu elektroenergetskog sektora u Europskoj uniji i Republici Hrvatskoj, *Ekonomski misao i praksa*, pp. 251–275. Preuzeto 21. lipnja 2014. s http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=93381
- [3] <http://oie.mingo.hr/UserDocImages/Sunce%20prezentacija.pdf>
- [4] Loeffler, C., Spears, E., (2011.), *UPS Basics*. Preuzeto 23. lipnja 2014. s http://powerquality.eaton.com/About-Us/news-events/whitepapers/whitepaper.asp?doc_id=21590&paperID=48
- [5] Hornung, K., (2010.), *Solarna energija kao obnovljivi izvor energije*, Slavonski Brod.

Obnovljivi izvori energije i potrošnja energije u sektoru opće potrošnje ***Renewable energy sources and energy consumption in a sector of general consumption***

K. Hornung^{1,2*}, M. Stojkov², E. Hnatko², D. Šljivac³, D. Topić³

¹ Srednja škola Valpovo, Valpovo, Hrvatska

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

³ Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku

*Autori za korespondenciju. E-mail: krunoslav.hornung@os.htnet.hr; marinko.stojkov@sfsb.hr

Sažetak

U članku se prikazuje mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije (OIE), s naglaskom na Sunčevu energiju kao dodatni energent u sektoru opće potrošnje – kućanstva, složene građevine, uslužni sektor i poljoprivreda. Primarno, obnovljivi izvori energije imaju funkciju energenta koji predstavlja dodatni izvor energije ali i energent koji smanjuje potrošnju primarne energije, smanjuje emisiju CO₂ u atmosferu te na taj način pridonosi očuvanju okoliša. Sekundarno, ali potrošačima puno važnije, osim što postoji određena sigurnost i kontinuitet u opskrbi energijom, kroz duži se period smanjuju financijski izdaci za energiju.

Kada se govori o kontinuitetu opskrbe električnom energijom, bitno je da sustavi normalno funkcioniraju (npr. sustav centralnog grijanja, računala,), odnosno da prekid opskrbe električnom energijom uslijed poremećaja i / ili prekida u distribuciji ne blokira sustave, a samim tim i funkciju mnogih objekata (škole, bolnice, uredi, domovi).

U prvom dijelu rada se nalazi analiza izvora i potrošnje energije u Republici Hrvatskoj, a u drugom su dijelu, na primjerima prikazana neka od mogućih rješenja za primjenu obnovljivih izvora energije.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, Sunčeva energija, prirodni plin, ušteda energije, rezervni energent

Abstract

This paper presents the possibility of using renewable energy sources, with an emphasis on solar energy as an additional energy source in a sector of general consumption - households, complex buildings, service sector and agriculture. Firstly, renewable energy sources have a function as energy source that represents additional energy source but also reduces the consumption of primary energy, decreases CO₂ emission into the atmosphere and thus contribute to the preservation of the environment. Secondly, but more important to the consumers, not only that there is a certain security and continuity in supply of energy but also, over a longer period, financial expenditures for energy are reduced.

The continuity of supply of electric energy is very important because it is essential for the normal functioning of many systems (for example central heating system, computers,...). Such important systems and therefore many buildings (schools, hospitals, offices, households etc.) must not be blocked by interruption of electricity supply due to disturbances and / or interruptions in distribution network.

In the first part of this paper an analysis of the power sources and analysis of consumption energy in the Republic of Croatia is given. The second part of the paper is based on examples of some possible solutions.

Keywords: renewable energy sources, solar energy, natural gas, energy saving, backup power source

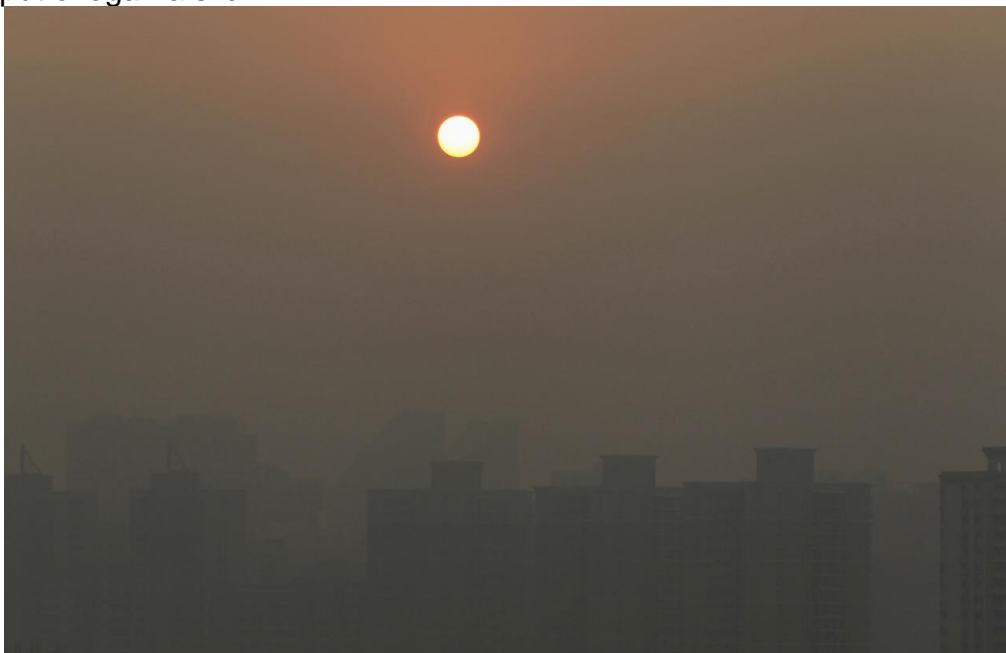
1. Uvod

Poznato je da energija u određenom obliku utječe na razvoj ljudskog društva. Tijekom povijesti, različiti stupnjevi razvoja ljudskog društva koristili su različite vrste i izvore energije.

Društvo na sadašnjem stupnju razvoja, koristi više različitih izvora energije i prilagođava energiju svojim potrebama. Izvori energije mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine gdje su na jednoj strani izvori energije koji imaju ograničene količine te im se potrošnjom njihove rezerve smanjuju (ugljen, nafta, plin, uran), a na drugoj strani su izvori koji se obnavljaju (voda, vjetar, drvo) ili imaju tolike rezerve da ih se može smatrati neiscrpnim (Sunce, geotermalna energija).

U kojem će se obliku pojaviti korisna energija, to ovisi o krajnjem korisniku. Pojedini izvori energije kao što su ugljen, prirodni plin, ogrjevno drvo, voda, vjetar i Sunce mogu se neposredno koristiti. Ostali izvori energije prethodno se moraju prilagoditi za upotrebu (pretvoriti u drugi oblik energije).

Ugljen izgaranjem proizvodi određenu količinu otpadnih tvari koje nepovoljno utječu na okolinu. Za to je najbolji primjer brzi industrijski razvoj u Kini gdje se troše velike količine ugljena, a kao posljedica toga se često spominje zagađenje gradova te se mogu vidjeti prizori poput ovoga na slici 1.



Slika 1. Smog u Harbinu, Kina [1]

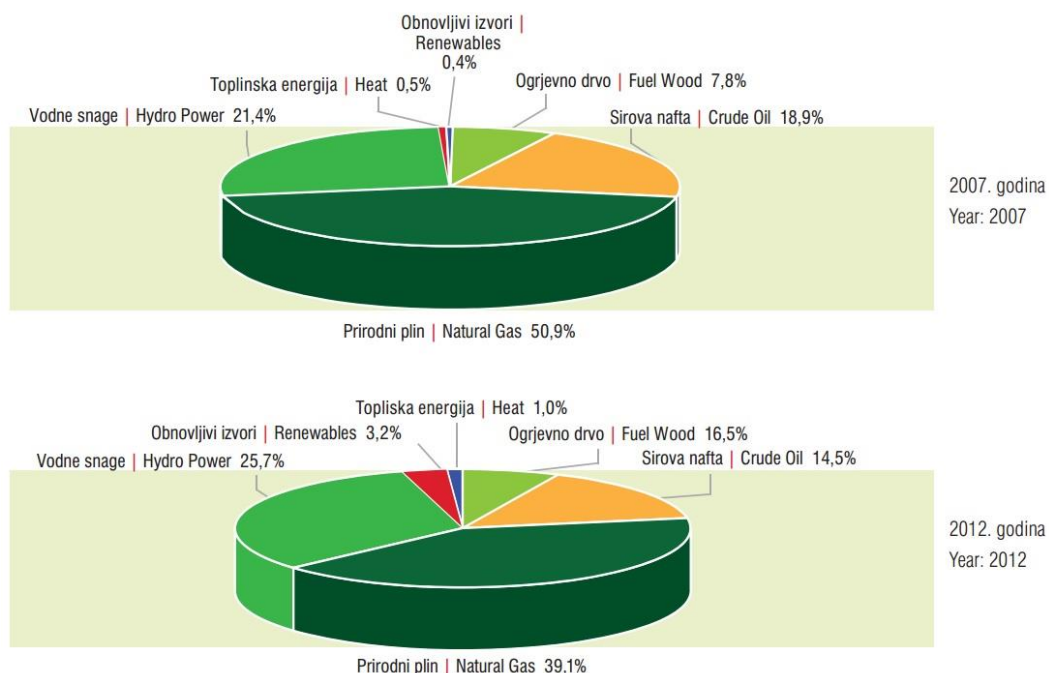
S druge je strane, prirodni plin ekološki vrlo prihvatljiv izvor energije jer izgara s malo otpadnih tvari. Od fosilnih goriva, prirodni plin je najčišće gorivo. Najčešće se koristi kao izvor topline. Uvjet za izravno korištenje prirodnog plina je njegova čistoća (količina kondenzata, vlage, štetnih primjesa i sl.) koja ovisi o mjestu dobivanja prirodnog plina. Prirodni plin ima donju toplinsku vrijednost 33,338–38 MJ/Sm³ (Sm³-Standardni metar kubni predstavlja 1 m³ nekog plina pri standardnom tlaku od 101305 Pa (1,01325 bar) i temperaturi od 288,15 K (15 °C)) ili 9,26 kWh/m³, što opet ovisi o sastavu i primjesama, [2].

Korištenje obnovljivih izvora energije, npr. kao izvor topline, može utjecati na smanjenje potrošnje drugih izvora neobnovljive energije. Sunčeva i geotermalna energija, uz minimalne prilagodbe opreme, mogu se odmah primijeniti kao izvori topline, a uz određene pretvorbe i kao drugi oblici energije (npr. električna). Smanjenje potrošnje energije iz neobnovljivih izvora utječe na njihovu uštedu i samim time i na njihovu dužu upotrebljivost, smanjuje se utjecaj na okolinu i smanjuje se ovisnost o određenim vrstama energije koje se moraju uvoziti jer proizvodnja u Hrvatskoj ne zadovoljava vlastite potrebe za određenim vrstama energije.

2. Potrošnja energije u Hrvatskoj

Hrvatska, s obzirom na mogućnosti, sama proizvodi određenu količinu primarne energije što se vidi na slici 2. međutim, to nije dovoljno pa je potrebno uvoziti određenu količinu energije u različitim oblicima. Udjeli u proizvodnji pojedinih oblika primarne energije mijenjaju se tijekom godina pa pojedini oblici bilježe povećanje u proizvodnji, a neki smanjenje. Tako npr. u prikazanom periodu imamo smanjenje udjela prirodnog plina i sirove nafte, a povećanje udjela vodene snage, ogrjevnog drva i krute biomase. Isto tako, povećan je i udio OIE (energija vjetra, energija Sunca, biodizel i bioplin) kao i udio toplinske energije iz toplinskih crpki.

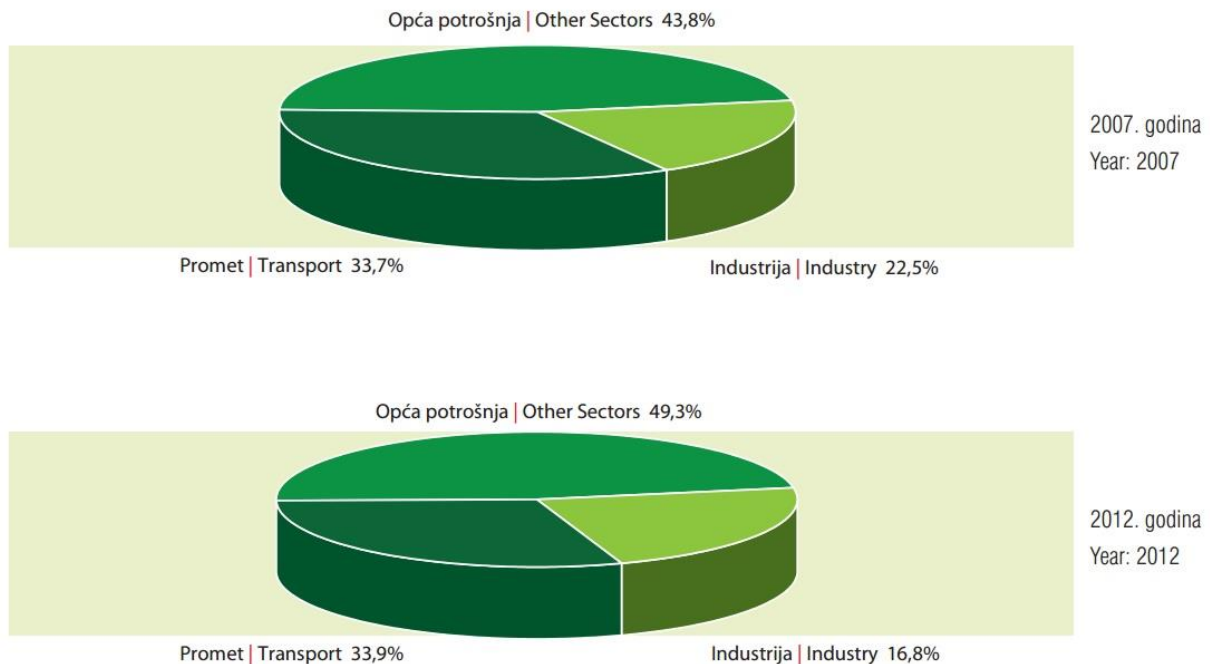
Količina uvezene energije ovisi o više faktora (klimatski uvjeti, hidrološka situacija i sl.) ali racionalna / štedljiva potrošnja može bitno utjecati na potrebe za energijom a samim tim i na potrebe za uvozom energije koja nedostaje.



Slika 2. Udjeli u proizvodnji primarne energije u RH 2012. godine [3]

Prirodni plin se u sektoru opće potrošnje prvenstveno troši za proizvodnju toplinske energije - u kućanstvima za grijanje prostora, kuhanje i pripremu potrošne tople vode (PTV). Veći prostori poput škola, bolnica, stambenih zgrada i sl. se preko sustava za centralno grijanje koriste prirodnim plinom za zagrijavanje vode za potrebe grijanja prostorija i PTV. Takvo korištenje prirodnog plina je poželjno jer je moguća velika iskoristivost prirodnog plina, smanjenom emisijom CO₂ štiti se okoliš, a potrošači imaju određeni komfor jer tehnologija (automatizacija) osigurava sigurno i jednostavno korištenje energenta. Prednosti prirodnog plina koje su privlačne potrošačima uvjetovane su samom prirodom plina – od potrošača ne zahtijeva skladištenje, rukovanje je jednostavno i nije prljavo (poput ugljena ili drveta), ne zahtijeva nikakav fizički napor, cijeli proces od preuzimanja iz plinske mreže do potrošnje odvija se automatski. Naravno, s obzirom da je plin eksplozivan i zapaljiv, potreban je oprez tijekom rukovanja svim plinskim trošilima i pridržavanje određenih pravila i propisa.

Ministarstvo gospodarstva RH u svom godišnjem izvještaju, između ostalog, donosi podatke o potrošnji energije po pojedinim sektorima (opća potrošnja, promet, industrija) u RH za 2012. godinu. Kako je prikazano na slici 3. vidi se da skoro polovinu energije u RH potroši sektor opće potrošnje [3].

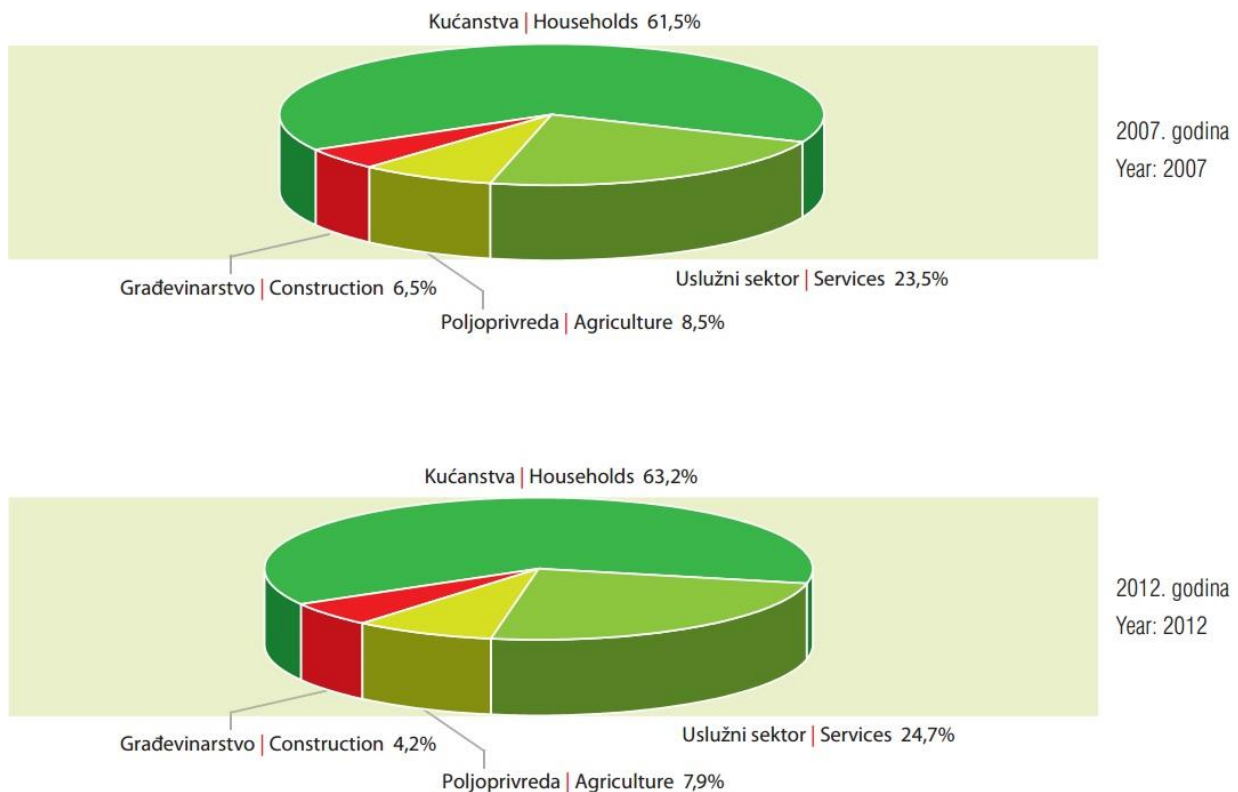


Slika 3. Udjeli sektora u neposrednoj potrošnji energije za 2007. i 2012. godinu [3]

Nadalje, u sektoru opće potrošnje, kao što je vidljivo iz tablice 1. i slike 4. najviše energije potroše kućanstva i na njih odlazi oko 2/3 (63,23 %) energije koju potroši sektor opće potrošnje. Na uslužni sektor, poljoprivredu i građevinarstvo otpada svega 1/3 energije potrošene u sektoru opće potrošnje.

Tablica 1. Potrošnja energije u podsektorima opće potrošnje po godinama, za razdoblje 2007. – 2012. [3]

| | 2007. | 2008. | 2009. | 2010. | 2011. | 2012. | 2012./11. | 2007.-12. |
|---|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| | PJ | | | | | | % | |
| Kućanstva Households | 72,96 | 76,17 | 77,23 | 80,86 | 79,47 | 77,11 | -3,0 | 1,1 |
| Uslužni sektor Services | 27,88 | 29,76 | 30,06 | 31,72 | 31,25 | 30,09 | -3,7 | 1,5 |
| Poljoprivreda Agriculture | 10,05 | 10,59 | 10,47 | 10,27 | 10,49 | 9,61 | -8,3 | -0,9 |
| Građevinarstvo Construction | 7,69 | 8,61 | 6,72 | 5,85 | 5,58 | 5,13 | -7,9 | -7,8 |
| UKUPNO OPĆA POTROŠNJA TOTAL OTHER SECTORS | 118,58 | 125,12 | 124,48 | 128,70 | 126,78 | 121,95 | -3,8 | 0,6 |



Slika 4. Udjeli podsektora opće potrošnje u potrošnji energije za 2007. i 2012. godinu [3]

Događaji s početka 2014. godine (led u Gorskom kotaru, ispadanje transformatorske stanice Ernestinovo, ratno stanje u Ukrajini i sl.) upozoravaju nas da ovisnost o jednom izvoru energije, jednom dobavljaču ili jednom smjeru dobave energije može izazvati velike probleme. Kako je u industriji i prometu potrebno puno ulagati u primjenu novih energija i tehnologija, sektor opće potrošnje može osigurati veću upotrebu paralelnih izvora energije. To se naročito odnosi na podsektor kućanstva i to iz više razloga. Kao prvo, potrošnja energije je relativno velika i iznosi 63,23% energije sektora opće potrošnje ili 25,56% neposredne potrošnje energije. Kao drugo, podsektor kućanstva se sastoji od velikog broja jedinki koje pojedinačnim, relativno malim ulaganjima, ali zbog svojeg velikog broja mogu

uštediti znatne količine energije. Treće i pojedincima najbitnije, ušteda energije rezultira i uštedom financijskih sredstava.

3. Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj

Upotrebom obnovljivih izvora energije, postiže se nekoliko efekata. Smanjenje potrošnje neobnovljivih vrsta energija, smanjuje se emisija CO₂ u atmosferu pa se posredno utječe na klimu, štede se određena financijska sredstva. Hrvatska je kao i ostale članice EU dužna provoditi europsku direktivu 2009/38/EC (20 % smanjiti emisiju stakleničkih plinova, 20 % smanjiti potrošnju i / ili sačuvati energiju, 20 % povećati udio energije iz OIE).

Slijedom EU direktive 2009/38/EC, trenutno je u Hrvatskoj na dan 16.05.2014. godine, (u sustavu poticaja), u funkciji 867 elektrana na obnovljive izvore energije. Pored tih elektrana u sustavu, postoji i cijeli niz „malih“ korisnika OIE koji energiju koriste za osobne potrebe ili su udaljeni od mreže pa im je jednostavnije i jeftinije korištenje OIE [4]. Broj „malih“ korisnika OIE raste iz godine u godinu i teško je odrediti koliki je njihov broj i kolika je instalirana snaga, pogotovo kada govorimo o FN sustavima koji koriste Sunčevu energiju za proizvodnju električne energije ali njihov će broj i dalje rasti.

Od elektrana na OIE koje su u sustavu poticaja, na elektroenergetsku mrežu hrvatske elektroprivrede (HEP) spojeno je 316,43079 MW snage. Prema instaliranoj snazi, elektrane na OIE su trenutno poredane ovako :

| | | |
|---------------------------------|-----------|-----------------|
| 1. Vjetroelektrane | 254,25 MW | (14 projekata) |
| 2. Solarne elektrane | 26,987 MW | (829 projekata) |
| 3. Kogeneracijska postrojenja | 11,493 MW | (4 projekta) |
| 4. Elektrane na bioplin | 11,135 MW | (11 projekata) |
| 5. Elektrane na biomasu | 6,69 MW | (3 projekta) |
| 6. Elektrane na deponijski plin | 4,536 MW | (2 projekta) |
| 7. Hidroelektrane | 1,34 MW | (4 projekta) |
| 8. Geotermalne elektrane | 0 MW | |

Kao što je vidljivo, vjetroelektrane dominiraju, a solarne su se elektrane tijekom posljednje godine sa trećeg mjesta popele na drugo (prema podacima od 04.05.2013. solarne elektrane su imale ukupno 118 projekata i snagu 4,18922 MW). Sama analiza podataka tijekom zadnjih godinu dana kada je u sustav ušlo 684 projekta solarnih elektrana, govori u prilog da je investiranje u više manjih projekata jedno od rješenja za ostvarivanje ciljeva iz direktive 2009/38/EC (20-20-20) [4].

Do sredine 2015. godine, predviđa se ostvarenje 445 projekata ukupne planirane snage 561,9457 MW. Podaci su dobiveni na osnovi analize sklopljenih ugovora o otkupu električne energije iz postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije, a koja još uvijek nisu puštena u pogon [4]. Isto tako, uspoređujući proteklo razdoblje, kada je bilo planirano 684 projekta s planiranom snagom od 248,328 MW, vidi se da je u ovom razdoblju predviđena, u prosjeku, veća ukupna instalirana snaga [4].

S obzirom da postoje određena ograničenja / kvote u sustavu poticaja, za očekivati je da će pored planiranog (kvote u sustavu poticaja) do povećanja korištenja OIE doći i u podsektoru kućanstva kroz individualnu ugradnju manjih sustava.

U analizu elektrana OIE ubrojani su i projekti kogeneracijskih postrojenja i elektrane na deponijski plin koje nisu neposredno obnovljivi izvori energije, ali povećavaju energetske učinkovitost u skladu s ostvarivanjem ciljeva iz direktive 2009/38/EC.

4. Obnovljivi izvori u praksi

Prethodno navedeni događaji (prirodne nepogode, ratno stanje,), ponovo su potvrdili da je ovisnost o energiji, a posebno o električnoj, izrazitija što je društvo razvijenije. Sve je češće slučaj da su kućanstva oslonjena na samo jedan energent (električnu energiju) ili možda dva energenta – električnu energiju i prirodni plin.

Posljedice elementarne nepogode u Gorskom kotaru pokazale su našu ovisnost o električnoj energiji (u ovom slučaju prirodni plin je manje bitan). Nestale su komunikacije, informacije (radio, TV), mnogi uređaji nisu bili u funkciji i sl. Kako u tom dijelu prvenstveno koriste drvo za zagrijavanje, kućanstva s klasičnim pećima nisu imala problema, međutim, kućanstva s centralnim grijanjem i određenom automatikom, morala su se snalaziti na razne načine. Situacija je ista kao i kod kombi bojlera na plin – nema električne energije za pokretanje cirkulacijske crpke pa su smanjene mogućnosti za zagrijavanje prostora i PTV.

Jedno od rješenja može biti instaliranje manjeg fotonaponskog (FN) sustava koji će proizvoditi električnu energiju, skladištiti je u akumulatorima, a višak odmah potrošiti u kućanstvu. Takva kombinacija FN sustava trebala bi osigurati dovoljno energije za napajanje „nama“ važnih uređaja u slučaju nestanka električne energije [5].

Navedeni sustav, sastoji se od potrebnog broja FN modula, regulatora punjenja baterija (akumulatora) 12 / 24 V, potrebne snage, solarnih baterija (akumulatora) 12 V i potrebnog kapaciteta, te pretvarača sa 12 V istosmjernog napona na 230 V izmjeničnog napona potrebnih za određena trošila. Broj, odnosno snaga elemenata FN sustava ovisi o željenom periodu autonomije rada potrošača koji će se napajati tom energijom i sl.

Potrebno je napomenuti da broj elemenata FN sustava prvenstveno ovisi o broju i vrsti trošila koja se namjeravaju priključiti, vremenu korištenja energije i sl. Pored toga, potrebno je poznavati osnovne parametre prilikom dimenzioniranja FN sustava [5] :

- Mjesto instalacije FN sustava – potrebni meteorološki podaci, Sunčeva ozračenost,
- Period i učestalost korištenja sustava,
- Napon napajanja trošila (12 V istosmjerno, 230 V izmjenično),
- Broj trošila, prosječno vrijeme korištenja pojedinih trošila te njihova potrošnja,
- Samostalnost sustava.

Drugi interesantan slučaj, bio bi proizvodnja električne energije na prostoru udaljenom od infrastrukture. Trenutno je u fazi uređenja i opremanja za posjetioce jedna spilja u okolici Obrovca, točnije nekoliko kilometara udaljena od Kaštela Žegarskog. S obzirom da se spilja nalazi u predjelu bez ikakve infrastrukture, potrebno je stvoriti određene pretpostavke za uređenje i otvaranje za posjetioce. Ideja koja je na kraju ostala najizglednija je korištenje Sunčeve energije i FN sustava za proizvodnju električne energije potrebne za prijemni objekt, osvjetljenje okoline objekta i rasvjetu u spilji. Sustav koji se planira postaviti potrebno je uklopiti u okolinu (zato nije uzeta u obzir vjetroelektrana iako ima dovoljno vjetra), pa će se FN paneli složiti na krov sjenice gdje će se posjetioci moći odmoriti prije ili poslije obilaska spilje. Instalacije i rasvjeta se neće postavljati u spilji već će svaki posjetilac iz grupe (maksimalno 10) imati posebnu svjetiljku u obliku „baklje“ koja će u stvari biti LED žarulja napajana iz akumulatora. Pored toga, u objektu bi trebalo biti računalo / blagajna,

rashladni uređaj za osvježenje, rasvjeta i sl. U prvo vrijeme sustav treba osigurati minimalne uvijete, a nakon par godina bi trebao potpuno zadovoljiti postavljeno.

Sustav koji bi osigurao predviđeno, sastoji se od FN modula (minimalno 1 kW), akumulatora za pohranu energije kada nema dovoljno Sunca, te pretvarača sa 12 V istosmjernog napona na 230 V izmjeničnog napona. Samo dimenzioniranje pojedinih komponenti ovisi između ostalog o opremi koja će se nalaziti u objektu, koliko će se trebati osvijetliti okolina i sl. Takav sustav bi u optimalnim uvjetima mogao proizvesti između 1330 i 1430 kWh električne energije što odgovara smanjenju emisije CO₂ od 0,660 do 0,720 t, [6].

5. Zaključak

Razvijanje tehnologije i korištenje OIE, osobito Sunčeve energije, energije vjetra i vode važno je zbog više razloga :

- OIE imaju važnu ulogu u smanjenju emisije CO₂ u atmosferu. Smanjenjem emisije, utječe se na smanjenje efekta staklenika, a posredno i na promjene klime na koju utječu staklenički plinovi,
- Povećavanjem udjela OIE, povećavaju se energetska održivost cjelokupnog sustava RH ali i poboljšava sigurnost opskrbe energijom tako da se smanjuje ovisnost o uvozu različitih oblika energije,

Neke od tehnologija razvojem su postigle ekonomsku konkurentnost (energija vjetra, male hidroelektrane, Sunčeva energija, energija iz biomase), dok su ostale tehnologije ovisne o kretanju na tržištu da bi postale ekonomski isplative.

Nove tehnike i tehnologije još uvijek se teško prihvaćaju i proces je dosta spor, a glavni problem za instalaciju novih projekata je početna cijena koja diže cijenu dobivene energije u prvih nekoliko godina na razinu neisplativosti u odnosu na ostale komercijalno dostupne izvore energije. Veliki dio u proizvodnji iz OIE posljedica je ekološke osviještenosti pojedinaca koji unatoč velikom početnom ulaganju realiziraju nove projekte za proizvodnju „čiste“ energije.

Dugoročno gledano, iako su početna ulaganja značajna, nakon određenog broja godina, sva ulaganja se „isplate“ i predstavljaju određenu uštedu i sigurnost u opskrbi energijom.

6. Literatura

- [1] [URL:HTTPS://WWW.GOOGLE.HR/SEARCH?Q=SMOG+U+HABINU&TBM=ISCH&TBO=U&SOURCE=UNIV&SA=X&EI=9FB8U8XYECN4QS6LYDWCW&VED=0CEMQSAQ&BIW=1745&BIH=895](https://www.google.hr/search?q=smog+u+habinu&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=9FB8U8XYECN4QS6LYDWCW&ved=0CEMQSAQ&biw=1745&bih=895)(13.06.2014.)
- [2] Komus doo. Distribucija i opskrba plinom; http://www.komus.hr/?page_id=314 (10.05.2014.)
- [3] Energija u Hrvatskoj 2012; http://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/EUH_od_45/EUHweb12.pdf (10.05.2014.)
- [4] croenergo.eu (T.M.) / ENERGO MEDIA SERVIS; Hrvatsku pogoni 867 elektrana na obnovljive izvore energije, <http://www.croenergo.eu/Hrvatsku-pogoni-867-elektrana-na-obnovljive-izvoren-energije-21721.aspx> (13.06.2014.)
- [5] Krunoslav Hornung, Marinko Stojkov, Emil Hnatko, Milan Kljajin: Sunčeva energija – rezervni energent i smanjenje potrošnje prirodnog plina. Zbornik radova : Plin 2013; 11. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi; 4. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi.
- [6] European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport (IET) <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/> (27.08.2014.)

Static and adaptive models in daily natural gas consumption forecasting

P. Potočnik^{1*}, B. Soldo², G. Šimunović³, T. Šarić³, E. Govekar¹

¹University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, Slovenia

²HEP-Plin Ltd., Osijek, Croatia

³Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, Slavonski Brod, Croatia

* Corresponding author. E-mail: primoz.potocnik@fs.uni-lj.simim

Abstract

Performance of static and adaptive models for natural gas load forecasting has been investigated in this paper. The study is based on two sets of data, i.e. natural gas consumption data for an individual model house, and natural gas consumption data for a local distribution company. Several different forecasting models including linear models, neural network models, and support vector regression models, were constructed for the one day ahead forecasting of natural gas demand. All these models were examined in their static versions, and in adaptive versions. A cross-validation approach was applied in order to estimate the generalization performance of the examined forecasting models. Compared to the static model performance, the results confirmed the significantly improved forecasting performance of adaptive models in the case of the local distribution company, whereas, as was expected, the forecasts made in the case of the individual house were not improved by the adaptive models, due to its stationary heating regime. The results also revealed that nonlinear models do not outperform linear models in terms of generalization performance. In summary, if the relevant inputs are properly selected, adaptive linear models are recommended for use as basis in online application for daily natural gas consumption forecasting.

Keywords: daily natural gas demand; adaptive forecasting models; linear forecasting models; nonlinear forecasting models.

1. Introduction

Planning and forecasting of natural gas consumption has become a vital component in providing the stability of distribution systems. Therefore, recently we can find a plenty of discussion about natural gas consumption forecasting which has been investigated at many different levels: at a world level [1,2], at national level [3-7], at both industrial [8,9] and residential sector [10-14], at the level of gas distribution systems [15,16], in both the commercial and residential sectors, and finally, at the level of individual customers [17,18]. Demand and production have been investigated by means of various forecasting tools, using various techniques, the forecasting horizons varying from a few hours ahead to a few decades ahead [19]. Many different tools have been applied in this area, such as autoregressive integrated moving average model [20], support vector regression [21], neural networks [22], and an adaptive network-based fuzzy inference system [23]. A recent broad overview of the various approaches which have so far been used in the field of natural gas consumption forecasting was summarized by Soldo [24].

Natural gas transmission system operators commonly utilize natural gas consumption forecasting models as supply-demand balancing tools, and this area is usually regulated by the government, or by natural gas supply contracts. These regulations usually require the forecasting of future local distribution company (LDC) natural gas consumption within a defined tolerance range. Otherwise, a penalty system is applied, as for example in the case of Slovenia [25].

The existing literature on natural gas demand forecasting provides only a few comparative studies analysing the performance of different forecasting models. Comparisons between several mathematical models have been presented in Sabo et al. [16]. A comparison between the nonlinear mixed effect models with various autoregressive models with exogenous inputs was studied by Brabec et al. [17]. A comparison between seasonal autoregressive integrated moving average models with exogenous inputs (SARIMAX), neural network models (ANN) and ordinary least squares regression models (OLS) was examined by Taşpinar et al. [26]. Furthermore, several papers have presented research results based on only one forecasting model, for example, an autoregressive integrated moving average model (ARIMA) [6], that has been applied to estimate the natural gas demand in Turkey. A statistical approach based on nonlinear regression principles has been proposed in [18]. A neural network model with different training algorithms was studied by Kizilaslan [22]. Azadeh et al. [23] developed an adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) for estimation of natural gas demand and reported good results on data representing Iranian natural gas consumption.

Consequently it is not possible, from the existing literature, to obtain clear answers to the following questions: Which input variables and extracted features are the most relevant for the construction of forecasting models? Which model is the most suitable for use as a forecasting tool in real-world short-term natural gas forecasting applications? Should the model be linear or nonlinear? Do adaptive models outperform non-adaptive models?

The paper is organized as follows: the “Data” section describes the weather and natural gas consumption data collection and preparation process, presents the basic relations between the collected data, and describes extraction of additional features relevant for the forecasting task. The forecasting models applied in this study are introduced in the “Forecasting models” section, whereas in the section “Selection of relevant inputs” the stepwise regression based selection of relevant inputs is described. The “Forecasting framework” section presents the formulation of the forecasting task, the performance measures, and the cross-validation procedure, and describes the static vs. adaptive models testing procedure. Comparisons and evaluations of the forecasting results are presented in the “Results” section. The key findings of the research are summarized in the “Conclusions” section.

2. Data

This study is based on two different sets of natural gas consumption data and corresponding weather data (shown in Fig. 1). In order to study the natural gas consumption on two different scales, the first set of natural gas consumption data was acquired from a model house, and the second set from the local distribution company. The measurements of natural gas consumption and meteorological data were carried out through two heating seasons, 2011/2012 and 2012/2013, as follows:

- Season 1: from 5th November 2011 until 26th April 2012,
- Season 2: from 9th November 2012 until 31st March 2013.

Weather data were collected in a weather station with hourly readings, located at N 45° 41.170', E 18° 24.200'. The house is located at N 45° 39.720', E 18° 25.970'. It has only one storey, and the natural gas heated space covers an area of approximately 100 m². The living

space is heated at 22 °C for 24 hours a day, every day, during the whole heating season. Natural gas data are measured by a natural gas meter with hourly readings.

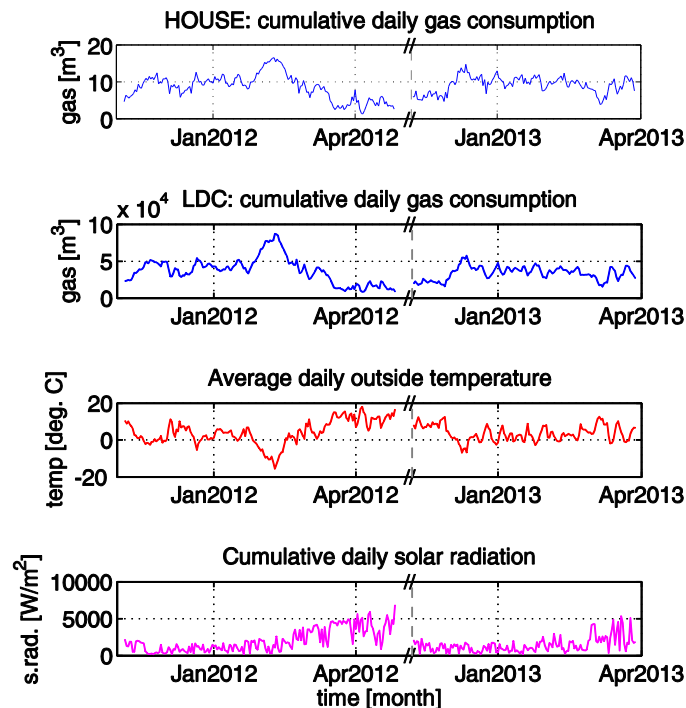


Fig. 1. HOUSE and LDC data (natural gas consumption, average daily outside temperature, and cumulative daily solar radiation) for the 2011/2012 and 2012/2013 heating seasons.

In the observed natural gas distribution area, the local distribution company delivers natural gas to two small towns and two villages, with a total of 4314 customers. A model house described above also represents one of the customers. There are only twelve customers with technological natural gas consumption in a production process, whereas the other residential, small commercial and industrial customers use natural gas for space heating. Local distribution company consumption data are collected from natural gas meters with hourly readings.

The variables were re-sampled from hourly values into daily values as follows:

- natural gas consumption and solar radiation values were expressed as daily sums,
- outside temperature was expressed as a daily average.

The combined data are presented in Fig. 1. With regard to the effect of the weather on residential natural gas consumption, the outside temperature has the strongest influence, as has been previously shown by numerous authors [12,16,17]. The comparison of HOUSE and LDC natural gas consumption data, which is presented in Fig. 2, shows a slightly nonlinear relationship between the two data sets. Based on the results shown in Fig. 2 it can be assumed that the HOUSE and LDC data sets represent two slightly different dynamic processes.

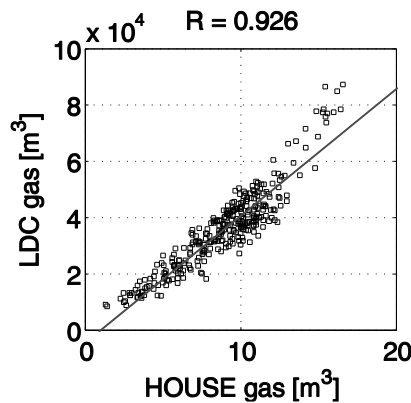


Fig. 2. Comparison of HOUSE and LDC natural gas consumption data.

Besides the original data presented above, two additional features with a potential to improve natural gas consumption forecasting were extracted from the hourly weather data as follows: T_{\min} (minimum daily temperature), SR_{\max} (maximum daily solar radiation). Day of the week was represented through a normalized weekly gas consumption index (WGCI) that was extracted through the normalization of daily consumption data $y(t)$ by the mean of the current week. The complete set of variables and extracted features applied in the forecasting study are summarized in Table 1. Symbol t denotes time in daily resolution.

Table 1: Description of the variables used in the forecasting analysis.

| Symbol | Description |
|----------------|--|
| $y(t)$ | cumulative daily natural gas consumption |
| $T(t)$ | average daily temperature |
| $SR(t)$ | cumulative daily solar radiation |
| $T_{\min}(t)$ | minimum daily temperature |
| $SR_{\max}(t)$ | maximum daily solar radiation |
| $WGCI(t)$ | weekly gas consumption index |

3. Forecasting models

In this section the various forecasting models applied in this study are introduced. The models were examined with the aim of finding the most suitable structure for the one day ahead forecasting of residential natural gas consumption. Benchmark models are presented for comparison only, and include the random-walk (RW) model, as recommended in [34] and the temperature correlation (TC) model. Linear models include the stepwise regression method [27], and auto-regressive models with exogenous inputs (ARX) of various model orders. In addition to linear models, nonlinear modelling approaches are considered by including neural network (NN) models [29] and support vector regression (SVR). Support vector regression (SVR) is a regression formulation of the support vector machines (SVM) proposed in [30]. The theory is well established and is explained in several excellent works [31–33]. Beside the model structures, the research described in this paper was focused on the question of using static or adaptive versions of forecasting models. Consequently, various adaptive versions of the above-mentioned forecasting models were also examined; these were adaptive (recursive) auto-regressive models with exogenous inputs (RARX), and an adaptive (recursive) neural network (RNN). A description of this RARX model can be found in [28] and the algorithm is also known as recursive least squares (RLS).

4. Forecasting framework

This section presents a formulation of the forecasting task, describes the training and testing procedures, and defines the performance measures which were applied for the evaluation of the forecasting models. The emphasis of the research was on a comparison of the static (RW, TC, ARX, NN, SVR) and the adaptive versions (RARX, RNN) of the forecasting models. For the evaluation of the performance of the applied forecasting models, the following two performance measures were used:

- a) the mean absolute range normalized error (e), and
- b) the adjusted R^2 measure.

The mean absolute range normalized error e is expressed as the absolute difference between the forecast and the actual natural gas consumption, normalized to the maximum natural gas consumption of the system:

$$e = 100 \frac{|\hat{y} - y|}{\max(y)} [\%] \quad (1)$$

For both data sets (HOUSE and LDC), and for each investigated forecasting model, the cross-validation procedure was applied as follows:

1. The forecasting model was trained on a training data subset (season 2011/2012).
2. The model was then tested on an independent testing data subset (season 2012/2013). The performance measure e obtained on testing data subset was selected as a criterion for the evaluation of model performance.

5. Results

An overview of forecasting results, expressed through the mean absolute range normalized error (e) and adjusted R^2 performance measures, is presented in Table 2.

Table 2: Overview of training and testing forecasting results for all the models which were applied to the HOUSE and LDC data sets. The results are expressed in terms of the mean absolute range normalized error e and the adjusted R^2 .

| <i>Model</i> | <i>HOUSE</i> | | | | <i>LDC</i> | | | |
|--------------|-----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| | <i>training</i> | | <i>testing</i> | | <i>training</i> | | <i>testing</i> | |
| | <i>e</i> [%] | <i>adj. R²</i> | <i>e</i> [%] | <i>adj. R²</i> | <i>e</i> [%] | <i>adj. R²</i> | <i>e</i> [%] | <i>adj. R²</i> |
| TC | 5.81 | 0.868 | 6.69 | 0.667 | 4.46 | 0.925 | 10.04 | 0.414 |
| RW | 5.43 | 0.888 | 6.80 | 0.662 | 3.37 | 0.954 | 5.17 | 0.815 |
| Stepwise | 3.64 | 0.947 | 4.93 | 0.815 | 1.29 | 0.994 | 2.48 | 0.959 |
| ARX(3) | 3.52 | 0.946 | 4.75 | 0.813 | 1.25 | 0.994 | 2.18 | 0.964 |
| ARX(5) | 3.43 | 0.944 | 4.74 | 0.793 | 1.14 | 0.994 | 2.17 | 0.961 |
| ARX(7) | 3.13 | 0.947 | 4.69 | 0.763 | 1.05 | 0.994 | 2.05 | 0.960 |
| NN(3) | 3.54 | 0.879 | 4.84 | 0.387 | 0.86 | 0.992 | 2.46 | 0.856 |
| SVM(3) | 3.55 | -- | 4.84 | -- | 0.79 | -- | 1.91 | -- |
| RARX(3) | 3.52 | 0.946 | 4.68 | 0.824 | 1.25 | 0.994 | 1.65 | 0.977 |
| RARX(5) | 3.43 | 0.944 | 4.84 | 0.793 | 1.14 | 0.994 | 1.72 | 0.972 |
| RARX(7) | 3.13 | 0.947 | 4.91 | 0.752 | 1.05 | 0.994 | 1.70 | 0.970 |
| RNN(3) | 3.54 | 0.879 | 4.77 | 0.367 | 0.86 | 0.992 | 1.80 | 0.911 |

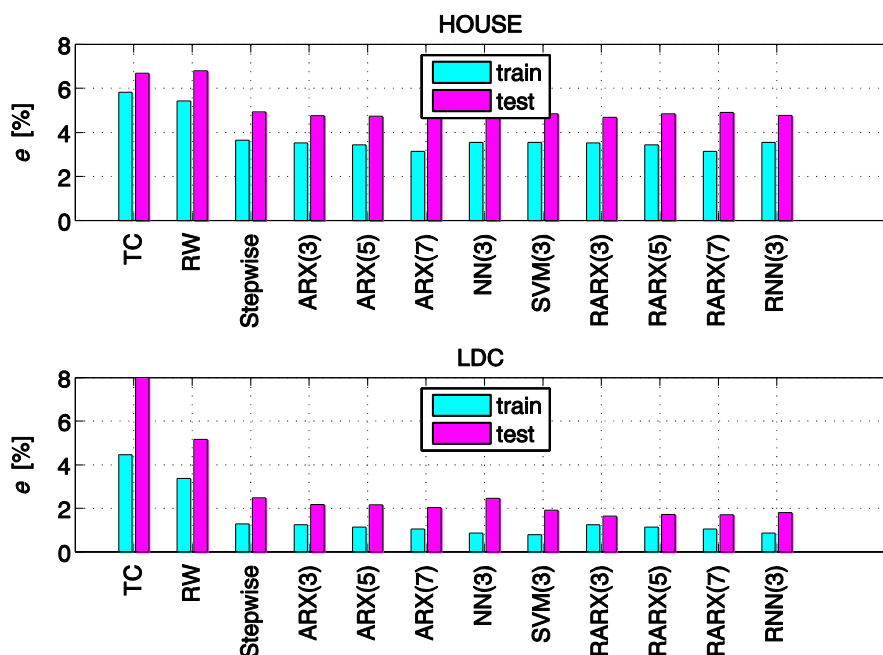


Fig. 3. Training and testing errors e in the case of the HOUSE and LDC data set.

A comparison of the training and testing results on the HOUSE and LDC data set is shown in Fig. 3. Whereas no improvement can be seen in the case of the HOUSE data set, a clearly improved adaptive forecasting performance can be observed in the case of the LDC data set. In general, individual HOUSE data set is less predictable compared to the LDC data set due to the switching regime of the individual heating system. Fig. 4. presents a comparison of the forecasting performance of the static and adaptive models for both data sets.

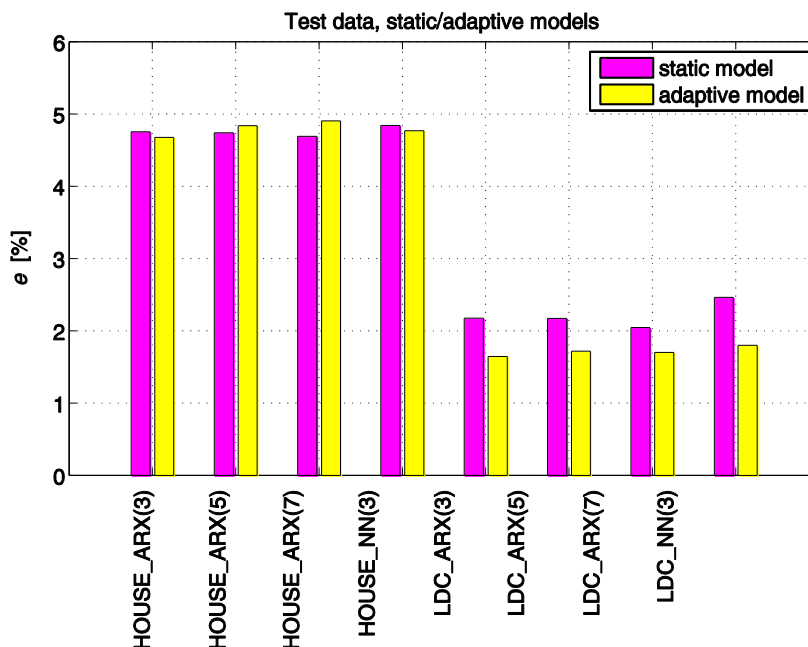


Fig. 4. Comparison of the static and adaptive models for the HOUSE and LDC data sets.

Fig. 5. present the forecasting results obtained in the case of the RARX(3) model for the HOUSE and LDC data sets, respectively. The time scales include both the training and the testing seasons. The graphs show the normalized measured and forecast natural gas

consumption, and also include the absolute range normalized errors in original and filtered form.

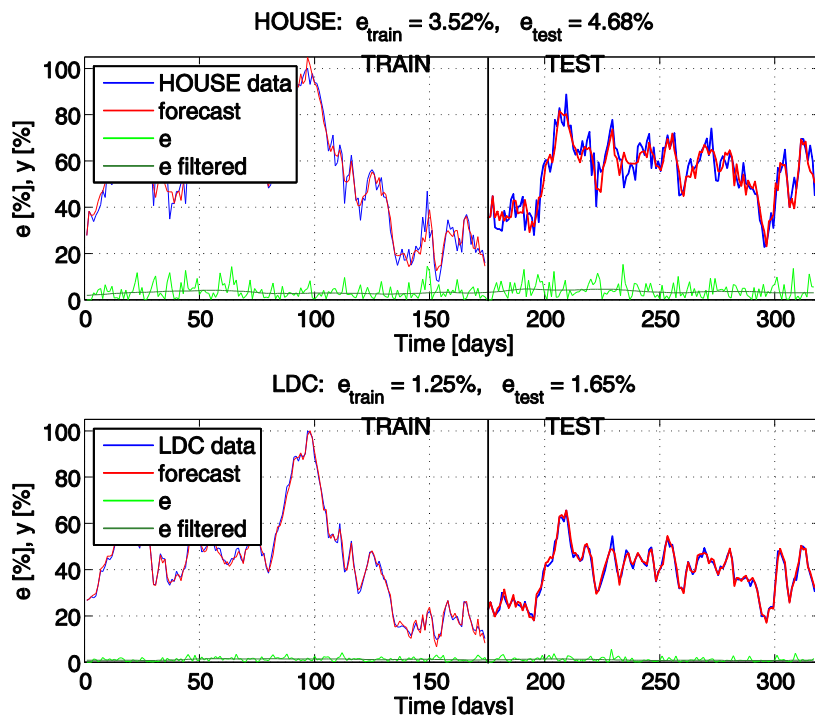


Fig. 5. Forecasting results of the RARX(3) model for the HOUSE and LDC data sets. A comparison of the filtered absolute range normalized errors obtained by the static ARX(3) and the adaptive RARX(3) models is presented in Fig. 6. The results refer to the testing period of HOUSE and LDC data sets. The results for the LDC data set confirm significantly improved performance of adaptive forecasting compared to static forecasting.

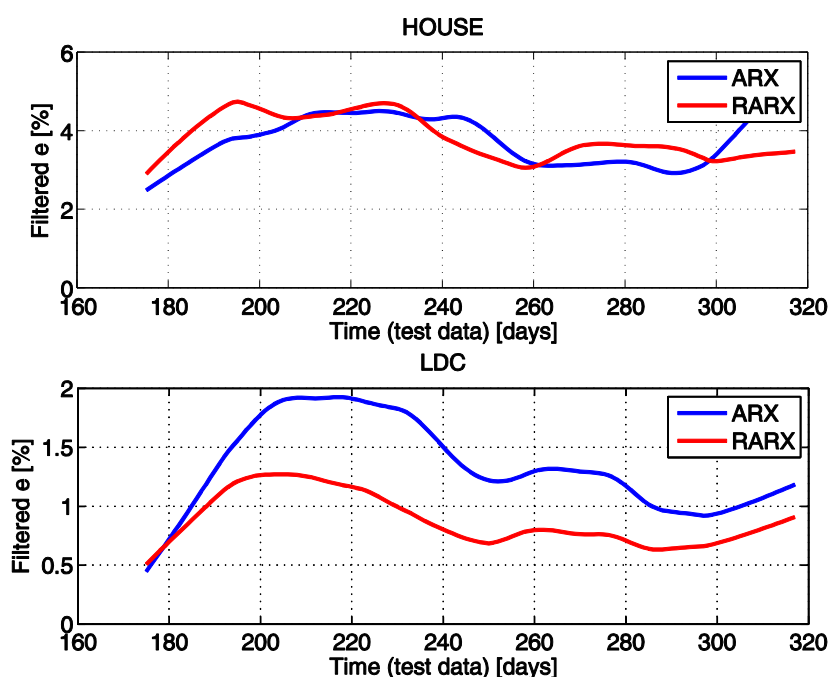


Fig. 6. Comparison of the filtered forecasting errors in the case of the static ARX(3) model and the adaptive RARX(3) model, for the HOUSE and LDC data sets.

6. Conclusion

The comparative investigation of static and adaptive forecasting models for short-term residential natural gas consumption is presented in this paper. Based on the results presented in the previous section, the following conclusions can be drawn:

- The comparison of static and adaptive models for natural gas consumption forecasting reveals the superiority of adaptive models for local distribution systems (the LDC data set), whereas individual house consumption (the HOUSE data set) can be sufficiently well estimated by static forecasting models.
- The nonlinear models (NN, SVR) may yield better training results, and thus better fit the training data, but the results reveal that the generalization performance of these models does not surpass the testing performance of simpler linear models.
- The successful forecasting solution should be based on informative inputs which represent the dynamics of a system. Further research will be directed towards the analysis of forecasted weather parameters where weather forecasts are obtained from corresponding weather forecasting institutions.

4. References

- [1] Valero A, Valero A. Physical geonomics: Combining the exergy and Hubbert peak analysis for predicting mineral resources depletion. *Resour. Conserv. Recy.* 2010;54(12):1074-1083.
- [2] Mohr SH, Evans GM. Long term forecasting of natural gas production. *Energ. Policy* 2011;39(9):5550-5560.
- [3] Siemek J, Nagy S, Rychlicki S. Estimation of natural-gas consumption in Poland based on the logistic-curve interpretation. *Appl Energy* 2003;75(1–2):1–7.
- [4] Gutierrez R, Nafidi A, Sanchez RG. Forecasting total natural-gas consumption in Spain by using the stochastic Gompertz innovation diffusion model. *Appl Energy* 2005;80(2):115–24.
- [5] Forouzanfar M, Doustmohammadi A, Menhaj MB, Hasanzadeh S. Modeling and estimation of the natural gas consumption for residential and commercial sectors in Iran. *Appl Energy* 2010;87(1):268–74.
- [6] Erdogdu E. Natural gas demand in Turkey. *Appl Energy* 2010;87(1):211–9.
- [7] Li J, Dong X, Shangguan J, Hook M. Forecasting the growth of China's natural gas consumption. *Energy* 2011;36(3):1380-1385.
- [8] Sanchez-Ubeda EF, Berzosa A. Modeling and forecasting industrial end-use natural gas consumption. *Energ. Econ.* 2007;29(4):710-742.
- [9] Huntington HG. Industrial natural gas consumption in the United States: an empirical model for evaluating future trends. *Energy Econ* 2007;29(4):743–59.
- [10] Sarak H, Satman A. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: A case study. *Energy* 2003;28:929-939.
- [11] Aras, H., Aras, N. Forecasting residential natural gas demand. *Energy Source.* 2004;26(5):463-472.
- [12] Timmer RP, Lamb PJ. Relations between temperature and residential natural gas consumption in the Central and Eastern United States. *J. Appl. Meteorol. Clim.* 2007;46(11):1993-2013.
- [13] Aydinalp-Koksal M, Ugursal VI. Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector. *Appl Energy* 2008;85(4):271-296.

- [14] Yoo S-H, Lim H-J, Kwak S-J. Estimating the residential demand function for natural gas in Seoul with correction for sample selection bias. *Appl Energy* 2009;86(4):460–465.
- [15] Potočnik P, Thaler M, Govekar E, Grabec I, Poredoš A. Forecasting risks of natural gas consumption in Slovenia. *Energ. Policy* 2007;35:4271-4282.
- [16] Sabo K, Scitovski R, Vazler I, Zekić-Sušac M. Mathematical models of natural gas consumption. *Energ. Convers. Manage.* 2011;52(3):1721-1727.
- [17] Brabec M, Konar O, Pelikan E, Maly M. A nonlinear mixed effects model for the prediction of natural gas consumption by individual customers. *Int J Forecasting* 2008;24(4):659-678.
- [18] Vondracek J, Pelikan E, Konar O, Cermakova J, Eben K, Maly M, et al. A statistical model for the estimation of natural gas consumption. *Appl Energy* 2008;85(5):362–70.
- [19] Bianco V, Scarpa F, Tagliafico LA. Scenario analysis of nonresidential natural gas consumption in Italy, *Applied Energy* 2014;113:392–403
- [20] Ediger VS, Akar S. ARIMA forecasting of primary energy demand by fuel in Turkey. *Energ Policy* 2007;35(3):1701-1708.
- [21] Liu H, Liu D, Zheng G, Liang Y. Research on natural gas short-term load forecasting based on support vector regression. *Chinese J. Chem. Eng.* 2004;12(5):732-736.
- [22] Kizilaslan R, Karlik B. Combination of neural networks forecasters for monthly natural gas consumption prediction. *Neural Netw. World* 2009;19(2):191–199.
- [23] Azadeh A, Asadzadeh SM, Ghanbari A. An adaptive network-based fuzzy inference system for short-term natural gas demand estimation: Uncertain and complex environments. *Energ Policy* 2010;38(3):1529-1536.
- [24] Soldo B. Forecasting natural gas consumption. *Appl Energy* 2012;92:26–37.
- [25] Potočnik P, Thaler M, Govekar E, Grabec I, Poredoš A. Forecasting risks of natural gas consumption in Slovenia, *Energy Policy* 2007(8);35:4271–4282.
- [26] Taşpinar F, Çelebi N, Tutkun N. Forecasting of daily natural gas consumption on regional basis in Turkey using various computational methods. *Energ Buildings* 2013;56:23-31.
- [27] Draper N, Smith H. *Applied Regression Analysis*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons Inc.; 1981.
- [28] Ljung L. *System Identification: Theory for the User*, 2nd ed., New Jersey: PTR Prentice Hall, Upper Saddle River; 1999.
- [29] Haykin, S., editor. *Neural networks and learning machines*, 3rd ed. New York: Pearson; 2009.
- [30] Vapnik VN. *The Nature of Statistical Learning Theory*. New York: Springer; 1995.
- [31] Cortes C, Vapnik VN. Support vector networks. *Mach. Learn.* 1995;20(3):273–97.
- [32] Vapnik VN. *Statistical Learning Theory*. New York: Wiley; 1998.
- [33] Smola AJ, Schölkopf B. A tutorial on support vector regression. *Stat. Comput.* 2004;14:199–222.
- [34] Hyndman RJ, Koehler AB. Another look at measures of forecast accuracy, *International Journal of Forecasting* 2006;22(4):679–688.

Unapređenje održavanja u poduzećima za eksploataciju plina korištenjem sustava za upravljanje imovinom *Improvement of Maintenance in Enterprises for Gas Exploitation using the Enterprise Asset Management*

T. Šarić¹, D. Pezer¹, K. Šimunović¹, K. Brckan², G. Šimunović¹

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

² Ekoneg - Zagreb, Hrvatska

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

Sažetak

U radu se daje kratka analiza mjesta i uloge sustava za upravljanje imovinom u konceptu suvremene organizacije poduzeća. U kontekstu održavanja analiziraju se specifičnosti opreme koja služi za eksploataciju (bušenje) plina i nafte. Za odabrani objekt održavanja daje se kratki tehnički opis uz oblikovanje tehnologije korektivnog i preventivnog održavanja s analizom potrebitih resursa. Za simulaciju unapređenja aktivnosti održavanja koristi se sustav za upravljanje imovinom podržan informatičkim tehnologijama. Koristeći odabranu programsku podršku, izrađuje se plan preventivnog održavanja te se prikazuje realizacija pristupa korektivnog i preventivnog održavanja. Posebni naglasak je na troškovno učinkovitim održavanju ostvarenom uz korištenje sustava za upravljanje imovinom.

Ključne riječi: Održavanje, korektivno, preventivno, eksploatacija plina, informacijski sustav

Abstract

The paper gives short analysis of the role of asset management in the concept of modern enterprise organization. The characteristics of the equipment used for the gas and oil exploitation are analyzed in the maintenance context. For the selected maintenance object a technical description along with the planning of corrective and preventive maintenance technology with an analysis of the necessary resources is given. To simulate the improvement of maintenance activities the Enterprise Asset Management (EAM) system is used. By the application of the selected EAM system, a plan for preventive maintenance is made, and the realization of corrective and preventive maintenance approach is showed. Particular emphasis is placed on cost-effective maintenance achieved by the use of EAM system.

1. Uvod

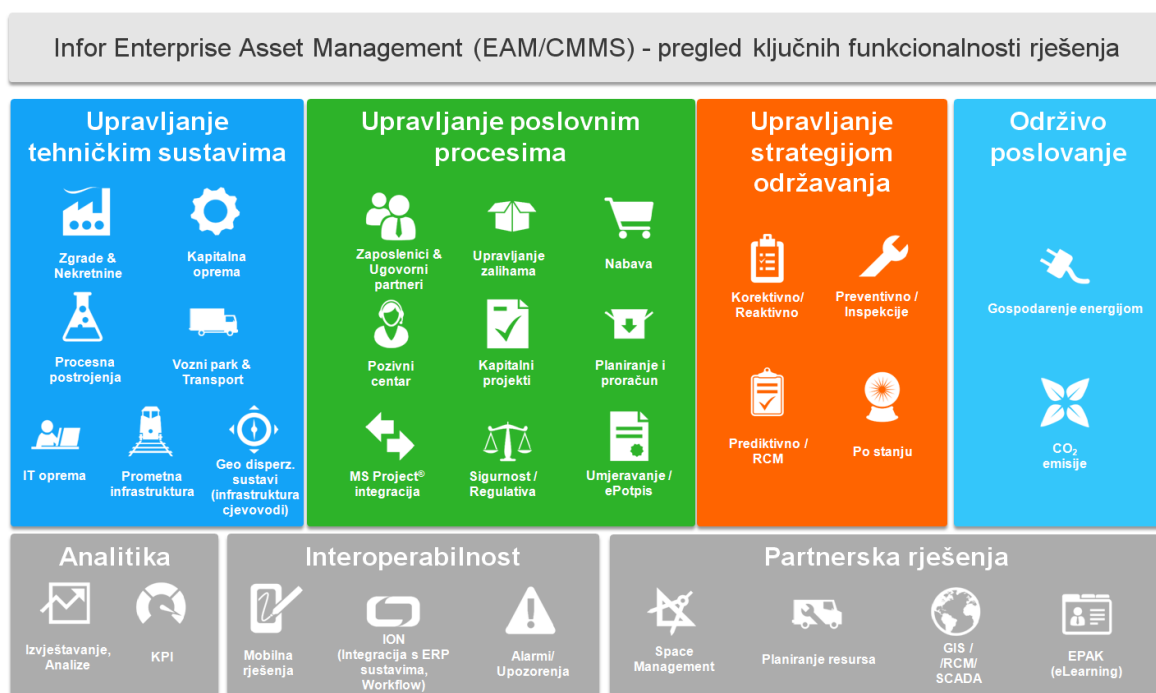
Visoki zahtjevi globalnog tržišta u smislu informatizacije poduzeća nalažu korištenje informacijskih sustava u poslovanju s ciljem postizanja maksimalne učinkovitosti i profitabilnosti, a jedan od pristupa poboljšanju racionalnog upravljanja poduzećima je i povećanje pouzdanosti – raspoloživosti instalirane opreme, te produženje životnog vijeka fizičke imovine. Informacijski sustavi najčešće korišteni u praksi za podršku upravljanju

održavanjem fizičke imovine danas su na svjetskom tržištu informatičkih tehnologija (IT) poznati pod engleskim nazivom *Enterprise Asset Management - EAM*, odnosno informacijski sustavi za upravljanje imovinom. Nastali su nadogradnjom, proširenjem i razvojem funkcionalnosti prve generacije računalom podržanih sustava za upravljanje poslovima održavanja poznatih kao *eng. Computerized Maintenance Management Systems - CMMS*. Međutim, i dan danas se nazivi ovih informacijskih sustava najčešće koriste kao sinonim (EAM/CMMS) [1].

EAM sustavi, između ostalog, omogućavaju prognoziranje i predviđanje, a samim time i sprječavanje eventualnih kvarova koji mogu nastati na opremi, te na taj način i produljiti životni vijek. Ovi sustavi, osim smanjenja troškova, povećanja profitabilnosti (kroz povećanje pouzdanosti) i učinkovitog korištenja imovine, omogućavaju:

- učinkovito raspoređivanje resursa održavanja,
- učinkovito upravljanje radnim nalogima (RN) vezanih uz održavanje,
- raspoređivanje poslova održavanja na temelju stanja imovine,
- plan preventivnog održavanja,
- mogućnost izvješća prilagođenih korisniku i dr.

Struktura suvremenog informacijskog sustava za podršku upravljanu održavanjem prikazana je na slici 1.



Slika 1. Struktura Infor EAM sustava [2]

Informacijski sustav održavanja također čini osnovnu IT platformu za međusobnu integraciju s tehničko - tehnološkim procesnim sustavima za nadzor i upravljanje procesima (*eng. Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA*) te sustavima za dijagnostiku stanja opreme (*eng. Condition Monitoring - CM*). Na taj način uspostavlja se operativna podrška uvođenju i provedbi strategija održavanja tehničkih sustava po stanju i predvidivom održavanjem.

Infor EAM MP2 informacijski sustav, potpuno je integrirani sustav upravljanja imovinom i njegove značajke su usmjerene životnom vijeku upravljanja imovinom, što rezultira:

- smanjenjem vremena čekanja,

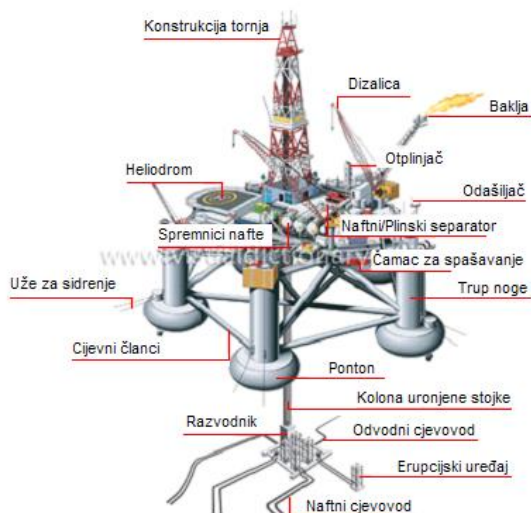
- kontroliranjem stanja na zalihama,
- nižim troškovima nabave za kupce (klijente),
- poboljšanjem kvalitete opreme,
- poboljšanjem produktivnosti održavanja,
- praćenjem i poboljšanjem produktivnosti zaposlenika,
- smanjenjem vanjskih ugovora o radu,
- pružanjem bolje usluge drugim odjelima,
- praćenjem/kontrolom troškova održavanja,
- povećanjem ukupne produktivnosti i dobiti,
- praćenjem povijesti opreme,
- sveobuhvatnim izvještajima i dr.

Cilj ovoga rada je prikazati korištenje EAM sustava na konkretnim slučajevima iz prakse za odabranu opremu koja se koristi za eksploataciju plina i nafte. Kroz simulaciju i rad s odabranim EAM sustavom prikazat će se unapređenje aktivnosti korektivnog i preventivnog održavanja.

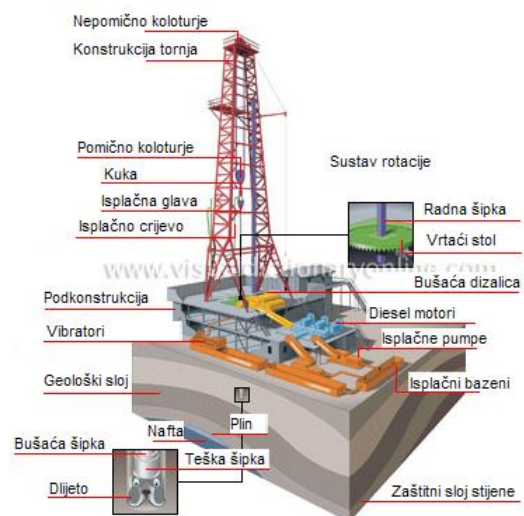
2. Kratki prikaz tehnološke opreme za eksploataciju plina i nafte

2.1. Oprema za bušenje

Jedna od aktivnosti otkrivanja i eksploatacije plinskih i naftnih resursa su bušenja. Bušenja u osnovi mogu biti izvođena pod morem i na kopnu [3]. Za bušenje pod morem koriste se različite vrste platformi za bušenje. Platforme mogu biti sa vlastitim nogama za plitke vode pa do plutajućih poluuronjivih platformi i brodova za bušenje u vrlo dubokim vodama. Na slici 2. prikazana je poluuronjiva platforma s karakterističnim opisom dijelova. Bušenje i eksploatacija nafte i plina pod morem je složenija nego bušenje na kopnenim postrojenjima s obzirom na daljinu, uvjete rada i okolinu. Kopneno bušaće postrojenje može biti pokretna oprema (instalirana na kamionima ili prikolicama) i stacionarna (trajno postavljeno na tlu). Iz prethodno iznesenog možemo „bušaće postrojenje“ definirati kao složenu opremu koja se koristi za prodiranje alata u površinu Zemljine kore s ciljem pronalaženja i eksploatacije plina i nafte. Na slici 3. prikazano je kopneno bušaće postrojenje sa opisom osnovne opreme. Analizirajući ovu opremu prema složenosti i uvjetima eksploatacije može se klasificirati kao složena i zahtjevna za upravljanje i održavanje.



Slika 2. Poluuronjiva platforma za bušenje plina i nafte [4]

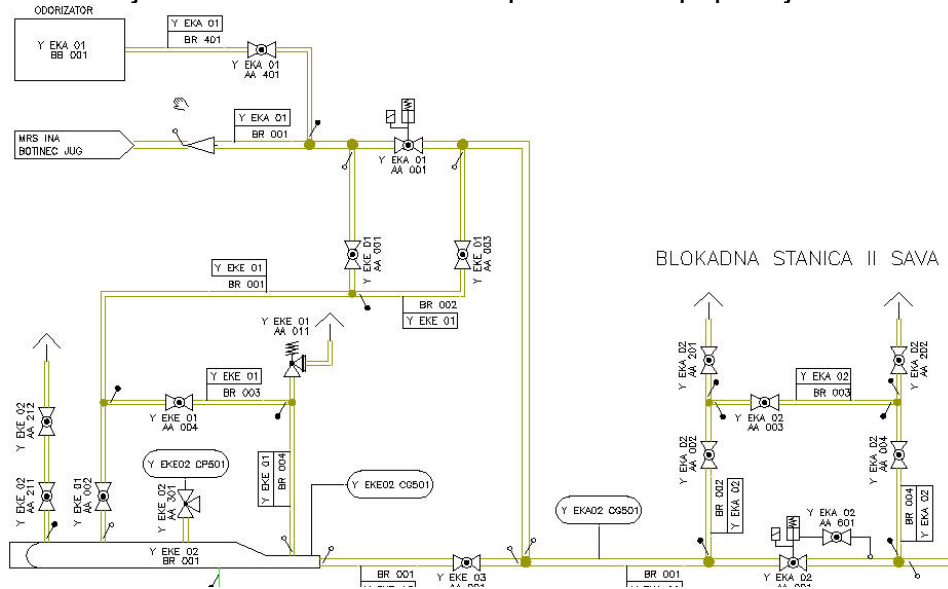


Slika 3. Kopneno bušaće postrojenje [5]

2.2 Mrežni i distribucijski sustavi plina

Sustav za organiziranu opskrbu potrošača plinom je složen. Ovakav sustav, između ostalog, sadržava: mrežu plinovoda, mjerno redukcijske stanice i čvorove, podzemna skladišta plina, blokadne i čistačke stanice, kompresorske jedinice, sustave zaštite plinovoda, sustave za upravljanje i nadzor, armaturu te drugu strojarско – elektro – građevinsku opreme.

Na slici 4. prikazana je standardna blok shema plinovoda s pripadajućim elementima.



Slika 4. Primjer blok sheme plinovoda

Kod cjelovite analize sustava mora se uzeti u obzir i druga oprema te objekti koji nisu u direktnoj funkciji transporta i distribucije plina (kao na primjer: telekomunikacijska i informatička oprema; nekretnine i ostali nadzemni građevinski objekti; vozila i ostala transportna sredstva itd.).

3. Eksperimentalni rad s EAM sustavom na odabranoj opremi

3.1 Odabir objekta održavanja

Kao objekt održavanja za eksperimentalni rad s EAM sustavom odabrana je dizalica Link Belt (slika 5.) [6]. Dizalica je namijenjena za prijenos tereta i ljudi na platformi, talijanskog proizvođača Link Belt koji je jedan od poznatijih i značajnije zastupljen na naftnim i plinskim platformama. Atestirana nosivost dizalice je 22 t na glavnoj kuki, odnosno 4 t na pomoćnoj kuki.



Slika 5. Dizalica Link Belt



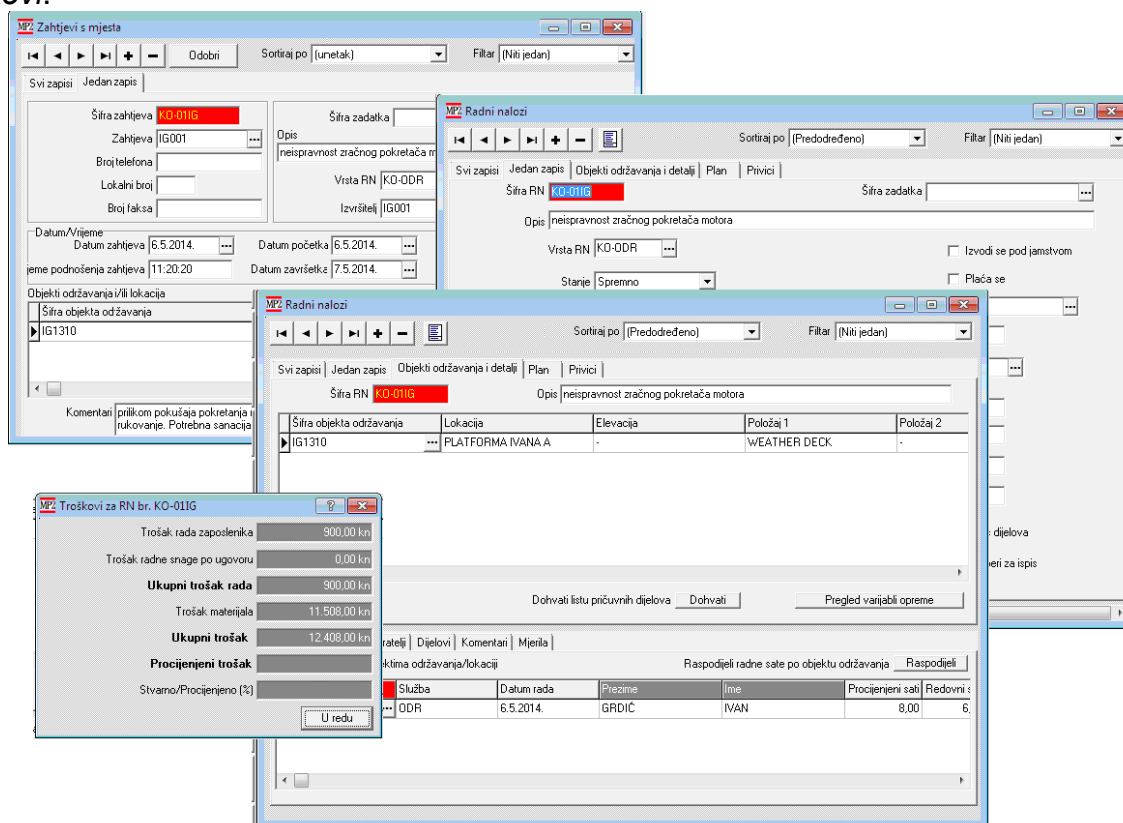
Slika 6. Centralni okretni mehanizam

Kao i kod većine dizalica ovoga tipa najznačajniju ulogu ima centralni okretni mehanizam (slika 6.). Ispravnost i redoviti pregledi mehanizma uz propisane preglede proizvođača dizalice osiguravaju razinu pouzdanosti i raspoloživosti koja je obavezna na postrojenjima kao što su proizvodne plinske platforme.

U nastavku rada izvršena je simulacija obrade radnih naloga korektivnog i preventivnog održavanja u Infor EAM MP2 sustavu na realnim podacima. Informacijski sustav za rad odabran je po načelu dostupnosti za rad tj. isti je instaliran u Laboratoriju za održavanje, Zavoda za industrijsko inženjerstvo Strojarskog fakulteta u Slavanskom Brodu.

3.2 Simulacija korektivnog održavanja s EAM sustavom

Proces simulacije prikazan je kroz rad na odabranom sustavu. Uzrok pokretanja aktivnosti korektivnog održavanja uočeno je oštećenje ili kvar. Za odabranu simulaciju izdvojeno je nekoliko oštećenja i kvarova na odabranom objektu održavanja [6]. Zbog ograničenosti prostora za prezentaciju ovoga rada prikazat će se nekoliko programskih maski odabranog kvara (neispravnost zračnog pokretača motora). Simulacija obrade nekoliko radnih naloga krenula je popunjavanjem prijave kvara – „Zahtjev za rad“, te potom popunjavanjem forme radnog naloga (slika 7.) sa svim potrebitim atributima kao što su: *izvršitelji posla sa utrošenim satima rada, pridruženi pričuvni dijelovi i materijali po radnom nalogu te ostali troškovi.*



Slika 7. Dio programskih maski EAM sustava za korektivno održavanje

Nakon oblikovanja radnog naloga, isti se lansira te izvršava. Završetkom otklanjanja kvara, radni nalog se ažurira i zaključuje. Za konkretni kvar uneseni su sljedeći podaci o: Korištenoj radnoj snazi (*zaposlenik je radio jedan sat i njegov ukupan trošak je iznosio 80,00 kn*); Iskorištenim dijelovima i materijalima (*upisana je stvarna količina iskorištenih dijelova, materijala i njihov ukupan jedinični trošak*); Obavljenom poslu (*u Komentarima je detaljno*

opisana vrsta kvara i popravak istog). Nakon lansiranja radnog naloga, bilo je potrebno pregledati Zračni pokretač motora. Pregledom je dijagnosticiran kvar uslijed kojeg je bilo potrebno izvršiti izmjenu zračnog pokretača motora. Zaposlenik je utrošio šest radnih sati na otklanjanju kvara te su njegovi troškovi iznosili 900,00 kuna. Tablica 1. prikazuje troškove pričuvnih dijelova i materijala koji su upotrijebljeni za otklanjanje kvara, a ukupni troškovi za otklanjanje opisanog kvara iznosili su 12.408,00 kuna (slika 7.).

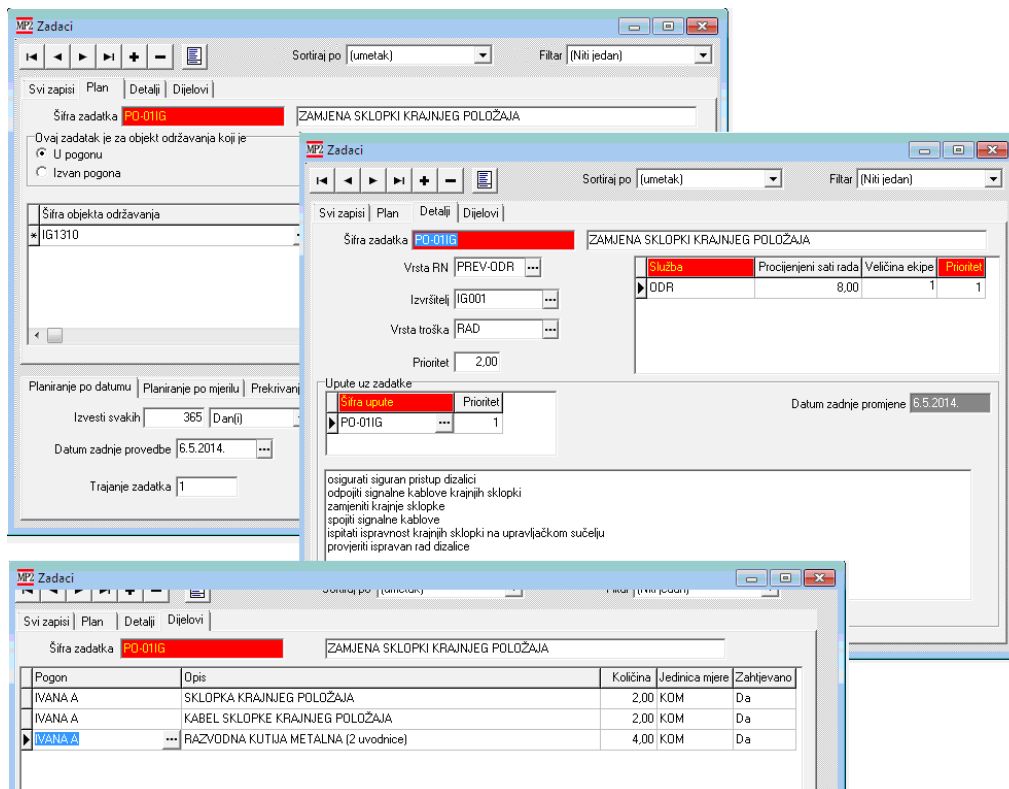
Tablica 1. Pričuvni dijelovi i materijal – RN Korektivno održavanje

| Rb. | Dijelovi i materijal | Količina | Ukupni trošak |
|---------|-------------------------------------|----------|---------------------|
| 1. | Zračni pokretač | 1 | 11.000,00 kn |
| 2. | Koljeno 90, 1 1/2", pocinčano | 2 | 52,00 kn |
| 3. | Traka teflonska 0,1 mm | 1 | 1,00 kn |
| 4. | Pogonski zupčanik zračnog pokretača | 1 | 455,00 kn |
| Ukupno: | | | 11.508,00 kn |

Pregledom je ustanovljeno da je pokretač ostao zaglavljnjen u ozubljenju. Kao posljedica zaglavljivanja ustanovljen je pomak aksijalne osi zupčanika zračnog pokretača. Zupčanik je zamijenjen novim. Radovi su obavljani prema komentarima u danom radnom nalogu te je po zaključenju radnog naloga dizalica u ispravnom stanju.

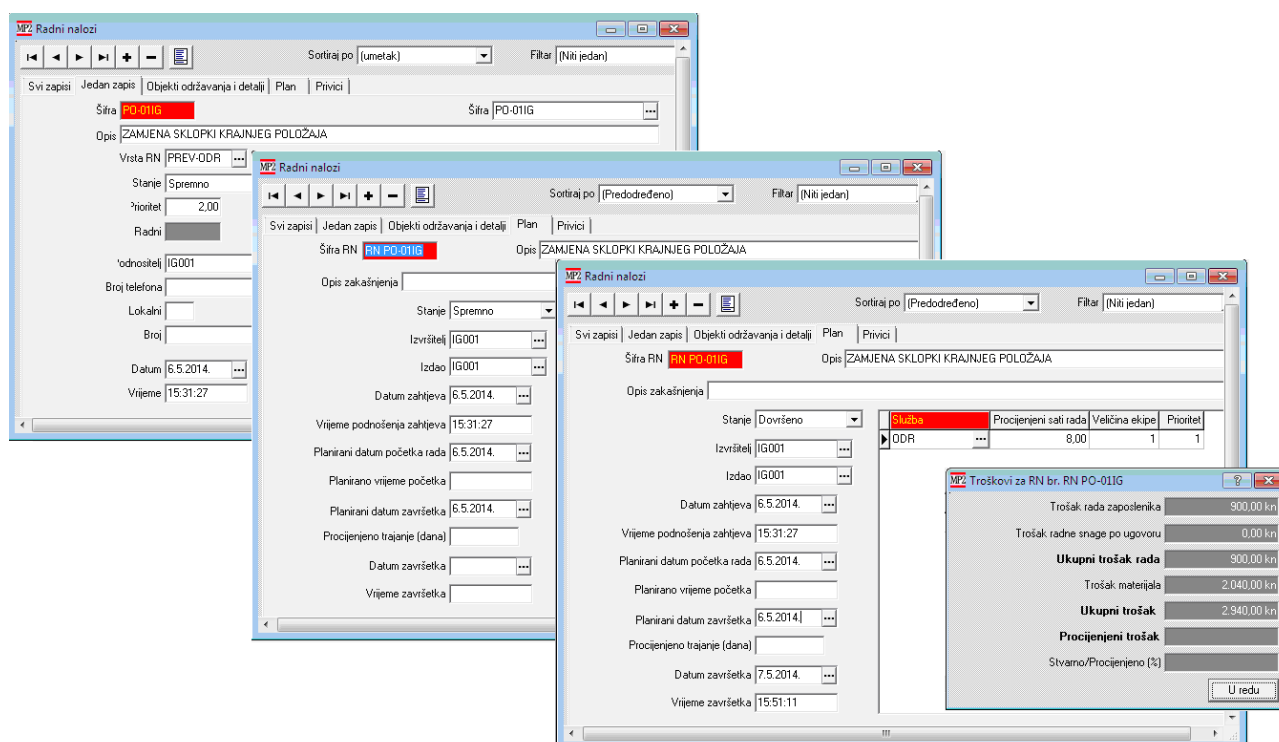
3.3 Simulacija preventivnog održavanja s EAM sustavom

Simulacija aktivnosti preventivnog održavanja provedena je za odabrani objekt održavanja (slika 5.). Tehnologija preventivnih aktivnosti obično se oblikuje prema preporukama proizvođača, vlastitom iskustvu te dostupnim znanjima i izvorima. Tehnologija preventivnog održavanja opisuje se skupom aktivnosti koje je potrebno izvršiti s detaljnim opisom. Svaka aktivnost definira se dužinom trajanja, uz pripadajuće kapacitete, pričuvne dijelove i potrošni materijal te potrebiti alat. Za prikaz obrade i hodograma aktivnosti preventivnog održavanja odabrana je također jedna aktivnost [6] (iz razloga kao i kod podsustava korektivnog održavanja). Prvi korak je definiranje aktivnosti *preventivnog održavanja (oblikovanje zadatka* – „Zamjena sklopki krajnjeg položaja na dizalici“). U programskoj masici zadatka (aktivnosti) preventivnog održavanja, pod kategorijom „Plan“ (slika 8.) upisani su slijedeći podaci: *šifra zadatka (PO-01IG), opis zadatka, šifra objekta održavanja i periodičnost (planiranje po datumu ili mjerilu)*. U kategoriji „Detalji“ na (slika 8.), upisani su slijedeći podaci: *vrsta RN-a, izvršitelj, vrsta troška, prioritet, upute i služba*. Upute sadrže detaljne smjernice za izvedbu zadatka. U kategoriji „Dijelovi“ (slika 8.), upisani su slijedeći podaci: *pričuvni dijelovi, materijali i njihova količina potrebna za izvršenje zadatka*.



Slika 8. Definiranje aktivnosti (zadatak) preventivnog održavanja u EAM sustavu

Slijedeća aktivnost u radu s EAM sustavom je otvaranje radnog naloga preventivnog održavanja na temelju prethodno oblikovanog zadatka. Podaci koji su bili oblikovani u navedenom zadatku, automatizmom se prenose u radni nalog. Tako je kategorija „Jedan zapis“ automatski definirana osnovnim podacima, uz dodatan unos podnositelja zahtjeva (slika 9.). U kategoriji „Objekti održavanja i detalji“ definiran je *zaposlenik, njegovo procijenjeno vrijeme rada* i dodan je *komentar, odnosno opis zadatka* (isti postupak kao i u korektivnom održavanju). Pričuvni dijelovi, materijali i njihova zahtijevana količina su preneseni iz zadatka preventivnog održavanja. U kategoriji „Plan“, osim automatski ispunjenih polja, upisani su podaci u slijedeća polja: *Planirani datum početka rada, Planirano vrijeme početka, Planirani datum završetka* i *Procijenjeno trajanje* (slika 9.). Nakon oblikovanja i planiranja radnog naloga, isti se ispisuje i lansira (operativno izvršenje RN). Izvršenjem aktivnosti po definiranom RN preventivnog održavanja isti se ažurira. Unose se ostvareni realni podaci o: *Korištenoj radnoj snazi* (zaposlenik je radio pet sati i njegov ukupan trošak je iznosio 400,00 kn); *Iskorištenim dijelovima i materijalima* (utrošena količina pričuvnih dijelova, materijala i njihov ukupan jedinični trošak); *Obavljenom poslu* (u „Komentarima“ je unesen opis obavljenog posla). Slijedeće, pod kategorijom „Plan“, ispunjena su polja *datum i vrijeme završetka* obavljenog posla (slika 9.). Provedbom opisanih hodograma aktivnosti, RN preventivnog održavanja je zaključen naredbom *Zatvori aktualni RN*.



Slika 9. Oblikovanje i upravljanje RN preventivnog održavanja s analizom troškova

Po zatvaranju RN preventivnog održavanja analizira se obavljeni posao i utrošena sredstva (analiza troška). Po oblikovanju zadatka preventivnog održavanja, te lansiranja radnog naloga, bilo je potrebno zamijeniti sklopke krajnjeg položaja dizalice. Preventivne aktivnosti načinjene su prema slijedećim koracima: osigurati siguran pristup dizalici; odvojiti signalne kablove krajnjih sklopki; zamijeniti krajnje sklopke; spojiti signalne kablove; ispitati ispravnost krajnjih sklopki na upravljačkom sučelju te provjeriti ispravan rad dizalice. Zaposlenik je utrošio šest radnih sati na preventivne aktivnosti i njegovi ukupni troškovi su iznosili 900,00 kn. U Tablici 2. prikazani su troškovi i količina pričuvnih dijelova i materijala, koji su upotrijebljeni za opisanu aktivnost preventivnog održavanja odnosno RN.

Tablica 2. Pričuvni dijelovi i materijal – RN Preventivno održavanje

| Rb. | Dijelovi i materijal | Količina | Ukupni trošak |
|---------|------------------------------|----------|---------------|
| 1. | Sklopka krajnjeg položaja | 2 | 1.500,00 kn |
| 2. | Set kabela sklopki | 2 | 320,00 kn |
| 3. | Razvodna kutija (2 uvodnice) | 4 | 220,00 kn |
| Ukupno: | | | 2.040,00 kn |

Ukupni troškovi po prikazanom i analiziranom RN preventivnog održavanja (Zamjena sklopki krajnjeg položaja i pripadajućih signalnih kabela na dizalici) iznose 2.940,00 kuna (slika 9.).

4. Zaključak

U radu je dana kratka analiza mjesta i uloge sustava za upravljanje imovinom u konceptu suvremene organizacije poduzeća. U aktivnostima održavanja analiziranih poduzeća definirane su specifičnosti opreme koja služi za eksploataciju (bušenje) i distribuciju plina. Za odabrani objekt održavanja dan je kratki tehnički opis.

Za odabrani objekt održavanja analizirana su realna oštećenja i kvarovi. Na osnovu analiziranih konkretnih radnih naloga odabran je po jedan karakteristični za korektivne i preventivne aktivnosti. Za radne naloge uneseni su podaci o razlogu nastanka kvara, načinu otklanjanja kvara, utrošenim pričuvnim dijelovima, cijenama pričuvnih dijelova, potrebnom broju radnih sati za otklanjanje kvara, te drugi podatci. Za preventivno održavanje unesena je tehnologija plansko – preventivnog održavanja s pripadajućim resursima i ciklusima ponovljivosti. Informacijski sustav Infor EAM MP2 automatski ispisuje radne naloge. Plan se može generirati prema vremenu odnosno prema radnim parametrima. Simulacijom rada u informacijskom sustavu Infor EAM MP2 istražene su mogućnosti primjene informacijskog sustava za analizirana poduzeća koja se bave eksploatacijom i distribucijom plina, te su prikazane prednosti korištenja informacijskog sustava. Ovakvi sustavi osiguravaju pouzdanije upravljanje i pravovremeno donošenje odluka u održavanju. Na osnovu provedenog istraživanja može se zaključiti da je primjena EAM / CMMS sustava opravdana i u današnjim uvjetima poslovanja postaje imperativ za korištenje u analiziranim poduzećima.

5. Literatura

- [1.] Šarić, Tomislav; Šimunović, Katica; Šimunović, Goran; Brckan, Krešimir; Brkanac Krešimir. Održavanje poljoprivredne mehanizacije uz podršku informacijskih tehnologija // ODRŽAVANJE 2010 / Čala, Ivo (ur.). (ISBN 978-953-55219-2-1) Zagreb: Hrvatsko društvo održavatelja, 25.05.-27.5.2010. s. 79-88
- [2.] Brckan, Krešimir. Infor EAM - informacijski sustav za podršku upravljanju održavanjem i Asset Management,
http://www.odrzavanje.unze.ba/do/02%20Ekonerg%20Infor%20EAM_CMMS.pptx
(18.07.2014)
- [3.] Šarić, Tomislav; Ugarković, Igor; Šimunović, Goran; Lujčić, Roberto; Pezer, Danijela. Planiranje i praćenje remonta postrojenja za proizvodnju plina i nafte uz primjenu informatičkih tehnologija // *Proceedings of 2nd International natural gas, heat and water conference* / Tonković, Zlatko (ur.). (ISBN 978-953-6048-64-9). Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 29.09.-30.09.2011. s. 20-1-20-10
- [4.] URL: <http://visual.merriam-webster.com/energy/geothermal-fossil-energy/oil/production-platform.php> (23.07.2014)
- [5.] URL: <http://visual.merriam-webster.com/energy/geothermal-fossil-energy/oil/drilling-rig.php> (23.07.2014)
- [6.] Grdić, Ivan. Korektivno i preventivno održavanje dizalice Limk Belt na Platformi Ivana A – Seminarski rad (mentor: prof.dr.sc. Tomislav Šarić) Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2014.

Analiza i modeliranje potrošnje toplinske energije na primjeru kompleksa zgrada u Suhopolju

Analyses and modelling of heat energy consumption – the case of hospice buildings in Suhopolje

J. Jukić¹, R. Lujić², V. Galzina^{2,*}, A. Ravlić³

¹Veleučilište u Slavonskom Brodu, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, Hrvatska

²Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Trg I,B, Mažuranić 2 Slavonski Brod, Hrvatska

³Brod-plin d.o.o. Tome Skalice 4, Slavonski Brod, Hrvatska – Društvo energetičara Slavonski Brod, Županijska 33, Slavonski Brod, Hrvatska

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

Sažetak

U radu je prikazana mogućnost djelovanja na potrošnju toplinske energije kroz analizu i modeliranje. Dan je primjer potrošnje loživog ulja za grijanje jednog kompleksa zgrada te prijedlog zamjene postojećeg energenta sa ekološki prihvatljivijim i jeftinijim energentom (loživog ulja sa plinom).

Cilj rada je bio na jednostavan način omjer pokazati uloženog i dobivenog te je napravljena procijenjena ušteda za istu godišnju potrebnu energiju. Također kao izlazni podatak bilo je bitno pokazati vrijeme povrata investicije ulaganjem u opremu ali i energenta koji štede energiju i smanjuju emisiju stakleničkih plinova.

Ključne riječi: potrošnje toplinske energije, procijenjena ušteda, vrijeme povrata investicije

Abstract

This paper shows possibility of acting to heat energy consumption through the analyses and modelling processes. For example is taken consumption of fuel oil for the hospice buildings in Suhopolje where energy generating product has been replaced with more ecological and much cheaper gas.

The article goal is to show ratio between invested and saved so the estimated savings on year base have been taken into consideration. The return of investment is shown through the applying of low energy devices and energy generating product.

Key words: heat energy consumption, estimated savings, return of investment.

1. Uvod

Energija je postala vrlo važno političko pitanje, i to s dobrim razlogom. Moderno društvo ovisno je o energiji. Sigurna opskrba jeftinim gorivom određuje prosperitet milijarde ljudi. Za zadovoljenje rastućih potreba, svijet vapi za još više energije. Međutim, ne može se jednostavno stvoriti veća količina fosilnih goriva niti neobnovljivog urana (izvora koji zadovoljavaju približno 90% današnjih energetske potreba). [1]

Ukoliko ne dođe do poboljšanja energetske učinkovitosti, potrošnja energije i emisije CO₂ iz zgrada neće jednostavno ostati na istoj razini, već će se povećati. Naime prema istraživanju McKinsey / Vattenfall, do 2030 godine kvadratura stambenih objekata povećat će se za 64% uslijed sve većeg gospodarskog napretka u svijetu. Ovaj porast je važan jer stambeni objekti čine najveći udio zgrada u svijetu

Energetska efikasnost podrazumijeva energetske osviješćeno graditeljstvo koje teži smanjiti gubitke topline iz zgrade poboljšanjem toplinske izolacije vanjskih elemenata i povoljnim odnosom oplošja i volumena zgrade, a samim time i smanjenje emisije stakleničkih plinova, povećati toplinske dobitke u zgradi orijentacijom zgrade i korištenjem sunčeve energije, koristiti obnovljive izvore energije i povećati energetske efikasnost termoenergetskih sustava [2].

Energetska učinkovitost prepoznata je u svijetu kao najučinkovitiji i najisplativiji način postizanja ciljeva [3] održivog razvoja:

- smanjenjem negativnih učinaka na okoliš, koje proizvodi energetski sektor, [4]
- smanjenjem emisije ugljičnog dioksida, [5,6,7]
- povećanjem sigurnosti opskrbe energijom prekidanjem povezanosti između gospodarskog rasta i povećanja potražnje za energijom, ali i doprinosom povećanju konkurentnosti nacionalnih gospodarstava [6, 8, 9, 10, 11].

Energetska učinkovitost u zgradama i održiva gradnja te primjena obnovljivih izvora energije, danas postaje apsolutni prioritet svih aktivnosti u području energetike i gradnje u Europskoj uniji. Nedostatak energije i nesigurnost u opskrbi energijom, uz stalan rast cijena energenata, te klimatske promjene i zagađenje okoliša zbog neracionalne potrošnje energije te porast korištenja energije za hlađenje, posebno uvođenjem klimatizacije zgrada zahtijeva ozbiljan pristup iznalaženja mjera za povećanje energetske učinkovitosti, mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije, daljinskog grijanja i hlađenja, smanjenja korištenja fosilnih goriva i zagađenja okoliša u kojem živimo.

Energetska učinkovitost u zgradama uključuje cijeli niz različitih područja mogućnosti uštede toplinske i električne energije, uz racionalnu primjenu fosilnih goriva te primjenu obnovljivih izvora energije u zgradama, gdje god je to funkcionalno izvedivo i ekonomski opravdano.

2. Opći podaci o lokaciji zgrada

Predmetni kompleks sastavljen je od 6 zgrada različitih grijanih površina i različite namjene a sve za grijanje koriste energiju ekstra lakog loživog ulja preko dvije kotlovnice i nalaze se u 2. zoni globalnog Sunčevog zračenja sa srednjom mjesečnom temperaturom vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade $\Theta_{e,mj,min} \leq 3^{\circ}\text{C}$ i unutarnjom temperaturom $\Theta_i \geq 18^{\circ}\text{C}$.

U tablici 1. dani su klimatološki podaci najbliže meteorološke postaje (Đurđevac) lokaciji kompleksa zgrada u Suhopolju [12].

Tablica 1. Klimatološki podaci lokacije objekta

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God. |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|---------|-------|------|------|-----|------|------|
| Temperature zraka (°C) | | | | | | | | | | | | | |
| m | -1,5 | 1,1 | 5,2 | 10 | 14,9 | 18,2 | 19,6 | 18,7 | 15,1 | 9,8 | 4,8 | 0,5 | 9,7 |
| min | -5,1 | -2,7 | 0,5 | 4,4 | 8,7 | 12,3 | 13,3 | 12,5 | 9,4 | 4,8 | 1,1 | -2,6 | 4,7 |
| max | 2,1 | 5,5 | 10,9 | 16,3 | 21,3 | 24,4 | 26,4 | 25,9 | 22,3 | 16,4 | 9,2 | 3,8 | 15,4 |
| Tlak vodene pare (Pa) | | | | | | | | | | | | | |
| m | 510 | 590 | 730 | 960 | 1330 | 1650 | 1810 | 1780 | 1480 | 1090 | 800 | 590 | 1110 |
| Relativna vlažnost zraka (%) | | | | | | | | | | | | | |
| m | 85 | 83 | 79 | 76 | 76 | 77 | 77 | 81 | 84 | 85 | 87 | 87 | 81 |
| Brzina vjetra (m/s) | | | | | | | | | | | | | |
| m | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 3,3 | 3,2 | 3,2 | 2,8 | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,7 |
| Broj dana grijanja | | | | | | | | | | | | | |
| Temperatura vanjskog zraka | | | | | | | <= 10°C | 171,7 | | | | | |
| | | | | | | | <= 12°C | 188,8 | | | | | |
| | | | | | | | <= 15°C | 205,3 | | | | | |

U sklopu kompleksa je instaliran toplovodni sustav grijanja koji kao energent koristi loživo ulje te u pojedinim zgradama sustav za PTV (potrošna topla voda) koji koristi vodu zagrijanu u postojećoj kotlovnici na loživo ulje. Grijanje prostora izvedeno je s pomoću dvije kotlovnice od kojih se jedna koristi za grijanje zgrade naziva „Stacionar“ i zgrade naziva „Penzioneri“, a druga za grijanje ostalih prostora i prikazano je na slici 1.

Predložena mjera za povećanje energetske učinkovitosti je zamjena ekstra lakog loživog ulja plinom. Iako je modelirana potrošnja modelirana za svaku zgradu, zamjena postojećeg energenta za grijanje je razmatrana za kompletan kompleks zgrada, iz razloga poznatosti podataka o potrošnji za kompletan kompleks.

3. Analiza i modeliranje potrošnje toplinske energije

Na osnovi analize ispisa računa za loživo ulje lako, LUEL za razdoblje I/2011 – XII/2013, izdanih od strane dobavljača utvrđena je potrošnja loživog ulja, odnosno potrošnja toplinske energije. S obzirom da zgrade posjeduju vlastiti skladišni prostor i da se loživo ulje u većoj količini koristi za grijanje, a jedan dio i za pripremu potrošne tople vode, nabava loživog se vrši uglavnom u zimskim mjesecima.

Tablica 2. i slika 2. daju prikaz nabavljene količine loživog ulja u lit/kg u periodu od 3 godine, dok tablica 3 prikazuje troškove nabave loživog ulja u kn (s PDV-om).

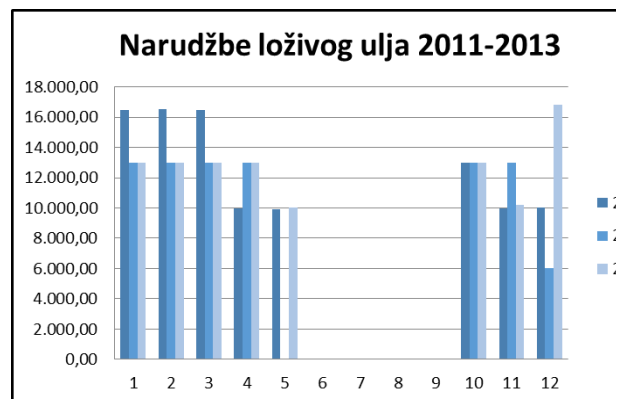


- U „KOTLOVNICI 1“ instaliran je:
- Kotao „Centrometal“ toplinskog učinka 160 kW sa kombiniranim plamenikom „Weishaupt“ WGL 30 N/1-A
- U „KOTLOVNICI 2“ instaliran je:
- Kotao „Buderus“ toplinskog učinka 240 kW sa uljnim plamenikom „Weishaupt“ WL 40Z-A
 - Kotao toplinskog učinka 185 kW sa dvostupanjskim uljnim plamenikom „Weishaupt“ L3 Z-A

Slika 1. Raspodjela grijanja na kotlovnice

Tablica 2. Nabavljena količina loživog ulja u lit/kg

| Godina / Mjesec | 2011 | 2012 | 2013 |
|----------------------|----------------|---------------|----------------|
| 1 | 16.486,00 | 13.000,00 | 13.000,00 |
| 2 | 16.503,00 | 13.001,00 | 13.000,00 |
| 3 | 16.500,00 | 13.000,00 | 12.998,00 |
| 4 | 10.000,00 | 13.001,00 | 13.001,00 |
| 5 | 9.939,00 | - | 10.003,00 |
| 6 | - | - | - |
| 7 | - | - | - |
| 8 | - | - | - |
| 9 | - | - | - |
| 10 | 13.002,00 | 13.000,00 | 12.970,00 |
| 11 | 10.000,00 | 12.998,00 | 10.181,00 |
| 12 | 10.001,00 | 6.001,00 | 16.791,00 |
| Ukupno litara | 102.431 | 84.001 | 101.944 |
| UKUPNO, kg: | 85.530 | 70.141 | 85.123 |



Slika 2. Nabavljena količina loživog ulja

Napomena:

Za proračun je uzeta vrijednost specifične gustoće loživog ulja $\rho = 835 \text{ kg/m}^3$. Vrijednost donje ogrjevne vrijednosti preuzeta iz [13] $H_d = 42,71 \text{ MJ/kg} = 11,86 \text{ kWh/kg}$ [8].

Na osnovi analize ispisa računa za loživo ulje lako, LUEL za razdoblje I/2011 – XII/2013, utvrđena je potrošnja loživog ulja, odnosno potrošnja toplinske energije te definirana referentna potrošnja loživog ulja kao prosjek potrošnje 2011-2013.

Ukupna referentna potrošnja za grijanje i PTV:

80.264,65 kg/god ili 96.125,33 l/god ili 951.938,76 kWh/god.

Tablica.3. Troškovi nabave loživog ulja u kn (s PDV-om)

| Godina / Mjesec | 2011 | 2012 | 2013 |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 89.871,12 | 87.145,50 kn | 84.873,75 |
| 2 | 89.882,60 | 89.886,70 kn | 87.213,75 |
| 3 | 95.122,67 | 91.893,75 kn | 87.330,31 |
| 4 | 61.635,30 | 95.411,09 kn | 84.360,24 |
| 5 | 61.161,53 | - | 61.205,86 |
| 6 | - | - | - |
| 7 | - | - | - |
| 8 | - | - | - |
| 9 | - | - | - |
| 10 | 82.361,17 | 92.153,75 | 84.742,74 |
| 11 | 65.841,90 | 90.709,79 | 64.992,83 |
| 12 | 67.447,96 | 41.219,37 | -111.219,38 |
| UKUPNO, kn (s PDV-om): | 613.324,25 | 588.419,94 | 665.938,85 |

Za proračun je uzeta vrijednost gustoće loživog ulja $\rho = 835 \text{ kg/m}^3$ a donja ogrjevna vrijednost preuzeta je iz [13] $H_d = 42,71 \text{ MJ/kg} = 11,86 \text{ kWh/kg}$.

Kako u ljetnim mjesecima (6,7,8 i 9 mj.) nema potrebe za grijanjem loživo ulje se isključivo koristi za zagrijavanje potrošne tople vode, u kuhinji, te glačanje i sušenje rublja, a na temelju ljetne potrošnje izvršena raspodjela referentne energije za grijanje i PTV što je prikazano u tablici 4.

Tablica 4. Raspodjela referentne potrošnje

| | lit. | kg | kWh |
|---------------|------------------|------------------|-------------------|
| Grijanje | 61.703,16 | 51.522,14 | 611.052,56 |
| PTV | 34.422,17 | 28.742,51 | 340.886,20 |
| Ukupno | 96.125,33 | 80.264,65 | 951.938,76 |

Na temelju odnosa grijanih površina, toplinskih karakteristika zgrada i stanja ogrjevnih tijela izvršeno je i modeliranje potrošnje energije za grijanje na pojedine objekte unutar kompleksa što je prikazano u tablici 5.

Tablica 5. Modelirana potrošnja za grijanje po zgradama

| Rb. | Naziv zgrade | Korisna površina $A_k \text{ (m}^2\text{)}$ | Prema ukupnoj površini (%) | Modelirana potrošnja (kWh/god) | Potrošnja (l) |
|----------------|------------------|---|----------------------------|--------------------------------|------------------|
| 1. | STACIONAR | 596,08 | 18,07% | 146.137,30 | 14.756,72 |
| 2. | PENZIONERI | 323,74 | 9,82% | 24.280,50 | 2.451,81 |
| 3. | NOVA ZGRADA | 2.099,40 | 63,65% | 349.962,12 | 35.338,64 |
| 4. | KANTINA | 59,00 | 1,79% | 17.931,11 | 1.810,66 |
| 5. | SAMOSTALNO STAN. | 79,10 | 2,40% | 21.655,09 | 2.186,70 |
| 6. | UPRAVA/VEŠ. | 140,80 | 4,27% | 51.086,44 | 5.158,63 |
| UKUPNO: | | 3.298,12 | 100,00% | 611.052,56 | 61.703,16 |

Za izračun troškovne bilance za referentnu godinu cijena loživog ulja uzeta je iz ispisa računa od 13.12.2013. godine od dobavljača. Tablica 6. daje strukturu i cijenu loživog ulja u (kn/l.)

Tablica 6. Struktura i cijena loživog ulja u (kn/l) za XII/2013.

| Rb. | Struktura | Trošak, kn/l (bez PDV) |
|-----|------------------------|------------------------|
| 1. | Loživo ulje extra lako | 5,456 |
| 2. | Popust | -0,257 |
| | UKUPNO: | 5,199 |

Ukupni troškovi za referentnu godinu iznose: $96.125,33 \text{ l} \times 5,199 \text{ kn/l} = 499.755,59 \text{ kn}$
U Suhopolju postoji plinska mreža te postoji mogućnost spajanja kotlovnica na istu. Za spajanje na plinsku mrežu potrebno je izvršiti sljedeće radove i nabaviti opremu a približni troškovi i radovi navedeni su u tablici 7.

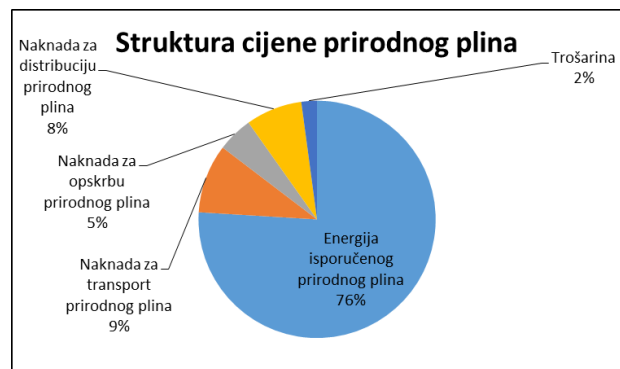
Tablica 7. Troškovi radova i opreme

| Rb. | Naziv | kom | Kn/kom | Ukupno |
|-----|-----------------------------|-----|----------------|-------------------|
| 1. | Troškovi priključka | 2 | 12.000,00 | 24.000,00 |
| 2. | Izrada projekta | 1 | 18.000,00 | 18.000,00 |
| 3. | Mjerno regulacijski set | 2 | 6.000,00 | 12.000,00 |
| 4. | Plinska rampa (uz plamenik) | 3 | 3.500,00 | 10.500,00 |
| 5. | Plamenik | 2 | 12.000,00 | 24.000,00 |
| 6. | Podešavanje plamenika | 3 | 2.000,00 | 6.000,00 |
| 7. | Procijenjeni ostali radovi | | | 15.000,00 |
| | | | Ukupno: | 109.500,00 |

Za izračun potrošnje plina u kWh uzeta je standardna ogrjevna vrijednost $1 \text{ m}^3 = 9,733333 \text{ kWh}$ troškovne bilance za referentnu godinu, cijena plina uzeta je iz računa izdanog 31.12.2013. od dobavljača što je dato u tablici 8, dok slika 3. prikazuje strukturu cijene prirodnog plina.

Tablica 8. Struktura cijene prirodnog plina

| Opis stavke | Kn/kWh |
|---|-----------------|
| 1. Energija isporučenog prirodnog plina | 0,288315 |
| 2. Naknada za transport prirodnog plina | 0,035634 |
| 3. Naknada za opskrbu prirodnog plina | 0,018357 |
| 4. Naknada za distribuciju prirodnog plina | 0,029155 |
| 5. Trošarina | 0,00810 |
| Ukupno: | 0,379561 |
| Fiksna mjesečna naknada (T_{s2}), kn/mj | 16,50 |



Slika 3. Struktura cijene prirodnog plina

Cijena plina: $1 \text{ kWh} = 0,379561 \text{ kn}$ - bez PDV-a.

Fiksni troškovi po priključnom mjestu: $16,50 \text{ kn/mj}$ - bez PDV-a

Za potrebe grijanja i PTV objekta u Suhopolju, utroši se ukupno (referentna potrošnja):
 $951.938,76 \text{ kWh/god}$

Troškovi plina bez fiksnih troškova iznose:

$951.938,76 \text{ kWh/god} \times 0,379561 \text{ kn/kWh} = 361.318,83 \text{ kn/god}$

4. Procijenjena ušteda i razdoblje povrata investicije prelaskom na plin

Ušteda je procijenjena za istu godišnju potrebnu energiju u kWh/god:

Ušteda u novcu N :

$N = (\text{troškovi lož ulja} - \text{troškovi plina})$

$$N = 499.755,59 - 361.318,83 = 138.436,76 \text{ kn/god}$$

Smanjenje emisije CO₂:

Emisija CO₂ korištenjem loživog ulja: $EM_L = \text{Referentna potrošnja} \times \text{Faktor emisije CO}_2$

$$EM_L = 951.938,76 \times 0,264 = 251,31 \text{ t/god}$$

gdje je:

- 0,264 – Faktor emisije CO₂ po energetskej jedinici goriva – loživo ulje ekstra lako (kgCO₂/kWh), [13]

Emisija CO₂ korištenjem prirodnog plina:

$$EM_P = \text{Referentna potrošnja} \times \text{Faktor emisije CO}_2$$

gdje je:

- 0,201 – Faktor emisije CO₂ po energetskej jedinici goriva – prirodni plin (kgCO₂/kWh), [13]

$$EM_P = 951.938,76 \times 0,201 = 191,34 \text{ t/god}$$

Smanjenje emisije CO₂:

$$EM_S = EM_L - EM_P = 251,31 - 191,34 = 59,97 \text{ tona CO}_2/\text{god}$$

Jednostavno razdoblje povrata investicije iznosi:

$$JPP = I / N [\text{god}] = 109.500,00 / 138.436,76 = 0,80 \text{ god.}$$

gdje je:

- JPP = jednostavni period povrata ulaganja izražen u godinama,
- I = potrebna ulaganja za realizaciju predložene mjere izražena u kunama i
- N = novčane dobiti koje su posljedica realizacije predložene mjere izražene u kn/god.

Tablica 9. daje rekapitulaciju očekivanih efekata.

Tablica 9. Rekapitulacija očekivanih efekata

| Opis | Investicija kn | Procijenjena ušteda | | JPP god | Smanjenje emisije CO ₂ t/god |
|---|-------------------|---------------------|------------|------------|---|
| | | kWh/god | kn/god | | |
| Zamjena energenta (loživog ulja sa plinom) | 109.500,00 | - | 138.436,76 | 0,80 | 59,97 |

5. Zaključak

Kako je navedeno u Master planu energetske učinkovitosti za Republiku Hrvatsku stambeni sektor nudi velike mogućnosti za poboljšanje energetske učinkovitosti. Problem se javlja u tome što je određenu grupu ljudi potrebno informirati o njihovim mogućnostima izbora energetske učinkovite mjere i količini potrošene energije. Informativni izračuni pokazali su se kao vrlo učinkovita mjera kao instrument za informiranje o potrošnji energije i njezinoj uštedi.

Smisao je da se na brz i elegantan način dobiju informacije koje su ključne i bitne da se počne razmišljati o uštedi energije. Kada se kaže ušteda energije podrazumijeva se da se

pokrene svijest i način razmišljanja kako i na koji način štedjeti energiju tj. ulagati u uređaje i opremu koji štede energiju, dali u samoj proizvodnji, zaštiti ili prijenosu energije.

6. Literatura

- [1] Rockwool® ASPO Newsletter, May 2008.
- [2] North American Insulation Manufacturers Association, "Energy Efficiency Through Insulation: The Impact on Global Climate Change", Geneva, 1996.
- [3] Ueno, T., Inada, R., Saeki, O., Tsuji, K., "Effectiveness of an energy-consumption information system for residential buildings", *Applied Energy*, 83, 2006, pp. 868–883
- [4] Ueno, T., Sano, F., Saeki, O., Tsuji, K., "Effectiveness of an energy-consumption information system on energy savings in residential houses based on monitored data", *Applied Energy*, 83, 2006, pp. 166–183.
- [5] Herring, H., "Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences", *Applied Energy*, 63, 1999, pp. 209-226.
- [6] Farreny, R., Gabarrell, X., Rieradevall, J., "Energy intensity and greenhouse gas emission of a purchase in the retail park service sector: An integrative approach", *Energy Policy*, 36, 2008, pp. 1957–1968.
- [7] Coleya, D.A., Schukat, S., "Low-energy design: combining computer-based optimisation and human Judgement", *Building and Environment*, 37, 2002, pp. 1241 – 1247.
- [8] Kjärstad, J., FilipJohnsson, F., "Resources and future supply of oil", *Energy Policy*, 37, 2009, pp. 441–464.
- [9] Edenhofer, O., Jaeger C., "Power shifts: the dynamics of energy efficiency", *Energy Economics*, 20, 1998, pp. 513-537.
- [10] Patlitzianas K.D., Pappa, A., Psarras, J. "An information decision support system towards the formulation of a modern energy companies' environment", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 2008, pp. 790–806.
- [11] Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A., Corominas, J., "Evaluation of renewable energy potential using a gis decision support system", *Renewable Energy*, Vol. 13, No. 3, 1998, pp. 333 344.
- [12] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 97/2014)
- [13] Metodologija provođenja energetskeg pregleda građevina, Zagreb, lipanj 2014.

Sklopovi energetske elektronike za priključak gorivnih ćelija i trošila

Power electronic converters for the integration fuel cells and loads

D. Pelin^{1,*}, L. Rončević¹

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

*Autor za korespondenciju, E-mail: pelin@etfos.hr

Sažetak

U radu je opisano povezivanje gorivnih ćelija s elektroničkim trošilima pomoću sklopova energetske elektronike. Navedene su opće karakteristike najčešće primjenjivanih gorivnih ćelija u proizvodnji električne energije (PEM- gorivne ćelije). Također su na osnovu strujno-naponske karakteristike PEM- gorivne ćelije predloženi energetske pretvarači za povezivanje PEM- gorivnih ćelija i istosmjernih odnosno izmjeničnih trošila. Pri tome su korištena osnovna znanja iz energetske elektronike u smislu poznavanja topologija elektroničkih energetske pretvarača i pretvaračkih komponenata.

Ključne riječi: gorivna ćelija, energetske elektroničke pretvarači, trošila, povezivanje.

Abstract

In this paper integration fuel cells and electronic loads is described by using power electronic converters. The power electronic converters for integration PEM fuel cells and DC or AC loads are suggested regarding current-voltage characteristic of the PEM fuel cell. The basic knowledge about power electronic within the meaning of converter topology and converter components was used.

1. Uvod

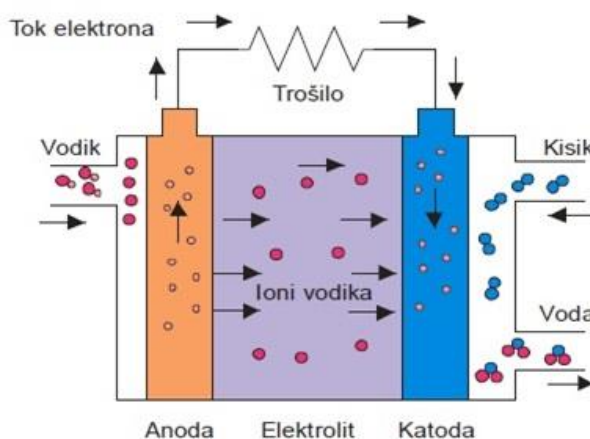
Gorivne ćelije ili gorivni članci (*eng. fuel cells, njem. Brennstoffzellen*) su elektrokemijski uređaji koji kemijsku energiju goriva izravno, bez pokretnih dijelova i izgaranja, pretvaraju u električnu (i toplinsku) energiju. Valja još spomenuti kako se u literaturi mogu naći i pod nazivom: gorivi elementi [1].

Gorivne ćelije proizvode električnu energiju direktno pretvarajući kemijsku energiju povezanu s oksidacijom goriva. Pošto nema reakcije izgaranja u ovim procesima, gorivne ćelije ne proizvode neželjene proizvode, koji su normalno povezani s oksidacijom fosilnih goriva u konvencionalnim sustavima pri proizvodnji električne energije, kao što su emisije CO₂ i SO₂, te oksidi dušika. Zbog toga su gorivne ćelije smatraju ekološki prijateljskima, tj. ekološki prihvatljivima [2].

Po svome su načelu rada gorivne ćelije slične baterijama, ali za razliku od njih, gorivne ćelije zahtijevaju stalan dovod goriva i kisika. Pri tome gorivo može biti vodik, sintetski plin (smjesa vodika i ugljičnog dioksida), prirodni plin ili metanol [3], a produkti njihove reakcije s kisikom su voda, električna struja i toplina, pri čemu je cijeli proces, zapravo, suprotan procesu elektrolize vode.

2. Opće karakteristike gorivnih ćelija

Promotrene su pojave u gorivnoj ćeliji u koju se dovodi vodik kao gorivo, a kisik kao oksidacijsko sredstvo, pri čemu se vodik dovodi anodi, a kisik katodi, slika 1. Kemijska reakcija kojom se proizvodi električna energija odvija se na elektrodama. Atomi vodika ulaze u gorivu ćeliju na anodi, gdje im se kemijskom reakcijom odvajaju elektroni. Negativno nabijeni elektroni se prenose preko vodiča do trošila tvoreći tako strujni krug. Atom vodika je time ioniziran i nosi pozitivni električki naboj. Kisik ulazi u gorivnu ćeliju na katodi i tamo se spaja sa elektronima iz strujnog kruga i vodikovim ionima koji se kreću kroz elektrolit iz smjera anode. Bilo da se spajaju na katodi ili anodi, zajedno, vodik i kisik formiraju vodu, koja se odvodi iz gorivne ćelije.



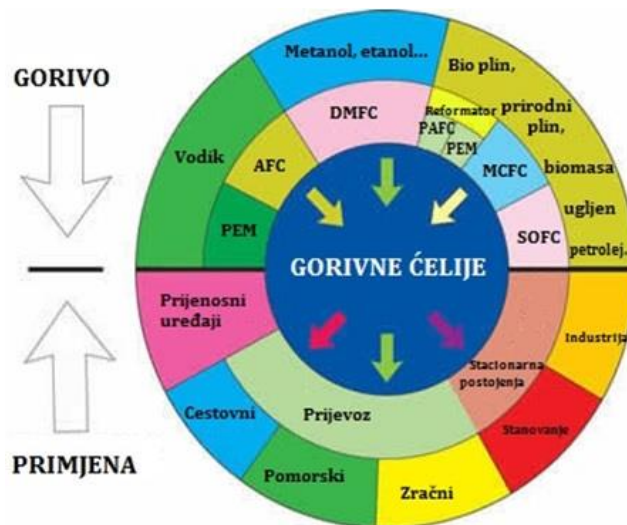
Slika 1. Princip rada gorivne ćelije

Elektrolit gorivne ćelije može biti tekući ili čvrsti. Tekući elektroliti su tekućine koje otapaju ionske kristale ili rastopljive soli. Kao čvrsti elektroliti koriste se membrane građene od polimera ili od nikal-borida i bor-nitrida. Vodikova gorivna ćelija je napona iznosa samo oko 1 V [4]. Da bi se dobila veća snaga, stotine ovakvih gorivnih ćelija se spajaju paralelno i/ili serijski tako da čine više gorivnih ćelija u jednoj kako bi se postiglo potrebno strujno i/ili naponsko opterećenje gorivne ćelije. Stupanj djelovanja današnjih gorivnih ćelija kreće se od 50 do 90 % [5-6], a budući da nema rotacijskih dijelova, gorivne ćelije pri proizvodnji električne energije ne proizvode buku za razliku od agregata.

Prema vrsti elektrolita, gorivne ćelije se dijele na gorivne ćelije:

- s alkalnim elektrolitom (A),
- s rastaljenim karbonatima kao elektrolitom (MC),
- s fosfornom kiselinom (PA),
- s polimernom membranom kao elektrolitom (PEM),
- s čvrstim oksidima kao elektrolitom (SO).

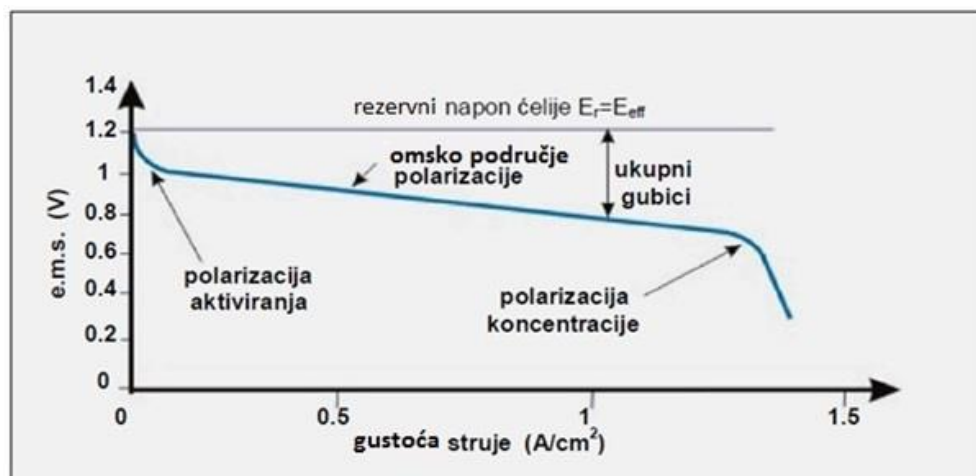
Razvoj gorivnih ćelija s polimernom membranom kao elektrolitom (PEM-gorivne ćelije) značajno se istražuje u zadnjem desetljeću zbog široke primjene ovog tipa gorivne ćelije pri instaliranju elektrana za proizvodnju toplinske i električne energije; kogeneracija [1], ali i pri primjenama u specifičnim okruženjima kao što su svemirski ili podvodni programi, pa sve do rapidno rastućeg područja- napajanja električnih vozila [5]. Stoga je opravdano smatrati PEM- gorivne ćelije najprimjenjivijom vrstom gorivnih ćelija, s obzirom na vrstu goriva i primjenu, slika 2., a posebice se to odnosi na izradu sklopova za napajanje elektromobila.



Slika 2. Pregled vrsti gorivnih ćelija s obzirom na gorivo i primjenu

3. PEM gorivna ćelija

Za PEM- gorivne ćelije postoje tri vrste polarizacije kada se promatraju procesi koji nastaju kemijskim reakcijama prema slici 1. To su polarizacija aktiviranja, omska polarizacija i polarizacija koncentracije. Polarizacijska karakteristika upravo predstavlja stujno-naponsku karakteristiku gorivnih ćelija prikazanu na slici 3.



Slika 3. Strujno-naponska karakteristika PEM- gorivne ćelije

Polarizacija aktiviranja (startna reakcija) jest reakcija potrebna da se uopće savlada energetski prag aktivacije kemijskog procesa. Omska polarizacija predstavlja daljnji pad elektromotorne sile gorivne ćelije (e.m.s) uslijed otpornosti elektrolita prema prolasku iona, te otpornosti elektroda prema prolasku elektrona kroz njih. Omski gubici se mogu smanjiti upotrebom tankih protonskih membrana. Polarizacija koncentracije vezana je za transport goriva i oksidacijskog sredstva koji sudjeluju u reakcijama na elektrodama, odnosno posljedica je neuravnoteženosti brzine pristizanja goriva s jedne strane, sa oslobađanjem električne energije na strani trošila s druge strane [7]. Ukoliko se radna točka gorivne ćelije drži u omskom području polarizacije, tada se gorivna ćelija može smatrati istosmjernim naponskim izvorom. Napon gorivne ćelije ovisit će o tome koliki je broj gorivnih ćelija

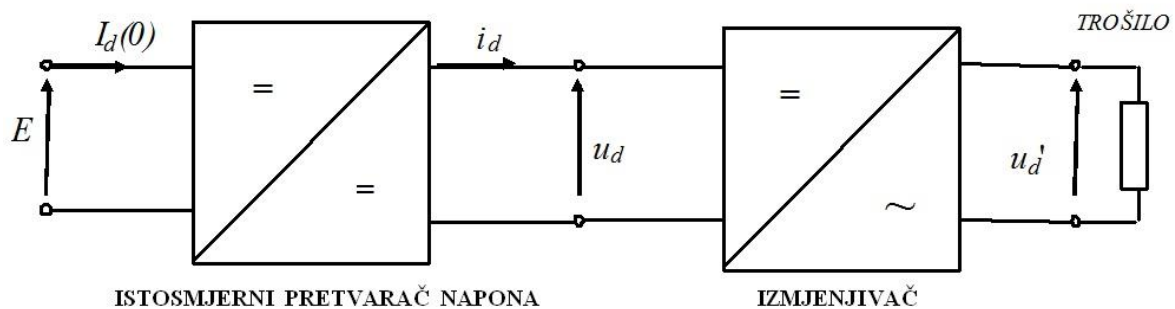
povezan u seriju, a maksimalna struja koju takav izvor može osigurati ovisit će o broju tako vezanih paralelnih kombinacija.

4. Sklopovi energetske elektronike za povezivanje gorivnih ćelija i trošila

Sklopovi energetske elektronike, tj. energetske pretvarači trebaju prilagoditi karakteristike gorivne ćelije trošilima. Ako se izuzmu posebne primjene, kao što su svemirski i podvodni programi gdje se gorivne ćelije koriste za elektronička napajanja, najveći broj trošila je ipak izmjeničan. Tipični primjeri su sva trošila u kućanstvu, te u industriji izmjenični motori i transformatori gdje je frekvencija rada 50 Hz ili 60 Hz. Budući da sklopovi energetske elektronike trebaju prilagoditi karakteristike istosmjernog naponskog izvora (gorivne ćelije) karakteristikama izmjeničnog trošila, postoje dvije tehničke realizacije spajanja gorivnih ćelija na izmjenična trošila.

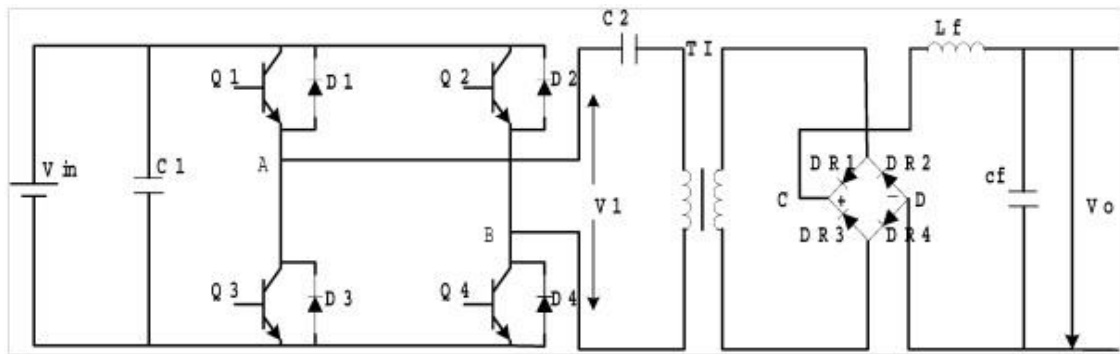
4.1. Kaskadni spoj istosmjernog pretvarača napona i izmjenjivača

Za gorivne ćelije manjih napona (naponi manji od 100 V) prvo se ulazni napon podiže na veću vrijednost zbog čega se na ulazu sklopa, tj. na gorivnu ćeliju spaja istosmjerni pretvarač napona, a zatim se na izlaz istosmjernog pretvarača napona spaja izmjenjivač, slika 4..Takav način spajanja dva energetska pretvarača naziva se kaskadni spoj.



Slika 4. Kaskadni spoj istosmjernog pretvarača napona i izmjenjivača

Postoji više topologija istosmjernih pretvarača napona, kao i izmjenjivača. Odabir elektroničkog energetske pretvarača za povezivanje gorivnih ćelija i izmjeničnih trošila diktiraju parametri kao što su: cijena pretvarača, stupanj djelovanja procesa pretvorbe, galvanska odvojivost, masa pretvarača. Ako se s obzirom na primjenu zahtjeva galvansko odvajanje, tada se istosmjerni pretvarač napona izvodi kao neizravni s galvanskim odvajanjem. Tipična izvedba je zaporni pretvarač (eng. *fly-back*) [8]. Ukoliko se ne zahtijeva galvansko odvajanje, napon gorivne ćelije podiže se uzlaznim pretvaračem (eng. *boost converter*) [8]. Ovo je slučaj kada trošilu treba osigurati struju samo jednog smjera i napon jednog polariteta, tzv. jednokvadrantna trošila s obzirom na njihovu strujno-naponsku karakteristiku. U slučaju motornih trošila treba osigurati sva četiri kvadranta u radu trošila, pa je najčešće korišten energetske elektronički pretvarač u primjenama s gorivnim ćelijama, četverokvadrantni istosmjerni pretvarač napona pulsno-širinski upravljani (eng. *PWM*), slika 5., [9]. Energetski dio četverokvadrantnog istosmjernog pretvarača napona čine ventili Q1-Q4 i DR1-DR4. U kaskadu je spojen ispravljač izveden u jednofaznom neupravljivom mosnom spoju, (ventili DR1-DR4) [8]. Kako bi se ulazni napon ispravljača prilagodio tipičnim vrijednostima trošila, između dva energetska pretvarača spaja se transformator, T1. Ovaj spoj zahtjeva priključak istosmjernih trošila, no isto tako može biti ulazni dio svakom izmjenjivaču, u ovisnosti o tome da li primjena zahtjeva strujni ili naponski izmjenjivač neposredno spojen na izmjenično trošilo. Najčešće primjenjivani izmjenjivači za spoj s gorivnim ćelijama opisani su u sljedećem podpoglavlju.

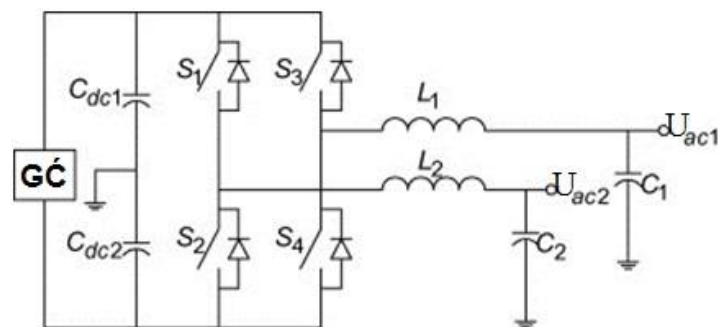


Slika 5. Izvedba kaskadnog spoja za napajanje istosmjernih trošila ili prvog dijela kaskadnog spoja za napajanje izmjeničnih trošila

Stanje napona na izlazu četvorokvadrantnog pretvarača napona određeno je načinom upravljanja ventilima Q1-Q4, tzv. algoritmom upravljanja [8], koji se u pravilu izvodi preko mikroprocesorske jedinice. Prednost ovakve izvedbe ulaznog dijela kaskadnog spoja je visok stupanj djelovanja (94-98%), komunikacija s računalom za upravljanje ventilima Q1-Q4, velika brzina odziva centralne procesorske jedinice za upravljanje u odnosu na promjenu opterećenja.

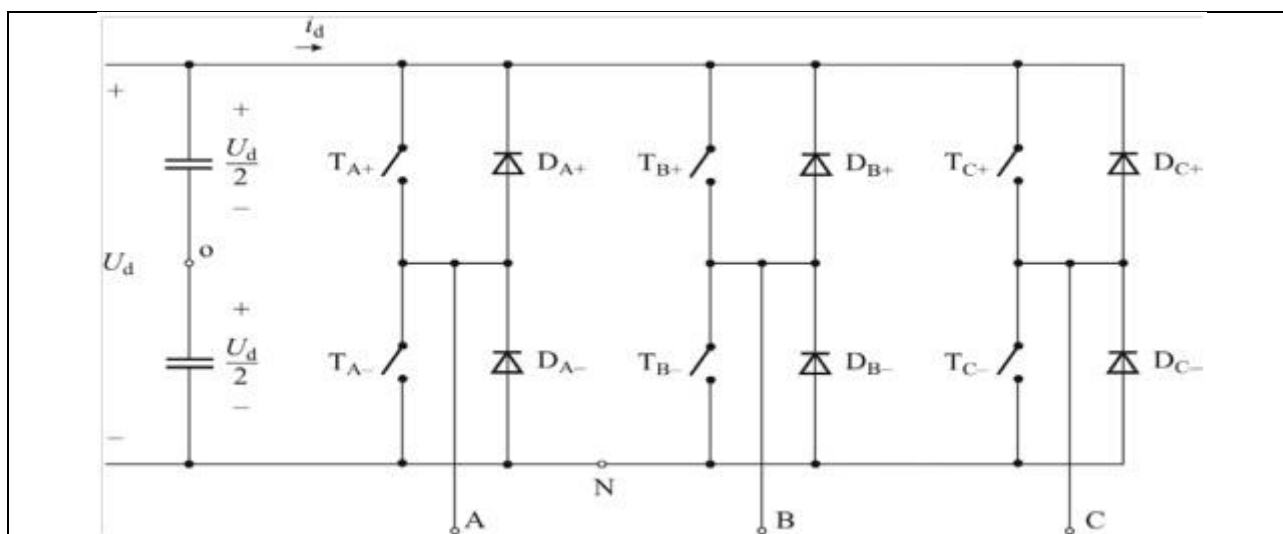
4.2. Direktni spoj gorivne ćelije i trošila preko izmjenjivača

Razvoj i odabir topologije izmjenjivača baziran je na njihovim radnim karakteristikama u radnim uvjetima. Najefikasnije je koristiti najjednostavniju topologiju, zato jer ima najmanji broj komponenti, jednostavno upravljanje i najmanju cijenu. To je izvedba nezavisnog ili autonomnog naponskog jednofaznog izmjenjivača u mosnom spoju prikazana na slici 6. Mana takvog izmjenjivača je ograničenost upravljanja i ograničenje samo za jednofazna trošila [9].



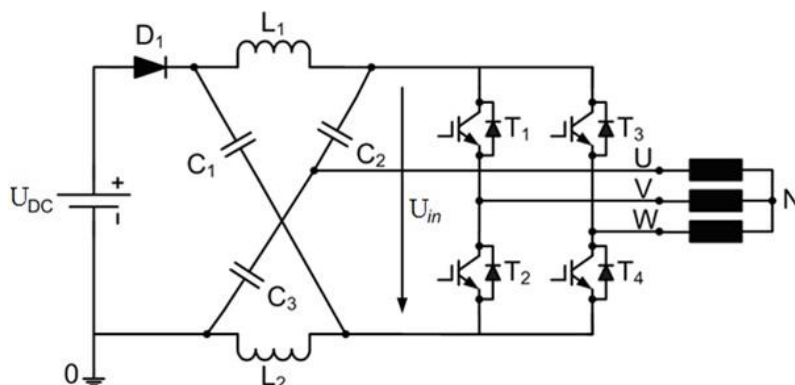
Slika 6. Izvedba jednofaznog izmjenjivača

Trofazni autonomni naponski izmjenjivač u mosnom spoju prikazan na slici 7. Koristi se za trošila srednje i velike snage. Upravljanje je pulsno-širinsko. Nedostatak trofaznog autonomnog naponskog izmjenjivača je veći broj komponenti, te kompliciraniji upravljački krugovi, što u konačnici rezultira većom cijenom.



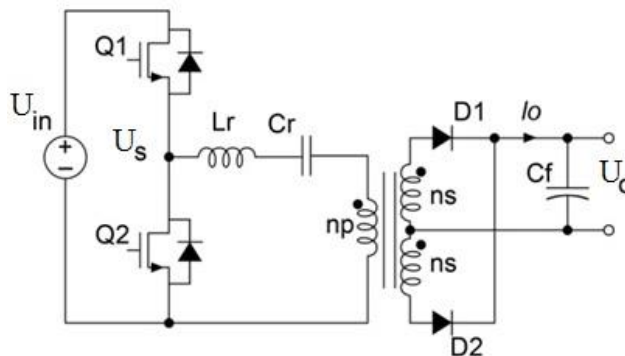
Slika 7. Izvedba trofaznog izmjenjivača

U primjenama za trofazna trošila napajana iz PEM- gorivne ćelije kada se zahtjeva veći stupanj djelovanja, koristi se topologija Z izmjenjivača, [9] koja je prikazana na slici 8.



Slika 8. Izvedba Z- izmjenjivača s povećanim stupnjem djelovanja

U primjenama kada se zahtjeva galvanska odvojenost trošila i gorivne ćelije koristi se tzv. LLC rezonantni izmjenjivač, [9] slika 9.



Slika 9. Izvedba LLC rezonantnog izmjenjivača

U tablici 1. dana je usporedba navedenih izmjenjivača za direktno spajanje gorivnih ćelija i trošila.

Tablica 1. Usporedba topologija izmjenjivača za direktno spajanje gorivnih ćelija i trošila

| Topologija | Galvanska odvojivost | Stupanj djelovanja | Prednosti | Mane |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|---|---|
| Autonomni jednofazni izmjenjivač | Ne | 95% | Pouzdanost i fleksibilnost | Trošila manje snage |
| Autonomni trofazni izmjenjivač | Ne | 95% | Trošila veće snage | Kompleksno upravljanje, veća cijena |
| Z- izmjenjivač | Ne | 98% | Povećani stupanj djelovanja, povećani napon | Velike struje uključenja |
| LLCC rezonantni izmjenjivač | Da | 95% | Jednostavno upravljanje ef.vrijednošću napona | Područje malih snaga, veliki obujam reaktivnih komponenti |

5. Zaključak

Gorivne ćelije su obećavajuća tehnologija zbog visokog stupnja djelovanja, nezagađivanja okoliša i ne stvaranja buke pri pretvorbi kemijske energije u električnu.

Da bi se istosmjerne karakteristike gorivnih ćelije prilagodile karakteristikama trošila, povezivanje gorivnih ćelija i trošila se mora izvesti preko sklopova energetske elektronike. Najprimjenjiviji način povezivanja PEM- gorivnih ćelija i istosmjernih trošila je pomoću kaskadnog spoja četverokvadrantnog istosmjernog pretvarača napona i jednofaznog ispravljača u neupravljivom mosnom spoju. Na ovaj način postignut je brz odziv na promjene opterećenja i visok stupanj djelovanja procesa pretvorbe.

Za povezivanje gorivnih ćelija i jednofaznih trošila preporučuje se jednofazni autonomni naponski izmjenjivač u mosnom spoju, a za trofazna trošila trofazni autonomni naponski izmjenjivač u mosnom spoju, te Z-izmjenjivač kad se zahtjeva povećani stupanj djelovanja. Ukoliko se zahtjeva galvansko odvajanje treba koristiti LLCC izmjenjivač.

Sklopovi energetske elektronike osiguravaju visok stupanj djelovanja procesa pretvorbe. Upravljački krugovi energetskih, elektroničkih pretvarača izvedeni mikroprocesorskim jedinicama, ali i integriranim krugovima osiguravaju brz odziv za gorivne ćelije kako bi se pratili zahtjevi trošila.

6. Literatura

- [1] Denis Pelin, Marinko Stojkov, Damir Šljivac, Hrvoje Glavaš: Primjena gorivnih ćelija u proizvodnji električne energije i topline. *Zbornik radova : Plin 2011; 9. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi; 2. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi*, 2011.(rad u zborniku)
- [2] *Fuel Cell Handbook*, Department of Energy, Office and Fossil Energy, Federal Energy Technology Center, Morgantown, West Virginia, 2004.(knjiga)
- [3] Fuels for Fuel Cells; National Fuel Cell Research Center Irvine, California 2013.; http://www.nfcrcc.uci.edu/3/FUEL_CELL_INFORMATION/FCexplained/Fuels.aspx, pristup adresi 31.07.2014:
- [4] J.H.Hirschenhofer, D.B.Stauffer, R.R.Engleman, and M.G Klett, *Fuel Cell Handbook*; Department of Energy, Office and Fossil Energy, Federal Energy Technology Center, Morgantown, West Virginia, 1998. (knjiga)
- [5] Supramaniam Srinivasan, Omourtag A.Velev, Arvind Parthasarathy, David J.Manko, A.John Appleby: High energy efficiency and high power density proton exchange

membrane fuel cells-electrode kinetics and mass transport; *Journal of Power Sources*; vol. 36., Issue 3, 1. December 1991. p.p 299-320, (rad u časopisu).

- [6] F.Barbir, J.Shailendra: Efficiency and economics of proton exchange membrane (PEM) fuel cells; *International Journal of Hydrogen Energy*; vol. 21., Issue 10, p.p 891-901, October 1996. (rad u časopisu).
- [7] A.Krubakaran, J.Shailendra , R.K.Nema: A review on fuel cell technologies and power electronic interface ; *Renewable and sustainable energy reviews*, Volume 13, Issue 9, p.p 2430-2440, December 2009. (rad u časopisu).
- [8] Ivan Flegar; *Elektronički energetska pretvarači*, KIGEN, Zagreb, 2010. (knjiga)
- [9] Haiping Xu, Li Kong, Xuhui Wen: Fuel cell power system and high power DC-DC converter ; *IEEE Transactions on Power Electronics*, Volume 19, No-5, September 2004. (rad u časopisu).

Izbor metoda pročišćavanja otpadnih voda *Waste water purifying method selection*

A. Sutlović^{1,*}, M. Vitez¹, P. Prosenica²

¹Tekstilno-tehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

²Visoka škola za sigurnost, Zagreb, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: ana.sutlovic@tff.hr

Sažetak

U radu su opisani fizikalni, kemijski, fizikalno-kemijski i biološki postupci pročišćavanja otpadnih voda, istaknute su prednosti i nedostaci pojedinih metoda u ovisnosti o primjeni odnosno onečišćenju otpadnih voda. Najbolji učinci pročišćavanja postižu se kombiniranjem metoda. Osim toga, kombiniranjem metoda može se utjecati na definiranu kvalitetu vode s ciljem ispuštanja ili ponovnog korištenja u tehnološkim procesima. Naglasak je dan na pročišćavanje otpadnih voda biološkim postupkom primjenom Wetland sustava koji nalazi sve veću primjenu u Hrvatskoj. Navedena problematika pročišćavanja i analize otpadnih voda prikazana je na primjeru otpadnih voda tekstilne industrije koja se ubraja među najveće potrošače i onečišćivače vode.

Ključne riječi: otpadne vode, pročišćavanje otpadnih voda, analiza zagađenja vode, tekstilna industrija.

Abstract

The Paper describes the physical, chemical, physico-chemical and biological methods of waste water purifying, underlining the advantages and disadvantages of different methods depending on the application or the pollution of wastewater. The best effects are achieved by combining purification methods. In addition the combination of methods may be defined to affect the quality of water in order to discharge or reuse of the technological processes. Emphasis is given to the biological wastewater treatment process using the Constructed Wetland system that is increasingly used in Croatia. The above problems purification and analysis of wastewater is shown in the example waste water of textile industry, which is among the largest consumers and polluters of water.

1. Uvod

Tijekom 20. stoljeća došlo je do razvoja globalne svijesti o međusobnoj ovisnosti zaštite okoliša i razvoja društva što je rezultiralo intenzivnim razvojem ekologije kao znanosti i ostvarenjem programa održivog razvoja. 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 [1, 2].

2. Metode pročišćavanja otpadnih voda

Danas se primjenjuje veliki broj fizikalnih, kemijskih, fizikalno-kemijskih i bioloških metoda za pročišćavanje otpadnih voda (tab. 1). Njihov izbor i učinkovitost ovisi o vrsti onečišćenja, ali je ekonomska opravdanost najčešće kritičan faktor u primjeni pojedine metode [1-5]. U Hrvatskoj se pročišćava manje od ¼ ukupne količine otpadnih voda, a da bi se sačuvao ekosustav i rijeke od degradacije, trebalo bi postići stupanj pročišćavanja od najmanje 80%. Nestašica vode ili njena zagađenost uzrok je mnogim bolestima (oko 80% svih bolesti u nerazvijenim zemljama). Hrvatska, u odnosu na zapadnoeuropske zemlje, još uvijek obiluje kvalitetnom vodom koja se mora sačuvati od onečišćenja jer je uvjet opstanka budućih generacija [1].

Tablica 1. Metode pročišćavanja otpadnih voda

| Fizikalne metode | Kemijske metode | Fizikalno-kemijske metode | Biološke metode |
|--|---|---|--|
| Taloženje Filtracija Termička obrada Adsorpcija Smrzavanje | Neutralizacija Ionska izmjena Oksidacija Redukcija Katalitička razgradnja | Koagulacija / flokulacija Aeracija Filtracija aktivnim ugljenom Obrada pjenom Ekstrakcija Spaljivanje Osmoza Elektroliza | Aerobna razgradnja Razgradnja pomoću aktivnog mulja Anaerobna razgradnja Razgradnja s pomoću gljivica |

2.1. Otpadne vode tekstilne industrije

Industrija oplemenjivanja tekstila (odškobljavanje tekstila, iskuhavanje, bijeljenje, bojadisanjenje, tisak i dr.) ubraja se među najveće potrošače i onečišćivače vode. 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 [1-5].

Otpadne vode bojadisaona npr. sadrže bojila različitih kemijskih struktura, ali i mnoge druge spojeve: dispergatore, egalizatore, keriere, elektrolit, kiseline, alkalije, teške metale i dr. Sadržani u tekstilnim materijalima, vodi, zraku i dr. ti spojevi i njihovi razgradni produkti mogu štetno djelovati na tehnološke procese, ali i na zdravlje ljudi. U cilju osiguravanja humano-ekološke pouzdanosti kvalitete kemijskih proizvoda, a time i čistoće otpadnih voda, zakonskim odredbama ograničena je upotreba toksičnih bojila, bojila čiji su razgradni produkti kancerogeni i drugih kemikalija koje se koriste u tekstilnom oplemenjivanju. Osim toga propisani su parametri koje moraju zadovoljavati otpadne vode nakon procesa pročišćavanja i recikliranja (ponovne upotrebe u tehnološkom procesu) ili ispuštanja u vodotokove. Sve stroži zahtjevi na bojila postavljeni obzirom na postojanost na svjetlo, pranje, kemijsko čišćenje tj. na jačinu veze s kemijskim supstratom rezultirali su pozitivnim utjecajem na smanjenje bojila u otpadnim vodama nakon procesa bojadisanja i ispiranja [1-5].

2.2. Analiza vode

Analiza zagađenja vode obuhvaća fizička, kemijska, biološka, mikrobiološka, toksikološka, radiološka i druga ispitivanja na temelju kojih se može zaključiti je li voda pogodna za upotrebu (tab. 2). Od fizičkih svojstava određuju se temperatura, boja, mutnoća, gustoća i druge osobine, a kemijska analiza daje podatke o sadržaju anorganskih i organskih spojeva u vodi. Glavni pokazatelji karakteristika otpadnih voda su BPK₅ (biokemijska potrošnja kisika), KPK (kemijska potrošnja kisika), TOC (ukupan organski ugljik), AOX (apsorbirani organski halogenidi), sadržaj teških metala, pH i dr.

Tablica 2. Najčešći parametri analize otpadnih voda tekstilne industrije

| Parametar analize | Norma | Jedinice | Granične vrijednosti za industriju oplemenjivanja tekstila |
|-------------------|----------------------|-----------------------|--|
| Izgled / boja | HRN EN ISO 7887:2001 | | bistra / bez boje |
| Temperatura | standardne metode | °C | 30 |
| Vodljivost | HRN EN 27888 | mS/cm | nije propisano normom |
| pH vrijednost | HRN ISO 10523:1998 | | 6,5 – 9,0 |
| Isparni ostatak | HRN ISO 3696 | mg/l | |
| Ukupni fosfor | HACH metoda 8190 | mg/l P | 1,0 |
| KPK | HRN ISO 6060:2003 | mg O ₂ / l | 200 |
| BPK ₅ | HRN EN 1899-2:2004 | mg O ₂ / l | 30 |
| TOC | HRN ISO 8245 | mg C / l | 60 |
| AOX | HRN EN 1485:2002 | mg Cl / l | 0,5 |

3. Pročišćavanje otpadnih voda bojadisaona

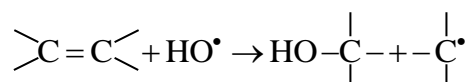
Obzirom na heterogenost otpadnih voda bojadisaona (odjeljak 2.1) najbolji učinci pročišćavanja postižu se kombiniranjem metoda. Pročišćavanjem otpadnih voda u fazama tj. kombiniranjem različitih metoda može se postići zadovoljavajući stupanj pročišćavanja uz optimirane troškove pročišćavanja i održavanja sustava.

3.1. Pročišćavanje otpadnih voda Fenton reagensom

Pročišćavanje otpadnih voda Fenton reagensom temelji se na kemijskom procesu katalitičke razgradnje. Reakcijom vodikovog peroksida i željezo(II) sulfata u kiselom mediju (pH 3) dolazi do oslobađanja hidroksi radikala koji učinkovito oksidira većinu organskih spojeva [3, 4].

Razgradnja kromogena (obojenog dijela molekule):

Adicijske reakcije: $\text{ArH} + \text{HO}^\bullet \rightarrow \text{HO} - \text{ArH}^+$



Oksidacijska reakcija: $\text{ArH} + \text{HO}^\bullet \rightarrow \text{HO}^- + \text{ArH}^+$

Prednosti ove metode su dobro obezbojavanje topivih i netopivih bojila. Međutim nedostatak je stvaranje velike količine taloga moguća toksičnost razgradnih bezbojnih spojeva [3, 4].

3.2. Pročišćavanje otpadnih voda koagulacijom i flokulacijom

Otpadne obojene vode su koloidne suspenzije negativno nabijenih čestica promjera 5 do 200 nm koje obzirom na svoj karakter uspješno uklanjaju postupkom koagulacije i

flokulacije [1]. Koagulacija je proces prevođenja koloidnih suspenzija u topive ili slabo topive produkte koji se mogu odvojiti filtracijom. Najučinkovitiji način koagulacije je povećanje količine elektrolita u otopini. Ako se u koloidnu suspenziju doda odgovarajući ionski spoj, u blizini svake čestice povećava se koncentracija suprotno nabijenih iona. Posljedica dodatka elektrolita je sabijanje sloja suprotno nabijenih iona tj. smanjenje ζ -potencijala, približavanja čestica, njihova agregacija, koagulacija i taloženje. Ubrzavanje procesa koagulacije i taloženja može se povećati dodatkom flokulanata – katalizatora koagulacije [1]. Učinkovitost koagulacije je u korelaciji s nabojem koagulanata i flokulanta. Što je njihov naboj veći to je koagulacija bolja.

U praksi se najčešće koriste kombinacije anionskog polielektrolita kao koagulant i kationskog kao flokulanta. Pri tome anionski koagulant snižava ζ -potencijal čestica bojila i omogućava stvaranje flokula, a kationski flokulant djeluje kao katalizator jer realizira brzo vezanje flokula u čvrstu grudicu. Njihovo doziranje se uvijek mora optimizirati za konkretne uvjete. Da bi došlo do učinkovitog obezbojavanja koagulant često treba predozirati pri čemu dolazi do opasnosti da suvišak polielektrolita dođe u vodu koja će se reciklirati. Ovaj problem uspješno se rješava se filtracijom kroz aktivni ugljen [1].

3.3. Pročišćavanje otpadnih voda aktivnim ugljenom

Aktivni ugljen je najučinkovitiji adsorbens za pročišćavanje otpadnih voda. Međutim, zbog visoke cijene koštanja i regeneracije koristi se kao završna faza u procesu pročišćavanja. Aktivni ugljen za komercijalnu primjenu ima specifičnu površinu od 500 do 1500 m²/g, a obzirom na usitnjenost na tržištu se nalazi prah od veličine zrna 1 μ m do 4 mm [1].

Općenito, aktivni ugljen ima sljedeća djelovanja [1]:

- Fizičko djelovanje – aktivni ugljen se može koristiti kao filter za eliminaciju suspediranih tvari u vodi.
- Adsorptivno djelovanje – na aktivni ugljen Van der Waalsovima silama ili kemisorpcijom adsorbira se većina onečišćenja otopljenih u vodi, a učinkovitost ovisi o granulaciji.
- Biološko djelovanje – aktivni ugljen u granulama (zrnu) može poslužiti i kao sredina za razvoj mikroorganizama pogodnih za biodegradaciju nekih onečišćenja.
- Katalitičko djelovanje – aktivni ugljen u granulama (zrnu) može se koristiti za uklanjanje klora iz previše klorirane vode pri čemu ne dolazi do adsorpcije klora na ugljen nego do redukcije klora i stvaranja kloridne kiseline.

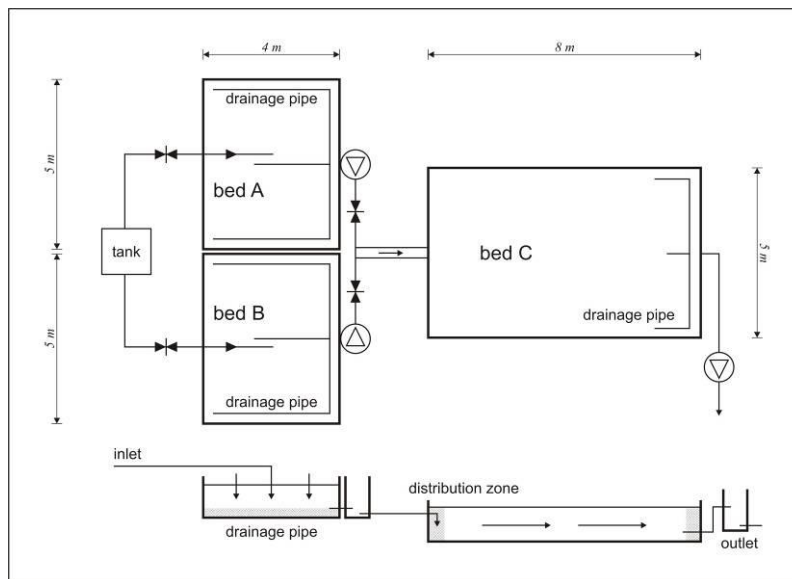
3.4. Pročišćavanje otpadnih voda biološkim Wetland sustavom

Wetland (eng. Constructed Wetland, CW) ili umjetna močvara je biološki sustav pročišćavanja otpadnih voda u kojem se nastoje oponašati procesi koji se događaju u prirodi. Ovakvim pročišćavanjem može se postići vrlo visok stupanj pročišćavanja otpadnih voda osobito ako se kombinira nekoliko bioloških elementa koji djeluju sinergijski. Elementi koji definiraju CW su hidrologija, tip tla i biljke. Ovakav sustav brzo postaje dio prirodnog okruženja koji CW čini živim sustavom i produljuje mu vijek.

Učinak pročišćavanja otpadnih voda biosorpcijom ovisiti će o karakteristikama biološke materije koja se koristi kao adsorbens i sastavu otpadnih voda koje se pročišćavaju. Općenito, mehanizmi do kojih dolazi kod pročišćavanja metodom biosorpcije podrazumijevaju kemijske procese (ionsku izmjenu, kelatizaciju, oksidaciju/redukciju i dr.), fizikalnu adsorpciju i mikroprecipitaciju [1, 2, 5]. Obzirom na navedene mehanizme biosorpcijom se postiže dobro pročišćavanje otpadnih voda tekstilne industrije u smislu uklanjanja metalnih iona, soli, tenzida, disociranog bojila i sl. [1, 2, 5]. Međutim, kod tako

pročišćenih voda može doći do dodatnog opterećenja organskom materijom zbog čega se te vode ne koriste ponovo u tehnološkim procesima.

Na primjeru je prikazan CW sustav konstruiran za pročišćavanje otpadnih voda bojadisaone tekstilne tvornice. Pilot sustav se sastoji od tri bazena prikazanih na shemi (slika 1). Medij za pročišćavanje sastoji se od šljunka i pijeska, kako slijedi: bazen B: fini pijesak, veličina zrna 1/4 mm; pijesak, veličine zrna 4/8 mm; Omjer: 50%: 50%; bazen C: fini pijesak, veličina zrna 1/4 mm; 8/16 mm šljunak, veličina zrna 32/64 mm; Omjer: 42%: 42%: 16%. U bazene je zasađena *Phragmites australis* 5 sadnica m⁻² te je propuštana otpadna voda tekstilne tvornice uz protok 1 l/min.



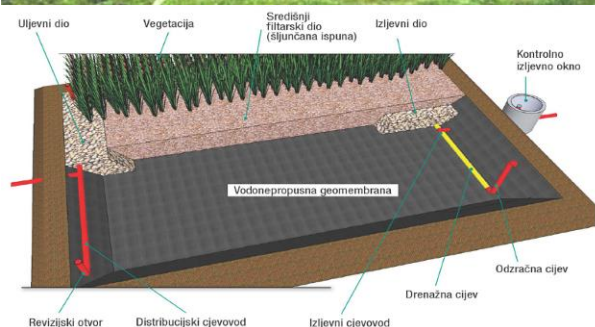
Slika 1. Shematski prikaz CW sustava

CW sustav optimiran je u laboratorijskim uvjetima kombiniranjem različitih materijala: šljunka, piljevine, usitnjene kore drveća. Učinak pročišćavanja ovisi o sastavu otpadnih voda. Pročišćavanjem otpadnih obojenih voda biosorpcijom potvrđeno je da se korištenjem isključivo šljunka dobivaju nezadovoljavajući rezultati (smanjenje koncentracije bojila za manje od 50 % i vodljivosti za 7%) [1, 2, 5]. Korištenjem adsorbenata veće specifične površine kao što su piljevina i kora postiže se bolji učinak pročišćavanja (uklanjanje bojila i elektrolita), ali može doći do neželjenog žučkasto-smeđeg obojenja pročišćene vode.

Pročišćavanje otpadnih voda Wetland sustavom ima sve veću primjenu u Republici Hrvatskoj (slika 2).

3.5. Usporedba učinka pročišćavanja otpadnih voda bojadisaona različitim metodama

Usporedba učinkovitosti različitih metoda pročišćavanja otpadnih voda bojadisaone provedena je na temelju nekoliko glavnih pokazatelja: pH, električna vodljivost, BPK₅ (biokemijska potrošnja kisika), KPK (kemijska potrošnja kisika), TOC (ukupan organski ugljik) i AOX (apsorbirani organski halogenidi). Mjerenja su provedena prema normama (odjeljak 2.1) i uspoređena s propisanim garantičnim vrijednostima za industriju oplemenjivanja tekstila, a rezultati su prikazani u tablici 3.



CW u Starom Petrovom Selu [6]

CW u Biljaru na otoku Cresu [7]

Slika 2. Primjeri primjene Wetland sustava u RH

Tablica 3. Usporedba učinkovitosti različitih metoda pročišćavanja otpadnih voda bojadisaone

| Otpadna voda | | Parametar analize | | | | | |
|----------------------|--------------------------|-------------------|--------------------|---|----------------------------|--------------|---------------|
| | | pH | vodljivost (mS/cm) | BPK ₅ (mg O ₂ /l) | KPK (mg O ₂ /l) | TOC (mg C/l) | AOX (mg Cl/l) |
| prije pročišćavanja | | 8,25 | 21,5 | 1080 | 425 | 512 | 2,15 |
| Metoda pročišćavanja | Fenton reagens | 7,01 | 20,8 | 50 | 210 | 30,5 | 1,89 |
| | koagulacija/ flokulacija | 7,23 | 17,5 | 165 | 312 | 148 | 0,65 |
| | aktivni ugljen | 6,89 | 2,2 | 12,8 | 98 | 29,7 | 0,35 |
| | Wetland sustav | 7,10 | 5,1 | 23,7 | 116 | 47,8 | 0,49 |
| Granične vrijednosti | | 6,5 – 9,0 | nije propisano | 30 | 200 | 60 | 0,5 |

Analizom rezultata prikazanih u tablici 3 potvrđeno je da se pročišćavanjem kemijskom metodom katalitičke razgradnje molekula Fenton procesom postiže visoki stupanj smanjenja vrijednosti bioloških parametara što ukazuje na dobro uklanjanje organskih molekula npr. bojila, tenzida i sl. Pročišćavanjem koagulacijom i flokulacijom ove vrijednosti su još uvijek visoke zbog nužnosti dodavanja koagulatna i flokulanta u suvišku. Kod obje metode nužno je dodatno provesti filtriranje npr. aktivnim ugljenom. Aktivni ugljen ne koristi se u prvoj fazi pročišćavanja jer bi kod jako onečišćenih otpadnih voda brzo došlo do zasićenja površine aktivnog ugljena čime bi se smanjila njegova učinkovitost pročišćavanja i bitno povećali troškovi. Međutim, kod Fenton reagensa i procesa koagulacije/flokulacije uočava se da se vrijednost električne vodljivosti ne smanjuje to je bitan pokazatelj prisutnosti elektrolita koji se koristi u procesima bojanja tekstila te se ovako pročišćena voda može ponovno koristiti u tehnološkom procesu pri čemu je bitno dodatno odrediti sadržaj elektrolita i optimirati sastav kupelji za ponovni tehnološki proces.

Potvrđeno je da se za ispuštanje pročišćene vode u vodotokove ili korištenje u poljoprivredne svrhe prednost daje biološkoj metodi pročišćavanja Wetland sustavom. Primjenom Wetland sustava dobiva se voda čija je čistoća u granicama normom propisanih vrijednosti.

4. Zaključak

Nakon dugogodišnjeg izbjegavanja ekoloških problema u industriji pa tako i u tekstilnoj industriji, sve se više pažnje posvećuje zaštiti okoliša i zaštiti na radu. To se osobito odnosi na zaštitu onečišćenja voda jer se najveći dio nečistoća iz urbaniziranih sredina kanalizacijom ispušta u rijeke i mora. Različitim tehničkim i tehnološkim rješenjima postignuti su značajni napreci u industriji sa ekonomskog i ekološkog aspekta.

Zakonskim odredbama i normama ograničena je upotreba toksičnih kemikalija u oplemenjivanju tekstila. Time je osigurana kvaliteta gotovih tekstilnih proizvoda ali i kvaliteta vode koja se ispušta u rijeke, jezera i mora. Praćenjem kvalitete vode koja će se ponovno koristiti u tehnološkim procesima, izbjegavanjem toksičnih i teško biorazgradivih spojeva, pravilnim vođenjem procesa oplemenjivanja te pravilnim odabirom procesa pročišćavanja voda može se postići vrlo visoki stupanja pročišćavanja s ekološkog aspekta, a recirkulacijom vode ostvaruju se i odgovarajući financijski učinci.

Izbor metode pročišćavanja otpadnih voda mora se temeljiti na propisanoj kvaliteti vode ovisno o mjestu ispusta ili mogućem ponovnom korištenju. U radu je opisano i uspoređeno nekoliko različitih pročišćavanja otpadnih voda tekstilne industrije te je potvrđeno da se najbolji rezultati pročišćavanja dobivaju kombiniranjem više metoda.

Prednost se daje postupku pročišćavanja biosorpcijom. Bez obzira na tehnološki proces, a osobito ako se radi o komunalnim vodama [6, 7], pročišćene vode u potpunosti zadovoljavaju zakonske propise. Ovakve vode se mogu ispuštati u vodotokove, a također se mogu koristiti za navodnjavanje usjeva i slično.

5. Literatura

- [1] Osterman-Parac, Đurđica; Sutlović, Ana; Đurašević, Vedran. Pročišćavanje otpadnih voda bojadisaone fizikalno-kemijskom metodom i biosorpcijom: mogućnost recikliranja vode. // Tekstil, 59 (2010), 7; 307-315. (ISSN 0492-5882) (rad u časopisu)
- [2] Parac-Osterman Đuršica, Đurašević Vedran, (2005), Biological Treatment Of Coloured Waste Water Using Wetland System, Proceedings of 5th International Istanbul Textile Conference, Istanbul, CD, (ISBN 978-1-56670-526-4) (rad u zborniku)
- [3] Peternel, Igor; Biošić, Dražen; Papić, Sanja; Koprivanac, Natalija; Lončarić Božić, Ana. Fotokatalitička razgradnja bojila u vodenoj otopini. // Tekstil, 58 (2010), 9; 433-442. (ISSN 0492-5882) (rad u časopisu)
- [4] Papić, Sanja; Koprivanac, Natalija; Vujević, Dinko. Fentonov i UV/Fentonov proces za mineralizaciju tenzida u vodi. // Tekstil, 55 (2006) ; 599-605 (ISSN 0492-5882) (rad u časopisu)
- [5] Parac-Osterman Đurđica, Sutlović Ana, Đurašević Vedran, Griessler-Bulc, Tjaša. Use of Wetland for Dye-house Waste Waters Purifying Purposes. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 1 (2007) 101-106. (ISSN 0972-9860) (rad u časopisu)
- [6] http://www.constructedwetlands.net/Biljni%20uredjaj%20SPS_RVD.pdf
dostupno 21. 7. 2014.
- [7] Shalabi, Mira, Marinac-Pupavac, Sandra. Biljni uređaji u krškom turističkom području// Hrvatska vodoprivreda, 203 (2013) 16-19 (ISSN 1330-321X) (rad u časopisu)

Automatsko rasklapanje dotrajalih elektroničkih proizvoda

Automatic disassembly of obsolete electronic products

L. Travaš^{1,*}, Z. Kunica¹

¹Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: lo.travas@gmail.com

Sažetak

Električni i elektronički (EE) proizvodi i oprema imaju značajan udio u suvremenoj potrošnji te slijedom toga i velik utjecaj na okoliš. Briga o okolišu i želja za ekonomičnim korištenjem prirodnih resursa čine razmatranje procesa recikliranja neizostavnim korakom, kako već na samom početku – pri konstruiranju EE opreme, tako, posebno, i kada se proces recikliranja mora realizirati, prethodno oblikovanim, odgovarajućim, sustavom. Postojeći destruktivni sustavi recikliranja uobičajeno su usmjereni na obrađivanje širokog spektra dotrajalih proizvoda istovremeno, zahtijevaju velika investicijska sredstva, nisu fleksibilni, a sekundarne sirovine dobivene obradom otpada sadrže nečistoće i opasne tvari. Kako bi se ovo unaprijedilo, na kraju životnog vijeka proizvoda kao alternativa se nameće automatsko rastavljanje proizvoda. Automatski sustavi za diskretno rasklapanje trenutačno se primjenjuju samo za pojedine otpadne EE proizvode. Razvoj tih sustava usko je povezan s primjerenim oblikovanjem i praćenjem životnog ciklusa proizvoda, napretkom robota i senzoričke te potražnjom za sekundarnim sirovinama i zakonskom regulativom. U radu su naznačene postavke oblikovanja proizvoda za recikliranje i postojeće tehnologije rasklapanja. Na primjeru tvrdog diska računala razmotreno je oblikovanje fleksibilnog automatskog sustava rasklapanja, koje uključuje: analizu proizvoda za rasklapanje, postavljanje funkcijskog plana demontaže, primjenu metode procjene vremena i troškove rasklapanja za varijante sustava s jednim i dva industrijska robota, specifikaciju opreme i računalno oblikovanje sustava.

Ključne riječi: automatsko rasklapanje, EE otpad, recikliranje

Abstract

Electrical and electronic products and equipment (e-equipment) have a significant proportion of contemporary consumption and consequently a large impact on the environment. Caring for the environment and desire for economical use of natural resources constitute the process of recycling as an essential step, at the very beginning – when designing e-equipment, and particularly, when the recycling process must occur by previously designed, appropriate system. Existing destructive recycling systems are usually focused on the treatment of a wide range of products at the same time, requiring a large investment funds, they are not flexible, and secondary raw material obtained by treatment of waste contain hazardous substances and impurities. In order to improve this, at the end of the product life-cycle, the automatic disassembly is imposed as an alternative to present recycling systems. Automatic systems for discrete disassembly are currently applied only to

certain e-products. Development of these systems is closely related to the appropriate design and monitoring of the product life-cycle, the progress of robots and sensorics as well as the market demand for secondary raw materials and legislation. This paper gives basics of product design for recycling and the existing disassembly technologies. In the example of computer hard disk, development of flexible automatic disassembly system is considered, which includes: an analysis of product for disassembly, functional plan of disassembly, application of method for estimation of time and cost of disassembly with one and two industrial robots, specification of equipment and computer-aided design of disassembly system.

1. Uvod

Rastuća količina otpada koja se stvara od dotrajalih i odbačenih proizvoda predstavlja izazov za prirodu, državne vlasti, proizvođače, ali i sveukupnu populaciju. Svijest o potrebi za očuvanjem prirode, postroženi zakoni o zaštiti okoliša te odredbe vlada razvijenih zemalja o ponovnom korištenju proizvoda ili njihovih dijelova umjesto njihovog odlaganja na odlagalištima otpada, primoravaju proizvođače da nastoje u sve većoj mjeri otpad iskoristiti. Umjesto odlaganja, odbačeni se proizvodi mogu popraviti i ponovo upotrijebiti, preraditi, reciklirati ili, tek u krajnjemu, odložiti na odlagalištima otpada. Vraćanje vrijednih materijala i dijelova u proizvodni proces, smanjenje količine toksičnih tvari i količine otpada na odlagalištima, glavni su razlozi za razmatranje problema demontaže (rasklapanja) dotrajalih proizvoda, čime se podrazumijeva i uspostava pogona za demontažu, koji pak zahtijevaju odgovarajući organizacijski i tehničko-tehnološki angažman i stručnost, te novčana ulaganja. Nadalje, u cilju postizanja veće učinkovitosti, automatizacijom demontaže povećava se zahtjevnost pri planiranju i projektiranju takvih pogona.

U ovome radu prikazana je problematika recikliranja električnog i elektroničkog (EE) otpada, te je analizirana mogućnost uspostave automatiziranog sustava za demontažu tvrdog diska osobnog računala s ciljem stjecanja znanja i iskustava koji bi bili primjenjivi za oblikovanje demontažnih sustava i drugih, sličnih proizvoda.

2. Gospodarenje električnim i elektroničkim otpadom

Počevši od 1980-ih godina, neprekidan je rast količine i raznovrsnosti EE opreme na tržištu. Životni vijek takve opreme je kratak, osnovni proizvod je često popraćen različitim preinakama, što je uzrokovano prilagođavanjem potrebama potrošača.

EE uređaji i oprema predstavljaju sve proizvode koji su za svoje pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima, kao i oprema za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje. Kada posjednik odluči odbaciti svoju EE opremu (bilo zbog kvara ili zamjene za novi, bolji uređaj) tada ona postaje otpad.

Problematika rastuće količine EE otpada jedna je od ozbiljnih ekoloških tema s kojom se suočavaju članice Europske unije i Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj. Procjenjuje se da se iznos EE otpada svake godine povećava za 3 do 5 %. Pošiljke otpada unutar članica EU i OECD strogo su regulirane, a izvan granica EU-a i OECD-a zabranjeno je izvoziti opasni otpad (sadrži štetne tvari koje su reaktivne, eksplozivne, infektivne, kancerogene, ekotoksične itd.), što podrazumijeva i EE otpad. Prema smjernicama EU navedenim u Pravilniku o EE otpadu 2002/96/EC, nastali EE otpad potrebno je sanirati unutar članica EU, potiče se njegovo recikliranje, a sakupljanje se ne naplaćuje. [1]

Ovim se planom nastoji prije svega smanjiti količine na odlagalištima. Recikliranjem se u proizvodni ciklus ponovo vraćaju materijali (čelik, aluminij, bakar), čime se ostvaruje ušteda na energiji spram proizvodnje iz prirodnih izvora. Budući da EE otpad sadrži i kemijske elemente koji su opasni po zdravlje (olovo, živa, kadmij) potrebno je posvetiti posebnu

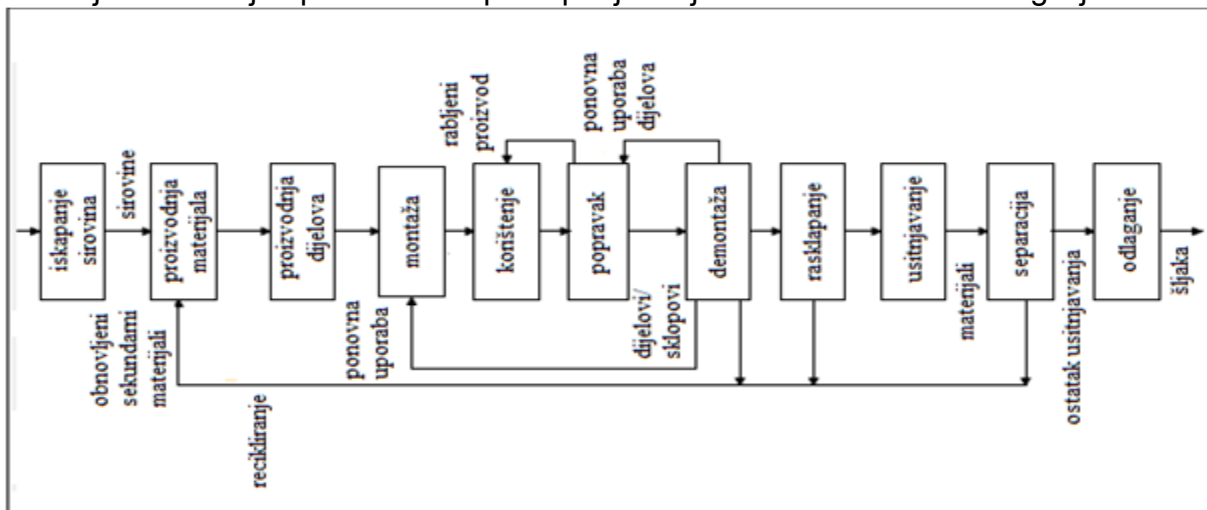
pažnju recikliranju. Trenutačno se većina EE-otpada obrađuje na sličan način – mehaničkom obradom: najčešće usitnjavanjem u mlinu i daljnjim odvajanjem materijala fizikalnim putem (naprimjer: magnetskom separacijom, separacijom vrtložnim strujama, vibracijskim stolovima).

Neprestano prikupljanje i povezivanje tokova otpada na velikom tržištu Europske unije omogućuje okrupnjavanje količina, specijaliziranje pogona za obradu EE otpada te razvoj novih tehnologija recikliranja.

3. Oblikovanje proizvoda za rasklapanje i recikličnost proizvoda

Već tijekom oblikovanja (konstruiranja) proizvoda važno je razmatrati i njegovu rasklopivost odnosno recikličnost.

Metoda *Design For Disassembly* (DFD) [2] je usmjerena upravo na oblikovanje proizvoda s postignućem njegove olakšane rasklopivosti, a metoda *Design For Life Cycle* (DFLC) [3] obuhvaća oblikovanje proizvoda s razmatranjem njegovog čitavog životnog vijeka, koji uključuje proizvodnju, korištenje, održavanje i zbijanja pri isteku životnog vijeka. Slikom 1. prikazan je životni vijek proizvoda te postupanje s njim nakon isteka životnog vijeka.



Slika 1. Zbijanja u materijalnom životnom vijeku proizvoda [4]

Oblikovanje proizvoda za recikličnost obuhvaća značajke kao što su:

- korištenje što manje materijala po vrsti i količini;
- korištenje kompatibilnih materijala koji vode olakšanim postupcima reciklaže (Izbjegavati kompozitne strukture.);
- prikladno označavanje materijala, posebno visokovrijednih i opasnih;
- rastavljivost dijelova (Spojeve oblikovati tako da budu lako dostupni i smješteni na vanjskim stranama proizvoda.);
- ekonomičnost demontaže, koja se ostvaruje jednostavnim alatima, ručnim ili automatiziranim procesima.

U tablici 1. prikazane su odvojeno značajke za vrednovanje recikličnosti proizvoda i recikličnosti materijala.

Tablica 1. Značajke pri vrednovanju recikličnosti proizvoda i materijala [5]

| Recikliranje proizvoda | Recikliranje materijala |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - funkcionalna struktura proizvoda - stupnjevita struktura - kompleksnost - posao koji prethodi demontaži - demontiranje - demontaža bez uništavanja dijelova - mogućnost čišćenja - mogućnosti provjere - mogućnost identificiranja - mogućnost sortiranja - mogućnosti prerade - mogućnost ponovne montaže - mogućnost zamjene dijelova - prepoznavanje istrošenih dijelova - uporaba normiranih dijelova - automatizacija radnih koraka | <p>Poslovi demontaže</p> <ul style="list-style-type: none"> - broj operacija kod demontiranja - broj uputa za demontiranje - broj različitih operacija kod demontiranja - broj vezivnih elemenata - broj različitih vezivnih elemenata - pristupačnost - automatizacija poslova demontaže - rastavljanje - troškovi demontaže - broj potrebnih alata za demontiranje <p>Razdvojjivost</p> <ul style="list-style-type: none"> - broj i trošak postupaka razdvajanja - mogućnost prepoznavanja materijala - broj materijala koji se mogu razdvojiti - broj materijala koji se ne mogu razdvojiti <p>Iskoristivost</p> <ul style="list-style-type: none"> - ponovna iskoristivost - daljnje iskorištavanje - potrebni procesi iskorištavanja - stupanj postignutih rezultata - smanjenje kvalitete - stupanj onečišćenja |

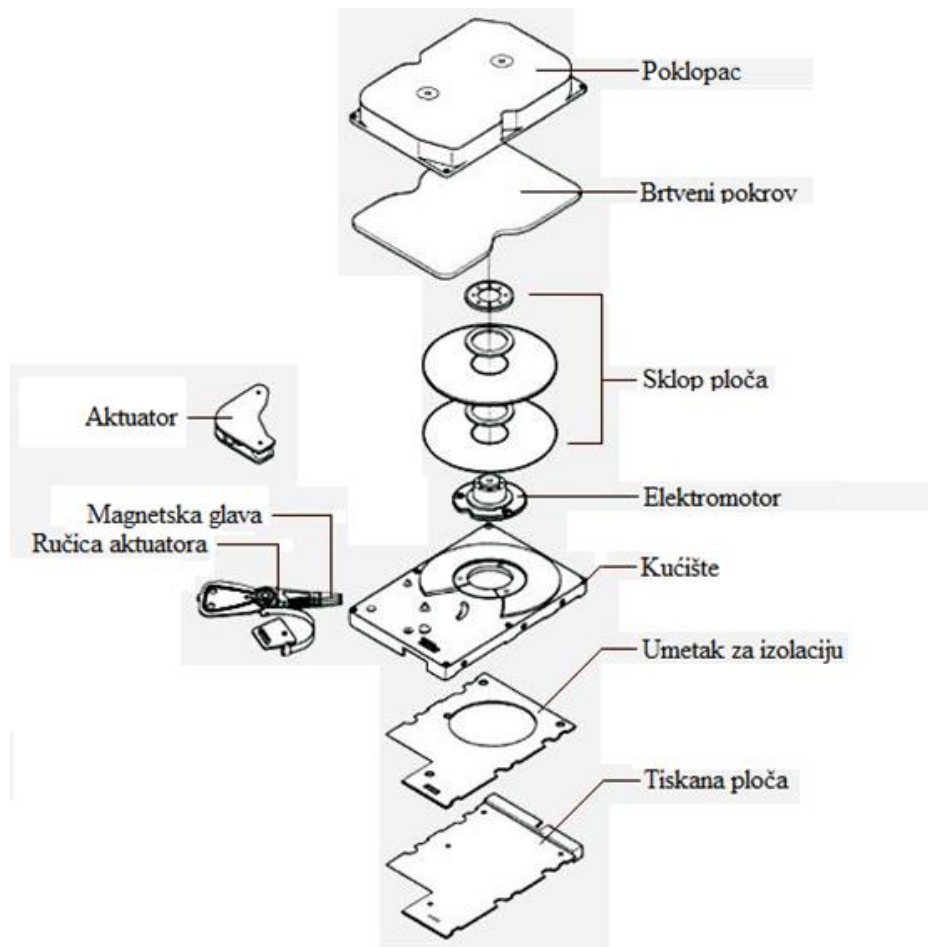
Vrednovanje tehnološko-ekonomskih karakteristika proizvoda za recikličnost rezultira ukupnom ocjenom recikličnosti.

4. Analiza tvrdog diska za rasklapanje

Tvrđi disk neizostavna je komponenta osobnih računala, jednog od brojnih elektroničkih uređaja koji je tijekom posljednjih dvadesetak godina postao uobičajen u svakom kućanstvu ili uredu.

Ovaj proizvod izabran je za demontažu iz sljedećih razloga [6]:

- Količina proizvoda – izvješća proizvođača pokazuju da je u razdoblju od 2011. do 2013. godine ukupno isporučeno 1,753 milijardi tvrdih diskova diljem svijeta. [7]
- Standardizirana veličina – svi tvrdi diskovi s pločom veličine 3,5 inča imaju dimenzije kućišta 146x101 mm, dok visina iznosi 19 ili 25 mm. Prednost standardnih dimenzija kasnije se očituje u oblikovanju alata za manipulaciju, transport i skladištenje tvrdog diska i njegovih dijelova pri rasklapanju.
- Ponavljajuća struktura proizvoda – iako postoji nekoliko proizvođača tvrdih diskova (Seagate, Toshiba, Western Digital) struktura proizvoda je ista, što olakšava izbor redosljeda operacija koje su potrebne da bi se on najlakše rastavio. Između ostaloga, olakšano je (automatizirano) prepoznavanje spojnih elemenata, jer se oni također nalaze na istim pozicijama. Putanje rasklapanja dijelova su pravocrtne, a spojni su elementi lako dostupni. Ugradbeni elementi tvrdog diska prikazani su slikom 2.



Slika 2. Ugradbeni elementi tvrdog diska

- Mali broj jednostavnih tehnika spajanja – rastavljanje tvrdog diska moguće je obaviti robotskom rukom s dva alata: odvijačem i hvataljkom. Odvijačem se odvijaju vijci (utora torx na glavi), dok je hvataljka potrebna za rastavljanje elemenata koji nisu povezani spojnim elementima, već oblikom. Ovime je skraćeno trajanje ciklusa rastavljanja za vrijeme potrebno za zamjenu alata.
- Materijali – istovrsni dijelovi tvrdog diska napravljeni su od istih ili sličnih materijala, što olakšava razvrstavanje. Važno je napomenuti da proizvod ne sadrži kapljevine ili gelove, odnosno tvari koje je potrebno uklanjati posebnim alatima.
- Stanje odbačenog proizvoda – kućište tvrdog diska osigurava zaštitu unutrašnjosti kako od fizičkih deformacija, tako i od prljavštine. Osim toga, radni uvjeti računala podrazumijevaju suhu i čistu okolinu, stoga je proizvod prije demontaže redovito neoštećen.
- Raspoloživost podataka – olakšana identifikacija modela i ekstrakcija relevantnih podataka iz proizvođačkih baza podataka. Vršiti se pomoću očitavanja barkôda koji se nalazi na poklopcu.

Rastavljanjem diska na dijelove omogućuje se razvrstavanje dijelova prema materijalima, dok je tiskanu pločicu potrebno dodatno obraditi da bi se odvojili materijali (usitnjavanjem, elektrostatskom i magnetskom separacijom).

Redosljed rasklapanja uvjetovan je strukturom proizvoda, tj. potrebno je najprije rasklopiti vanjske dijelove (odvojiti poklopac od kućišta) da bi bilo moguće rastaviti unutrašnjost (sklop

ploča, aktuator, ručicu aktuatora itd.). Postojanje baznog dijela, kućišta, olakšava manipulaciju, odvijanje vijaka i odvajanje ostalih dijelova, pri čemu su putanje pravocrtne, što pogoduje automatizaciji procesa. Zbog malih dimenzija dijelova operacije rasklapanja se ne izvode paralelno, nego slijedno, što uzrokuje produljenje vremena ciklusa rasklapanja.

5. Oblikovanje sustava za rasklapanje tvrdog diska

Demontaža (rasklapanje) je postupak u velikoj je mjeri inverzan montaži (sklapanju) pa su stoga načela, projektiranje i tehnička rješenja (oprema) obaju postupaka u mnogome podudarna. Tako montažni i demontažni sustavi u načelu iziskuju sličan pristup projektiranju, s razlikom u kretanju proizvoda: dok se proizvodi nakon montaže stavljaju na tržište, oni koji su nakon kraja životnog vijeka predviđeni za demontažu s tržišta se povlače i usmjeravaju na odgovarajuće lokacije, odnosno pogone za demontažu. Montaža se stoga može planirati ovisno o potražnji na tržištu, kompleksnosti proizvoda, varijantama i slično, dok je organizacija demontaže otežana zbog neujednačenih količina proizvoda za demontažu u određenim periodima, kvalitete proizvoda (deformacije, oštećenja ili preinake), dostupnosti informacijama itd. S druge strane, nakon demontaže i sortiranja materijala ne postoji problematika prodaje materijala, jer je potražnja za njima neprestana.

Demontaža dotrajalih proizvoda u svrhu ponovne uporabe dijelova učestala je u automobilskoj industriji [8] (nakon demontaže slijedi usitnjavanje neupotrebljivih dijelova i odvajanje metala od nemetalnih ostataka usitnjavanja). Automatizirana demontaža primjenjuje se i pri popravcima jednostavnih proizvoda, naprimjer europaleta: tvrtka Jointec razvila je sustav kojim se oštećene palete defektiraju, rastavljaju, zamjenjuju se potrebni dijelovi i palete se ponovno sastavljaju. Vrijeme ciklusa iznosi nekoliko minuta, a za upravljanje sustavom dovoljan je jedan radnik. [9]

5.1. Funkcijski plan rasklapanja i principijelna tehnička rješenja

Funkcijskim planom određuju se funkcije koje će biti potrebne za razvrgavanje odnosa između dijelova. Za funkcije se potom određuju principijelna tehnička rješenja.

Demontaža tvrdog diska zasniva se na sljedećemu funkcijskom planu [6]:

1. Gomilanje tvrdih diskova
2. Očitavanje modela tvrdog diska te prihvaćanje kućišta i njegovo pomicanje
3. Snimanje pozicija vijaka poklopca te njihovo odvijanje
4. Zakretanje kućišta, snimanje pozicija vijaka tiskane pločice i njihovo odvijanje
5. Odvajanje poklopca i tiskane pločice
6. Snimanje pozicija vijaka koji pritežu unutarnje dijelove (sklop ploča, aktuator i ručicu aktuatora) te njihovo odvijanje
7. Odvajanje dijelova navedenih u koraku 6.
8. Snimanje pozicija vijaka elektromotora i njihovo odvijanje
9. Odvajanje elektromotora i otpuštanje kućišta.

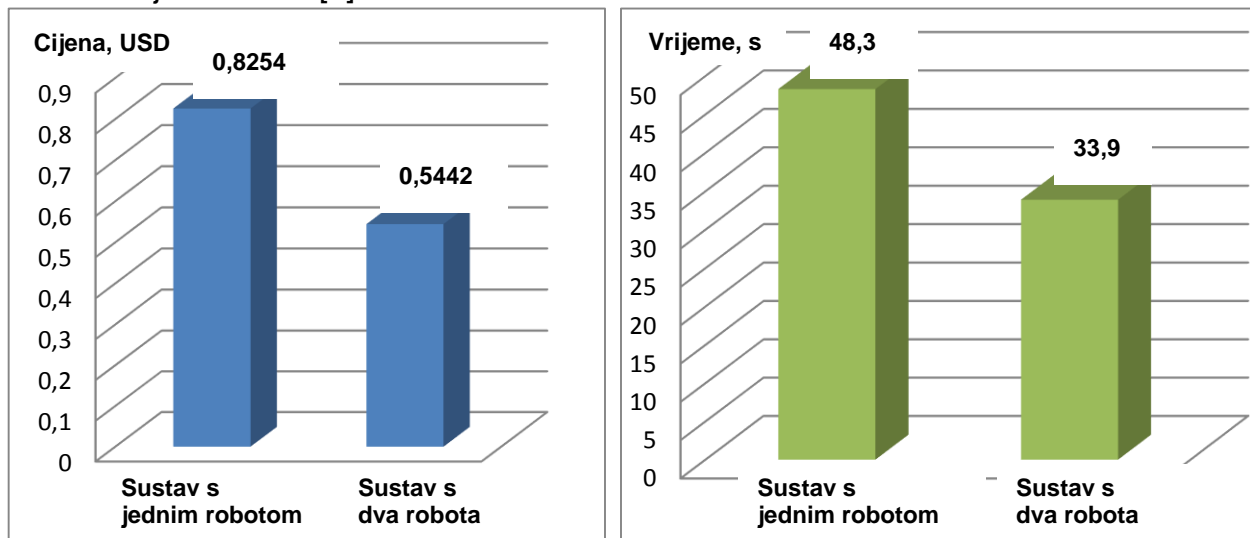
Dakle, manipulator prihvaća tvrdi disk iz (ručno ili automatski punjenog) magazina (u kojemu su diskovi prethodno prostorno orijentirani), a čitačem barkôda se očitava model diska i ustanovljuje postoji li u bazi podataka. Ako postoji, primjenjuje se postojeći plan demontaže; ako ne postoji, proces demontaže i dalje teče automatski, ali uz povišeni nadzor, a izvedene operacije se bilježe i pohranjuju u bazi podataka, s time da se naknadno moraju verificirati. Manipulator prenosi tvrdi disk do steznog elementa, vizijski sustav snima pozicije vijaka na poklopcu, te se oni odvijaju odgovarajućim nastavkom torx na robotskoj ruci. Tvrdi disk se zatim zaokreće za 180° te se iste radnje ponavljaju za tiskanu pločicu. Drugi izvršni članak (hvataljka) na robotskoj ruci zatim odvaja tiskanu pločicu i poklopac i odlaže ih u odgovarajuće spremnike. Nakon toga se snimaju pozicije vijaka unutarnjih dijelova, odnosno sklopa magnetskih ploča, aktuatora i ručice aktuatora. Robotska ruka odvija vijke, a

otpuštene dijelove prenosi i odlaže u spremnike. Elektromotor je posljednji sklop koji je ostao pričvršćen na kućište, pa se pozicije njegovih vijaka snimaju, oni se odvijaju, elektromotor se odvađa i pohranjuje u spremnik, a potom isto i kućište. Manipulator zatim prihvaća novi tvrdi disk i ciklus se odvija iz početka.

5.2. Procjena vremena i troškova rasklapanja

Za prije navedeni funkcijski plan procijenjena su vremena i troškovi rasklapanja pomoću metode DFA za robotsko sklapanje [10], pri čemu je konačno određen i potreban broj robota. Naime, iz opisa funkcija očito je da je za rasklapanje potrebno dvije vrste izvršnih članaka na robotskoj ruci. Iz tog razloga razmotrena je primjena sustava s jednim i s dva industrijska robota (Tablica 2.).

Tablica 2. Usporedba troškova i vremena rasklapanja, po komadu, za sustave s jednim i dva industrijska robota [6]



Proračun cijena rasklapanja i trajanja ciklusa za obje stanice izrađen je pod pretpostavkom da će se rasklopiti 150 000 tvrdih diskova. Cijena rasklapanja po proizvodu pomoću stanice s dva robota je otprilike 35 % jeftinija od one s jednim robotom, dok je trajanje ciklusa rasklapanja kraće za oko 30 %. Razlika proizlazi iz potrebe za promjenom alata kod stanice s jednim robotom. Iznos od 33,9 sekundi nije konačan, već se njemu treba pridodati vrijeme očitavanja barkôda i snimanje vizijskim sustavom. Ovo je procijenjeno na 4,5 sekundi, pa bi ukupno vrijeme ciklusa za stanicu s dva robota bilo 38,4 sekunde.

6. Specifikacija opreme i CAD oblikovanje sustava

Industrijski roboti oblika SCARA odlikuju se visokom preciznošću i brzinom te jednostavnošću – sa samo četiri stupnja slobode gibanja mogu izvršavati većinu jednostavnih montažnih i demontažnih zadataka. [11] Osim toga, cijena je u usporedbi s drugim robotskim konfiguracijama niža.

Stereovizijski sustav koristi dvije kamere koje snimaju isti objekt ali s različitih pozicija, čime se dobiva uvid u tri dimenzije. Ovo je nužno da bi se odredile pozicije vijaka te oblik dijelova koji se prihvaćaju hvataljkom.

Svi neoštećeni tvrdi diskovi na vanjskoj površini posjeduju naljepnicu na kojoj se, između ostalog, nalazi i barkôd, čime je pojednostavnjena identifikacija modela.

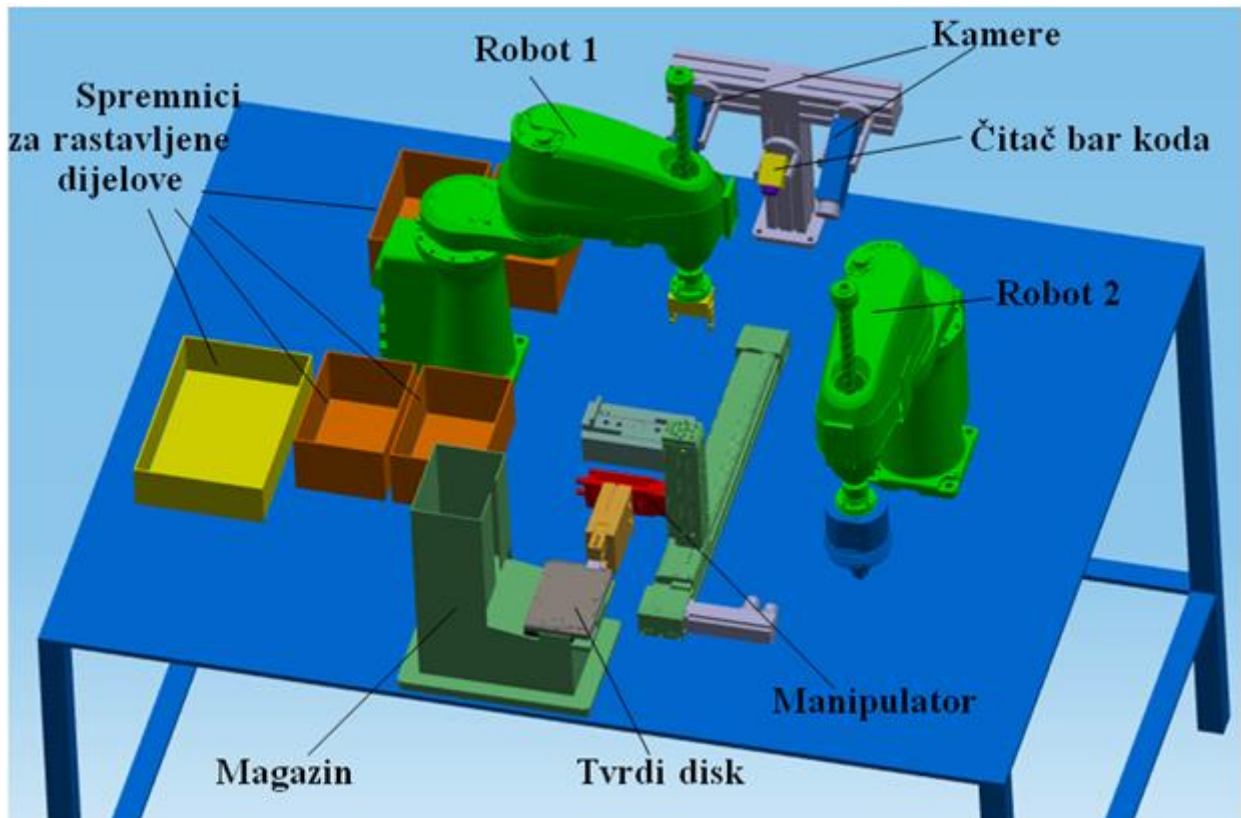
Manipulator je u sustav uveden zbog najjednostavnijih operacija – pomicanja i zakretanja kućišta, odnosno omogućava translaciju i rotaciju duž osi uz visoku preciznost i nisku cijenu opreme.

Specifikacija odabrane opreme, s cijenama, dana je tablicom 3.

Tablica 3. Specifikacija opreme demontažnog sustava s cijenama [6]

| Naziv opreme | Cijena, USD |
|---|---------------|
| Robot Adept Cobra s350 s kontrolerom, 2 komada | 47 500 |
| Vizijski sustav National Instruments s dvije kamere | 7 900 |
| Čitač barkôda Birch | 200 |
| Manipulator Festo s opremom | 7 000 |
| Ukupno | 62 600 |

Nakon što je određena oprema robotske stanice, uslijedilo je njezino računalno oblikovanje programom Solidworks, korištenjem CAD datoteka preuzetih od proizvođača opreme (Slika 3.)



Slika 3. Automatski sustav rasklapanja s dva robota [6]

7. Zaključak

Automatizacija recikliranja izazovan je inženjerski zadatak, čije rješavanje uključuje analizu proizvoda te projektiranje, primjenu i razvoj adekvatnih sustava i tehnologija kojima se odbačeni proizvodi rasklapaju. Raznolikost, varijantnost i promjenljivost proizvoda prepreke su za projektiranje univerzalnog sustava za rasklapanje. Iz tog razloga, a i u svrhu kasnije ekonomske isplativosti, nužno je u tijeku razvoja automatskih sustava rasklapanja integrirati

mogućnost prilagođavanja rasklapanja različitim modelima istog proizvoda te potom proizvodima sličnih svojstava.

Na primjeru tvrdog diska, vrlo čestog EE proizvoda, analiziran je postupak rastavljanja i pridružena oprema. Pomoću metode DFA izračunata je cijena i trajanje rasklapanja za automatski sustav s jednim i s dva robota, pri čemu se u obje kategorije sustav s dva robota pokazao kao bolje rješenje. Za sustav s dva robota specificirana je oprema dostupna na tržištu i procijenjena njezina vrijednost.

U radu predloženi sustav moguće je implementirati u proizvodne pogone tvrtki koje izrađuju EE opremu, ali i u centre za recikliranje i odvajanje otpada (naprimjer reciklažna dvorišta). Male dimenzije sustava prva je od više prednosti spram postojećih destruktivnih metoda reciklaže. Nadalje, sustavom podrazumijevana dostupnost podataka o materijalima ugradbenih elemenata proizvoda značajno pojednostavnjuje razvrstavanje rastavljenih dijelova (separacija postaje izlišna). Također, radna temperatura ne premašuje iznos sobne temperature, čime se u atmosferu ne ispuštaju opasni plinovi. Za poslove nadgledanja, opsluživanja i održavanja sustava dovoljan je samo jedan kvalificirani radnik, spram uobičajenih destruktivnih metoda koje iziskuju više kvalificiranih radnika.

U budućem radu, uslijedit će daljnji razvoj predloženog i sličnih sustava, s posebnim naglaskom na potrebu istraživanja i izvođenja tehničko-ekonomske analize primjenjivosti s obzirom na raznolike mogućnosti teritorijalnog organiziranja.

8. Literatura

- [1] http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/waste/key_waste_streams/waste_critical_electronic_equipment_www. Pristupljeno: 2014-06-14
- [2] Boothroyd, G.; Alting, L. Design for Assembly and Disassembly // *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 41(1992), 2; 625-636. (ISSN 0007-8506)
- [3] Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W. Product design for manufacture and assembly. New York: M. Dekker, 1994. (ISBN 978-953-6970-86-5)
- [4] Lambert, A. J. D.; Gupta, S. M. Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance, Reuse and Recycling. Boca Raton: CRC Press, 2005. (ISBN 1-57444-334-8)
- [5] Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K. H. Engineering Design: A Systematic Approach. Springer, 2007. (ISBN 978-1-84628-318-5)
- [6] Travaš, Lovro. Automatsko rasklapanje dotrajalih elektroničkih proizvoda, Diplomski rad br. 702317. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2014.
- [7] <http://www.statista.com/statistics/275336/global-shipment-figures-for-hard-disk-drives-from-4th-quarter-2010/>. Pristupljeno: 2014-06-14.
- [8] Daimler AG, Mercedes-Benz Cars, *Ekološki certifikat E-klase*, Stuttgart, 2009.
- [9] <http://www.jointec.se/dismantling-euro-pallets>. Pristupljeno 2014-06-23.
- [10] Kunica, Zoran. Oblikovanje proizvoda za sklapanje Boothroyda i Dewhursta. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2000.
- [11] Kunica, Zoran. Automati za montažu http://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/pms/roboti_manip.pdf. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje. Pristupljeno 2014-06-21.

Provedba energetskeg pregleda javne rasvjete ***The energy audit of street lighting***

H. Glavaš^{1,*}, D. Mesarić¹, T. Barić¹, D. Đurđević², M. Ivanović³

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

²ZaštitaInspekt d.o.o., Osijek, Hrvatska

³Panon – Institut za strateške studije, Osijek, Hrvatska

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

Sažetak

Rad opisuje praktičnu provedbu energetskeg pregleda javne rasvjete. Na primjeru postojećeg sustava analiziran je tijek energetskeg pregleda i izrade izvješća o njegovoj provedbi. Pri tome metodologija obuhvaća: prikupljanje osnovnih informacija o korisniku, analizu dostupne projektne dokumentacije, opis sustava javne rasvjete s mapiranjem postojeće instalacije, mjerenje svjetlosnih i električnih veličina, analizu računa za preuzetu električnu energiju te prijedlog mjera poboljšanja energetske učinkovitosti.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, energetskeg pregled, javna rasvjeta

Abstract

The paper describes the energy audit street lighting. As example was analyzed energy flow through existing lighting system in order to prepare a report on the conducted energy audit. Energy audit is conducted according to methodology which includes: gathering basic information about the user, the analysis of available project documentation, a description of the public lighting system with mapping the existing installation, measuring of the existing light quantities, the measurement of electrical quantities, the analysis of bills for the used electricity and proposal of measures to improve energy efficiency.

Keywords: Energy Audit, Energy Efficiency, Public Lighting

1. Uvod

Pravilnik o energetskeg pregledima građevina i energetskeg certificiranju zgrada propisuje obvezu provođenja energetskeg pregleda javne rasvjete (JR) od srpnja 2014. godine. Energetskeg pregled JR provodi se u skladu s metodologijom, a uključuje analizu sustava potrošnje električne energije od mjesta preuzimanja do krajnjeg potrošača.

Pregled tehničkih i energetskeg svojstava javne rasvjete obuhvaća analizu:

1. Mjesta preuzimanja električne energije, razvoda, razvodnih ormara i TS-a,
2. Specifičnih zona javne rasvjete,
3. Tipova izvora svjetlosti koji se koriste,
4. Svjetiljki u kojima se nalaze izvori svjetlosti,
5. Sustava regulacije i upravljanja javne rasvjete.

Provedba energetskeg pregleda uključuje mapiranje postojeće instalacije, mjerenja električnih veličina, mjerenja svjetlosnih veličina svih izvoda JR i izradu izvješća o provedenom pregledu. Izvješće o provedenom energetskeg pregledu pored snimke sustava, mapiranja instalacije, prezentacije izmjerenih električnih i svjetlosnih veličina, analize podataka o potrošnji električne energije, sadrži i prijedlog mjera energetske učinkovitosti uz uvažavanje zahtjeva HRN EN 13201 - Cestovna rasvjeta i Zakona o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja NN 114/11. Mjere predloženih investicija u modernizaciju sustava sadrže informacije o jednostavnim povratnim periodima (JPP) izračunatih temeljem egzaktnih troškovnika te mjerenjem utvrđene potrošnje unutar sustava javne rasvjete [1].

2. Sadržaj izvješća o provedenom energetskeg pregledu JR

2.1. Osnovne informacije o energetskeg pregledu i indikatori

Preporuča se da početak izvješća na jednostavan i pregledan način pruži osnovne informacije o naručitelju energetskeg pregleda kao i podatke o odgovornoj osobi. Pored podataka o ugovaratelju pregleda trebaju biti navedeni podatci suizvršitelja, ako su angažirani u njegovoj provedbi. Osnovne informacije o sustavu JR treba pružiti sažetkom koji sadrži podatke o dužini sustava, površini naselja, broju rasvjetnih tijela, broju pojmih mjesta, instaliranoj snazi sustava, prosječnoj rasvijetljenosti, prosječnoj udaljenosti među stupovima te broju korisnika. Osim toga potrebno je navesti i opskrbljivača električnom energijom kao i godišnju potrošnju. Najvažniji su indikatori energetske učinkovitosti. Tablica 1. prikazuje neke od pokazatelja energetske učinkovitosti sustava javne rasvjete: potrošnja električne energije (EE) po kilometru sustava, instalirana snaga po kilometru, potrošnja EE po kvadratnom kilometru, instalirana snaga po kvadratnom kilometru, instalirana snaga po stanovniku, energija za JR po stanovniku godišnje i godišnji trošak EE za JR po stanovniku.

Tablica 1. Pokazatelji energetske učinkovitosti sustava javne rasvjete

| 5. Indikatori energetske učinkovitosti | | |
|---|----------------------------|---------|
| Pokazatelj | Mjerna jedinica | |
| Potrošnja EE po kilometru | kWh/km, god. | 6170,15 |
| Instalirana snaga po kilometru | W/km | 5146,30 |
| Potrošnja EE po kvadratnom kilometru | kWh/km ² , god. | 866,63 |
| Instalirana snaga po kvadratnom kilometru | W/km ² | 722,83 |
| Instalirana snaga po korisniku | W/st. | 32,39 |
| Energija za JR po stanovniku godišnje | kWh/st., god. | 38,83 |
| Trošak EE za JR po stanovniku godišnje | kn/st., god. | 24,89 |

2.2. Osnovni podatci o naselju

Sustav JR služi nesmetanom prometovanju i sigurnosti stanovništva [2]. Uvažavajuću funkciju JR potrebno je analizirati korisnike sustava kroz opis naselja, prometnu povezanost i starosnu dob korisnika. Kao što se vidi iz tablice 1., broj stanovnika je jedan od podataka neophodnih za definiranja pokazatelja energetske učinkovitosti. Opis naselja nije potpun bez podataka o predstavnicima lokalne samouprave.

2.3. Analiza dostupne dokumentacije

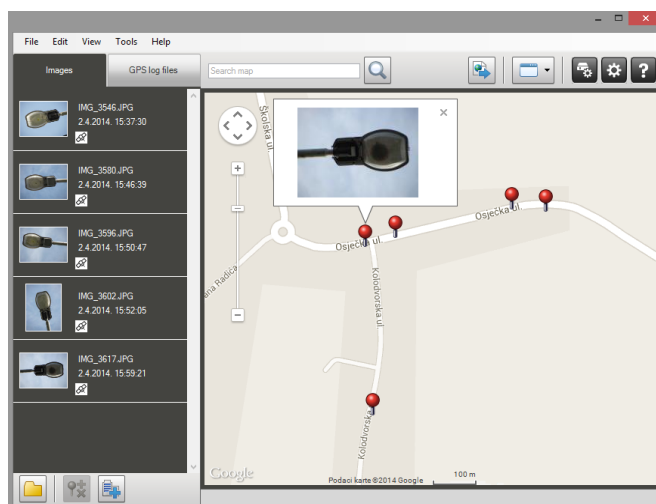
Svaki tehnički sustav posjeduje neki oblik dokumentacije. Prije početka pregleda je zadaća certifikatora preuzimanje dostupne dokumentaciju od kontakt osobe naručitelja, proučavanje dokumentacije te pisanje sažetka koji će biti osnovna smjernica u daljnjem postupku energetskeg pregleda.

2.4. Opis sustava JR

Opis sustava JR obuhvaća analizu: ulica (broja, dužina dionica), tipova svjetiljki, instaliranih žarulja (snaga, tip, broj komada), stupova na kojima se nalazi JR (vrsta, visina), načina napajanja (zračni vod, kabel), pojnih točaka i prostornog smještaja elemenata sustava. Svi elementi sustava se fotodokumentiraju i geopozicioniraju. Slika 1. prikazuje fotozapise različitih tipova svjetiljki uočenih tijekom pregleda, koji su u daljnjoj analizi bez potpune prostorne informacije neupotrebljivi.

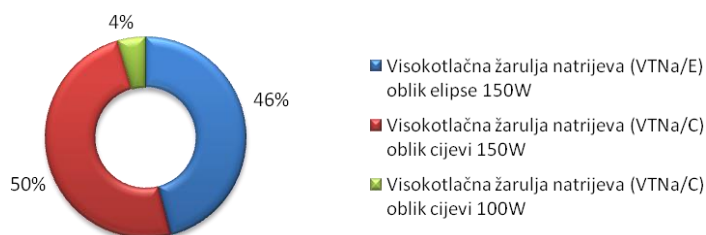


Slika 1. Zastupljenost svjetiljki na stupovima: a) 78%, b) 18% i c) 4%



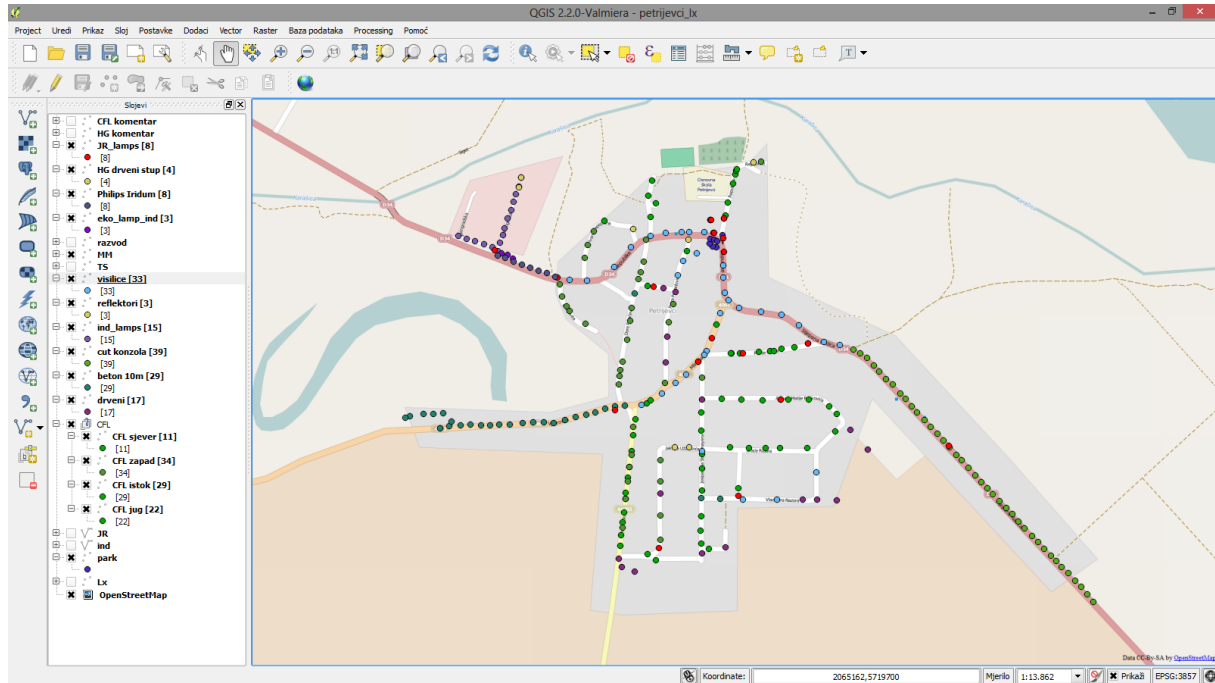
Slika 2. Elementi sustava na kojima su uočena zamjetna onečišćenja

U izvješću treba navesti rasvjetna tijela na kojima su uočeni zamjetni tragovi onečišćenja i njihov točan prostorni smještaj. Zahvaljujući georeferenciranim fotografijama, prostorni položaj onečišćenih rasvjetnih tijela vidljiv je na mapama, kao na slici 2. Numeričke pokazatelje broja stupova, vrste stupova, broja i tipova pojnih mjesta, vrsta svjetiljki i rasvjetnih tijela, zbog preglednosti treba prikazati i u grafičkom obliku, slika 3.



Slika 3. Postotno učešće pojedinih oblika žarulja

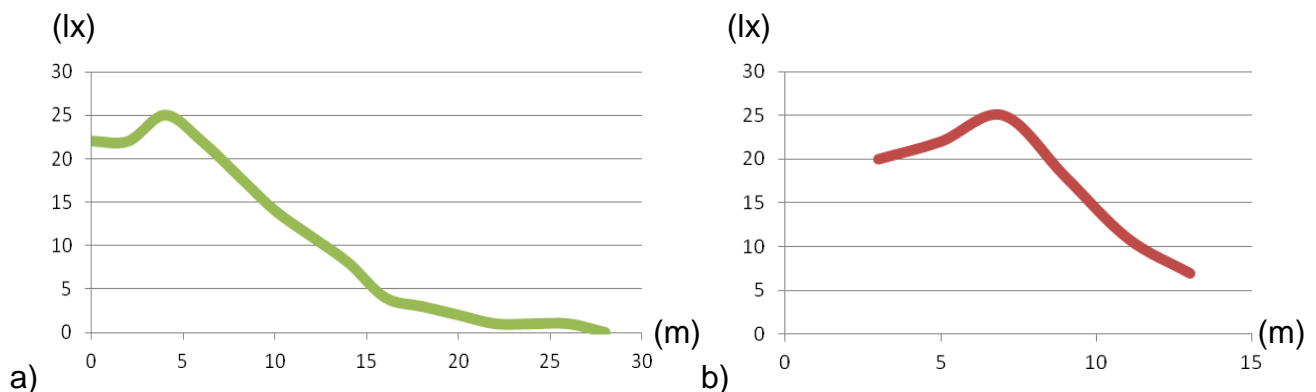
Potpuni opis podrazumijeva geopozicioniranje svih elemenata sustava, [4]. Slika 4. prikazuje primjer mapiranih elemenata jednog složenog sustava javne rasvjete u GIS programskoj podršci, otvorenog koda.



Slika 4. Mapirani elementi složenog sustava JR

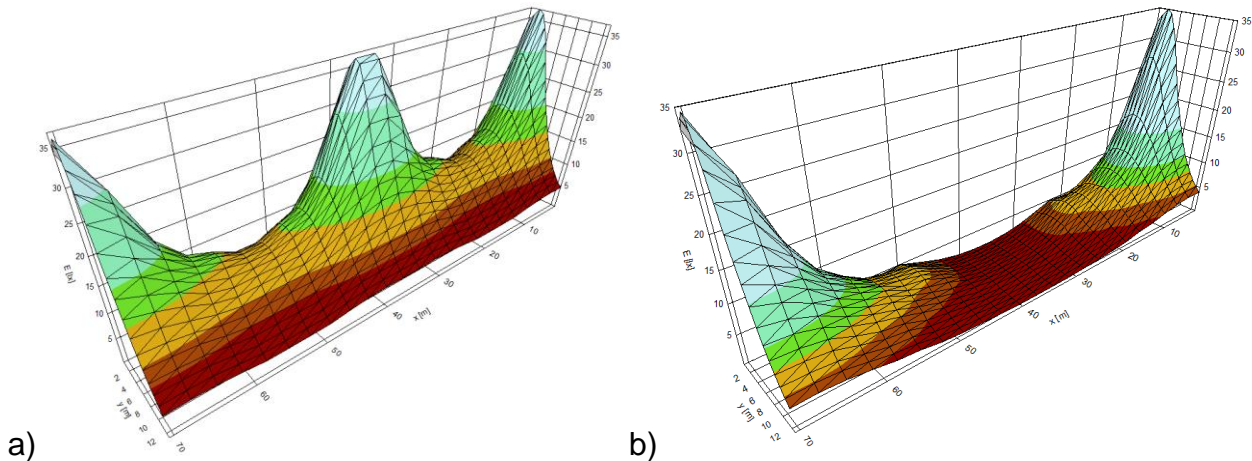
2.5. Mjerenje svjetlosnih veličina

Mjerene točke treba odabrati sukladno normi *HRN EN 13201-3 - Proračun svojstava* koja propisuje koordinate uzorkovanja tj. postupak mjerenja rasvijetljenosti površine. Samo mjerenje potrebno je izvršiti prema *HRN EN 13201-4 Metode mjerenja svojstava rasvjete*. Detaljno mjerenje svjetlosnih veličina rasvjetnih tijela potrebno je provesti za sve karakteristične tipove svjetiljki. Temeljem izmjerenih veličina radi se modeliranje postojećeg sustava. Slika 5. prikazuje izmjerene vrijednosti rasvijetljenosti svjetiljke sa slike 1a. duž ceste i okomito na nju. Vrijednosti apscise su u metrima (m), a ordinate u luksima (lx).



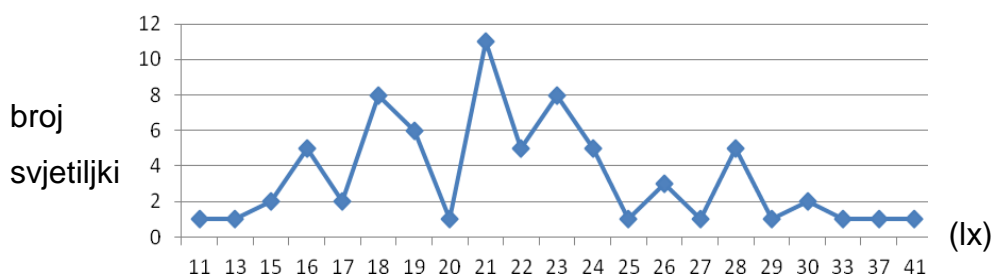
Slika 5. Izmjerene vrijednosti rasvijetljenosti a) u pravcu ceste i b) okomito na rasvjetno tijelo

Rezultati mjerenja, po svojim iznosima, pomažu u izboru snage tijekom modeliranja rasvjetnog tijela, a oblik krivulje služi za odabir svjetiljke koja će svojim karakteristikama najbolje odgovarati rezultatima mjerenja. Time se dolazi do modela koji najbolje predstavlja analizirano rasvjetno tijelo. Slika 6. prikazuje simulaciju rasvjetljenosti kada su uključena sva rasvjetna tijela i kada je uključeno tek svako drugo.



Slika 6. Rasvjetljenost ceste kada su uključena a) sva rasvjetna tijela i b) svako drugo rasvjetno tijelo

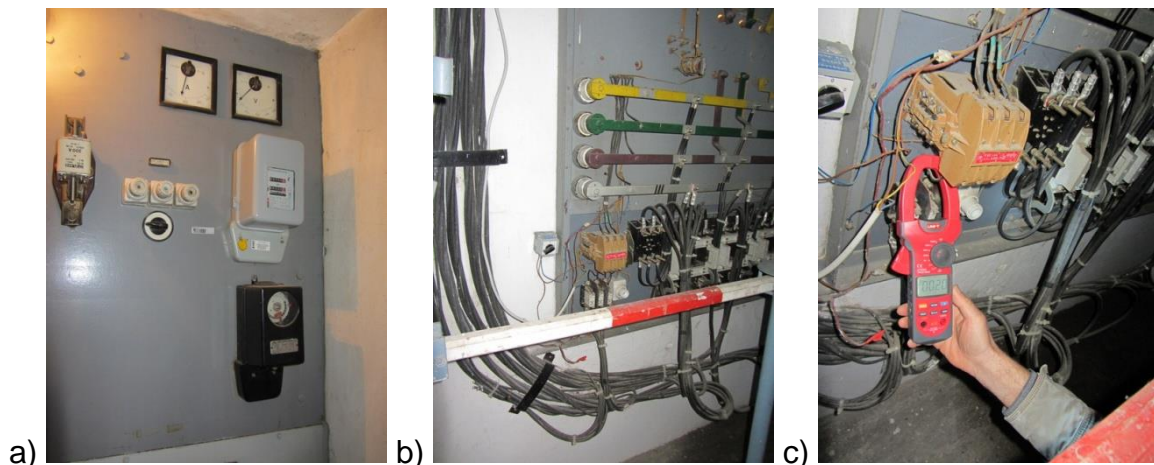
Isključivanje svakog drugog rasvjetnog tijela naizgled se čini kao dobra mjera uštede, ali u praksi smanjuje sigurnost prometovanja zbog lošije uočljivosti objekata na prometnicama zbog neadekvatne uniformnosti osvjetljenja [1]. Svjetlosne veličina potrebno je izmjeriti za sve tipove svjetiljki radi uvida u stanje sustava. Rezultat mjerenja tijekom jednog energetskog pregleda prikazani su na slici 7. Na apscisi su prikazane izmjerene vrijednosti rasvjetljenosti od 11 do 41 lx, a na ordinati broj svjetiljki s pripadajućim vrijednostima rasvjetljenosti.



Slika 7. Vrijednost rasvjetljenost ceste i broj svjetiljki

2.6. Mjerenje električnih veličina

Mjerenje električnih veličina preporučljivo je provesti mrežnim analizatorom. Dosadašnja iskustva nisu dopuštala takav način mjerenja jer su mjerna mjesta bila smještena u prostoru niskonaponske mreže HEP-a te su mjerenjem utvrđene samo vrijednosti napona i struja po pojedinim izvodima JR. Tijekom mjerenja treba voditi računa o očitavanju vrijednosti kada je sustav u stacionarnom stanju. Prilikom uključivanja sustava ili redukcije snage potrebno je stanovito vrijeme (5 do 6 minuta) kako bi se električne veličine ustalile.

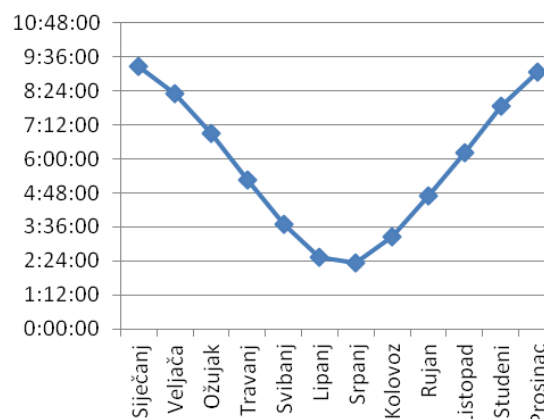


Slika 8. Mjerenje električnih veličina sustava JR: a) brojilo preuzete EE i sustav upravljanja, b) niskonaponski razvod, c) mjerenje vrijednosti struje izvoda JR

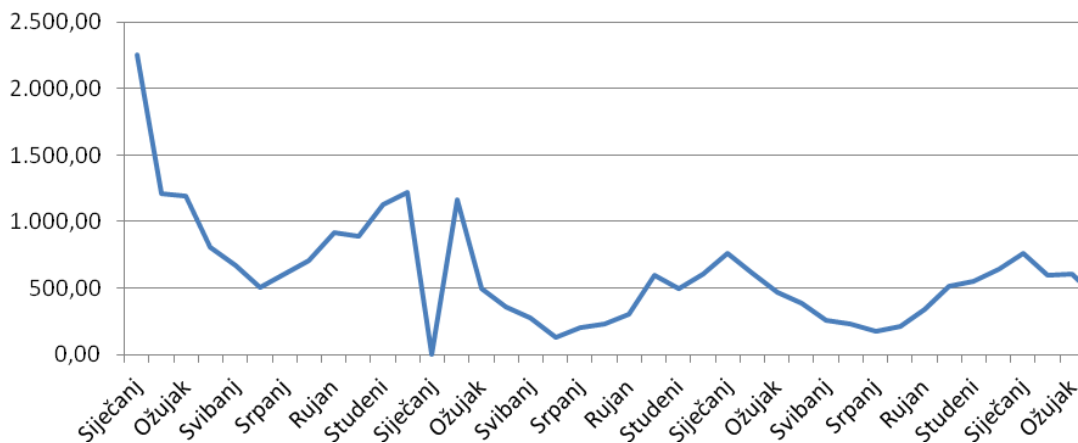
Izmjerene vrijednosti električnih veličina trebaju odgovarati popisanom konzumu. Pri tome je važno, osim snage izvora svjetlosti, utvrditi i potrošnju predspojnih naprava (npr. TEP lampa sa izvorom svjetlosti 250W VTN ima snagu s predspojnom napravom 278W, Osram lampa sa izvorom svjetlosti 70W VTN ima snagu s predspojnom napravom 83W). Ukoliko potrošnja i prividna snaga sustava značajno odstupaju od mapirane instalacije, potrebno je izvršiti mjerenje potrošnje pojedinačnih rasvjetnih tijela, a ako to nije moguće (npr. zračni SKS razvod), potrebno je modelirati potrošnju uvažavajući gubitke predspojne naprave i odstupanje od nazivne vrijednosti napona.

2.7. Analiza računa za preuzetu električnu energiju od strane sustava JR

Prilikom analize računa za električnu energiju treba voditi računa o vremenu rada sustava. Slika 9. prikazuje model rada sustava JR tijekom godine s isključenjem u periodu od 0h do 5h. Na slici 10. koja prikazuje trošak za preuzetu električnu energiju tijekom posljednje tri godine, može se uočiti kako model radnog vremena odgovara po obliku podacima o potrošnji EE za proteklu godinu.



Slika 9. Model godišnjeg radnog vremena JR



Slika 10. Trošak JR u (kn) na jednom od analiziranih pojnih mjesta

2.8. Prijedlog mjera poboljšanja energetske učinkovitosti

Prijedlog mjera poboljšanja sustava JR treba osmisлити tako da implementacija bude ekonomski opravdana. S tim ciljem treba pažljivo analizirati trošak električne energije i održavanja sustava. Temeljem dosadašnjih istraživanja [3] najčešće predložena mjera je izmještanje mjernih mjesta izvan infrastrukture niskonaponske distribucije. Druga mjera je provođenje "Snimke postojećeg stanja" jer je česta pojava dokumentacije koja opisuje sustav [4] [5]. Treća mjera je rekonstrukcija sustava JR tj. prijedlog mjere zamjene neučinkovitih ili predimenzioniranih svjetiljki. Prijedlog mora biti sukladan s *HRN EN 13201* i *Zakonu o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja NN 114/11*. Ukoliko se financiranje planira uz potporu Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, prijedlog treba uzeti u obzir i zahtjeve za izračun indikatora kvalitete ulaganja i verifikacije ušteda. Smisao prijedloga nije pružiti projekt koji treba pripremiti ovlašteni projektant već načelno iskazati potencijalne uštede koje proizlaze iz implementacije. Pri tome se od energetske certifikatora očekuje poznavanje osnova projektiranja JR, normi vezanih uz JR, vežeće zakonske legislative, rada sa alatima za modeliranje svjetlosnih scena i poznavanje troškovnika, kako bi izračun jednostavnog povratnog perioda (JPP) investicije bio realan. Primjer sažetka opisa jedne od predloženih mjera zamjene postojećih rasvjetnih tijela prikazan je tablicom 2.

Tablica 2. Analiza zamjene postojećih rasvjetnih tijela 150W s lampama 70(50) W

| Snaga svjetiljke | 70 W | 50 W | 150 W |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Snaga sustava | 11,38 kW | 8,80 kW | 22,36 kW |
| kWh/god. | 11.745,26 | 14.504,63 | 23.919,00 |
| kn/god. | 7.528,80 | 9.297,58 | 17.766,00 |
| JPP (god.) | 8,39 | 6,79 | |

Tablica 2. prikazuje primjer JPP gdje je predložena mjera bila zamjene postojećih svjetiljki snage 150 W, novim modelima snage 70 W koje se mogu reducirati na 50 W uvažavajući pri tome zahtjeve HRN EN 13201.

2.9. Zaključna razmatranja - sažetak

Bitne zaključke koji proizlaze iz energetske pregleda treba sažeti na jednostavan i lako razumljiv način. Sažetak jednog od provedenih pregleda JR glasi:

Sustav javne rasvjete naselja je funkcionalan i uredan. Izgrađen je u sklopu rekonstrukcije niskonaponske mreže i rekonstrukcije križanja u kružni tok. Postojeća dokumentacija se sastoji od dvije knjige, projekta rekonstrukcije niskonaponske mreže... i projekta JR kružnog toka... Izvedeno stanje dijela sustava JR ne odgovara opisu iz projekta rekonstrukcije niskonaponske mreže. Dio sustava opisan u projektu kružnog toka izveden je u skladu s projektom.

Energetskim pregledom utvrđeno je:

- *Sustav JR naselja samo je djelomično u upotrebi. S ciljem uštede isključeno je svako drugo rasvjetno tijelo... Ostvarena ušteda na taj način umanjuje sigurnost prometovanja zbog slabije uočljivosti objekata na prometnicama uslijed neadekvatne uniformnosti osvjetljenja.*

- *Na pojnim mjestima problem predstavlja nemogućnost sigurnog mjerenja svih električnih veličina uslijed blizine sabirnica niskonaponske distribucijske mreže. Izuzetak čini mjerno mjesto... , ali na njemu kao i na ostalim mjernim mjestima ne postoji dokumentacija koja bi omogućila jednostavnije snalaženje u izvodima JR.*

Prijedlog mjera:

- *Mjerna mjesta JR neophodno je izmjestiti iz niskonaponske distribucije sukladno Zakonu o komunalnom gospodarstvu (NN 70/97) i napraviti "Snimku postojećeg stanja" kako bi se opisali svi elementi sustava javne rasvjete, definirale jednopolne sheme, utvrdio raspot po izvodima i opterećenja pojedinih izvoda.*

- *Prilikom izrade projekta zatečenog stanja treba voditi računa o potrebi upisa sustava u katastar vodova tj. da se svi elementi sustava georeferenciraju, [6][7].*

- *Dugoročno, s ciljem ostvarenja energetske uštede potrebno je napraviti rekonstrukciju sustava JR zamjenom postojećih svjetiljki 150 W s modelima manje snage. Izradu projekta rekonstrukcije javne rasvjete treba povjeriti ovlaštenom projektantu kako bi bio u skladu sa zahtjevima Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU) kojem bi se trebalo obratiti za sufinanciranje...*

2.10. Prilozi

Prilozi bi trebali sadržavati sve podatke o trošku rada za protekle tri godine (mrežarina i preuzeta električna energija po mjesecima) koji zbog velikog broja podataka nisu prikladni za osnovni sadržaj izvješća. Osim podataka o potrošnji, prilozi bi trebali sadržavati fotodokumentaciju sustava, podatke mapiranja u GIS-u i podatke mjerenja svjetlosnih veličina s uključenim prostornim informacijama (geokodirani).

3. Zaključak

Javna rasvjeta je sastavni dio komunalne infrastrukture. Zakonskom odredbom energetske pregled javne rasvjete potrebno je provodi svakih pet godina. Provedba energetske pregleda javne rasvjete predstavlja zahtjevan postupak analize sustava.

Rezultate energetske pregleda treba prikazati kroz "Izvješće o provedenom energetske pregledu javne rasvjete". Izvješće mora biti napisano u skladu s metodologijom energetske pregleda JR koja ostavlja puno slobode u obliku pisanja i sadržaju izvješća. Predloženi sadržaj izvješća o pregledu je pokušaj doprinosa razvoju metodologije kroz obavezno iskazivanje pokazatelja energetske učinkovitosti i mapiranje elemenata sustava uz pomoć GIS podrške otvorenog koda. Mapiranje tj. načelno georeferenciranje elemenata sustava predstavlja postupak koji je po mišljenju autora potreban obzirom da je funkcija JR direktno vezano s prostornim smještajem pojedinih elemenata sustava. Zbog uočljivosti elemenata sustava, točnost dostupnih GPS uređaja opće upotrebe je dostatna za prostorno snalaženje.

Mjerenja električnih i svjetlosnih veličina predstavljaju najvažniji dio energetske pregleda. Sustav JR nije podložan naglim promjenama, ali svejedno rezultate mjerenja treba ispravno interpretirati jer se najčešće mjerenja ne mogu provesti istovremeno. Posebnu pažnju treba posvetiti predspojnim napravama i odstupanju napona od nazivne vrijednosti. Odstupanje napona može dovesti do značajne razlike u potrošnji instaliranih svjetiljki.

Sustav JR, ukoliko već nije, potrebno je upisati sustava katastarskih vodova. Katastar (evidencija, popis) vodova temeljen na geodetskom snimanju vodova, zakonska je obveza od 1969. godine. Podaci o položaju prikupljeni tijekom mapiranja u sklopu pregleda ne mogu se iskoristiti za potrebe katastra vodova, zbog smanjene točnosti podataka, već je potrebno angažirati geodetski ured.

Ovlaštene osobe za provedbu energetske pregleda moraju biti upoznate s osnovama projektiranja javne rasvjete kako bi prijedlog mjera energetske učinkovitosti bio sukladan važećim normama i legislativom. Neovisno o stupnju razrade prijedloga on ne može biti osnova projekta rekonstrukcije. Izradu projekta treba povjeriti ovlaštenom projektantu koji će temeljem rezultata pregleda i zahtjeva FZOEU naći optimalno tehničko rješenje rekonstrukcije ili izrade novog sustava JR.

4. Literatura

- [1] Glavaš, Hrvoje; Ivanović, Milan; Barić, Tomislav; Energetski pregled javne rasvjete prometnica, 23. znanstveno stručni skup organizacija i tehnologija održavanja, zbornik radova, Društvo održavatelja Osijek, Elektrotehnički fakultet Osijek, HGK Županijska komora Požega, Požega 2014. 33-45
- [2] Glavaš, Hrvoje; Ivanović, Milan; Mandić, Niko; Energy Audit of Public Lighting in the Area of Osijek-Baranja County (Croatia) // EnergyCon 2014 / Igor Kuzle, Tomislav Capuder, Hrvoje Pandžić (ur.). Copyright © 2014 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2014.
- [3] Glavaš, Hrvoje; Blažević, Damir; Ivanović, Milan; Quality and energy efficiency of public lighting in the area of Osijek-Baranja County. // Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette. Vol.19 No.3 Rujan 2012.; 549-556
- [4] Šmit, Tomislav; Glavaš, Hrvoje; Nikolovski, Srete; Geoinformacijski sustavi u prijenosu i distribuciji električne energije // 10. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, 3. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi / P. Raos, D. Kozak, M. Somolanji, J. Stojšić, Z. Tonković (ur.). Osijek, 2012.
- [5] Blažević, Damir; Ivanović, Milan; Glavaš, Hrvoje; Održavanje javne rasvjete na području OBŽ // 21. Znanstveno-stručni skup organizacija i tehnologija održavanja - OTO '2012 / Z. Lacković, M. Ivanović (ur.). Osijek : Društvo održavatelja Osijek, Elektrotehnički fakultet Osijek, Sladorana Županija, 2012. 41-49
- [6] Dalibor Mesarić, Mario Štimac, Franjo Ambroš: "Informacijske pretpostavke za izgradnju infrastrukture za širokopojasni pristup", 37th international convention on information and communication technology, electronics and microelectronics, MIPRO 2014., May 26 - 30, 2014, Opatija, Croatia
- [7] Boris Blagonić: "Katastar vodova u lokalnoj infrastrukturi prostornih podataka", Doktorski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012.

Stanje i trendovi emisije CO₂ u Hrvatskoj *CO₂ emission in Croatia: current state and trends*

M. Stefanović^{1,*}, I. Sutlović², P. Raos³

1. Fakultet Kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska
2. Fakultet Kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska
3. Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

*Autor za korespondenciju, E-mail: mstefanovic01@gmail.com

Sažetak

Prikazan je povijesni pregled programa i protokola vezanih uz problem klimatskih promjena te je napravljen kratak osvrt na razvoj Kyoto protokola, a samim time i puta kojim je došlo do sadašnjeg načina razmjene emisijskih jedinica. Uz pregled najvažnijih direktiva i odredaba Europske unije i Republike Hrvatske vezanih uz sustav trgovanje emisijama, u radu su prikazane i projekcije emisija za tri moguća scenarija – scenarij koji ne uključuje mjere smanjena emisija, scenarij s mjerama i scenarij sa dodatnim mjerama. Kako kroz povijest, tako je i u današnjem svijetu korištenje energije povezano s gospodarskim rastom i razvojem, a potrošnju energije prate emisije raznih stakleničkih plinova. U ovom radu je za prikaz ukupne emisije ugljičnog dioksida korištena jednadžba koja objedinjuje najvažnije veličine; bruto domaći proizvod, stanovništvo, energetska intenzitet gospodarstva te intenzitet ugljika. Analizom prikupljenih podataka te mijenjanjem parametara prikazan je jedan od mogućih scenarija emisija.

Ključne riječi: Kyoto protokol, ugljični dioksid, staklenički plinovi, scenariji emisija CO₂.

Abstract

This paper introduces the history of programs and protocols, dealing with the problem of global warming and a brief summary of the development and growth of the Kyoto protocol that shows why and how things are done today. Also, the given synopsis shows the most important directives and regulations in European Union and Republic of Croatia concerning the emission trading scheme, and the three different scenarios – one that does not include any measures against global warming and possible emissions, one with medium size measures, and one that implies additional ones. Today, economic growth and development of countries is directly connected with the usage of energy and by that, with the emissions of different greenhouse gases. An equation containing parameters such as gross domestic product, population, energy intensity and the carbon intensity has been used to show which of them affect the problem of emission the most. Collected data has been analyzed and by alternating certain factors, the used equation showed one of the possible scenarios concerning the emissions of CO₂.

Key words: Kyoto Protocol, greenhouse gasses, carbon dioxide, CO₂ emission scenarios

1. Povijesni pregled

U drugoj polovici dvadesetog stoljeća postalo je jasno da je čovjek odgovoran za klimatske promjene, te se u 70-tim godinama u Sjedinjenim Američkim Državama donose prvi zakoni i aktovi o zaštiti okoliša: *Clean Air Act* koji propisuje ograničenje onečišćenja zraka na državnoj razini, i ubrzo nakon toga, *Clean Water Act*. Na inicijativu Sjedinjenih Američkih Država i skandinavskih zemalja, 1972. godine u Stockholmu održava se Konferencija o ljudskom okolišu (ECO I), a ubrzo nakon toga Opća skupština Ujedinjenih naroda usvaja program pod nazivom United Nations Environment Programme (UNEP). Prva svjetska konferencija o klimi održana je u Ženevi 7 godina kasnije te je na njoj usvojen Svjetski klimatski program (*World Climatic Programme*, *WCP*). 1987. godine usvojen je Protokol iz Montreala, a godine nakon Generalna skupština Ujedinjenih naroda proglasila je klimatske promijene „zajedničkom brigom čovječanstva“, te je usvojila Odluku 43/53 kojom se pozvalo na zaštitu svjetske klime. Iste godine, UNEP i Svjetska meteorološka organizacija (*World meteorological organisation*, *WHO*) osnovali Međuvladino tijelo za klimatske promjene (*Intergovernmental panel on climate change*, *IPCC*). Konferencija o zaštiti životne sredine i razvoju (tzv. Samit o Zemlji) održana je 1992. godine u Rio de Janeiru, te je 160 država Ujedinjenih naroda donijelo „Konvenciju o klimi“ (*United nation framework convention on climate change*, *UNFCCC*) koja je stupila na snagu nakon što ju je ratificiralo 50 država. Temeljni cilj ove Konvencije je „postići stabilizaciju koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi na razini koja će spriječiti opasno antropogeno djelovanje na klimatski sistem“, ali njome nisu definirane točne mjere nego nekoliko temeljnih načela djelovanja – zajednička ali odvojena odgovornosti, oprezni pristup i održivi razvoj. Konvenciju UNFCCC usvojile su i ratificirale gotovo sve države svijeta, te u njoj postoje određene odredbe koje se pozivaju na određene skupine država definirane kao stranke iz Priloga I, stranke iz Priloga II te stranke izvan Priloga I (*Annex I*, *Annex II* i *non-Annex I*). Kako su vlade država potpisnica bile svjesne da usvojena Konferencija UNFCCC sadrži samo prijedloge deklarativne naravi, osnovana je Konferencija stranaka (*Conference of the Parties*, *COP*) na čijem je trećem zasjedanju prihvaćen Kyoto Protokol. Četiri godine kasnije, na sedmom zasjedanju u Maroku usvojen je paket odluka o praktičnoj provedbi fleksibilnih mehanizama, te su te odredbe postale poznate pod nazivom „Marakeški sporazumi.“

2. Kyoto protokol

Protokolom iz Kyota propisuju se obveze smanjenja ukupne antropogene emisije stakleničkih plinova, te su se države potpisnice obvezale da će u razdoblju od 2008. do 2012. godine smanjiti emisije za 5,2 % s varijabilnim kvotama za države Priloga I ispod razine emisija plinova iz 1990. godine. [1] Protokol je prihvaćen 11. prosinca 1997. godine u Kyotu u Japanu na Trećoj konvenciji stranaka UNFCCC-a, te je on stupio na snagu 16. veljače 2005. godine.

Protokol se sastoji od 28 članaka, a sadrži odredbe, načine i postupke za ostvarenje propisanih smanjenja, opis proračuna i načina priopćavanja emisija te način procjenjivanja ostvarenja zadanih ciljeva. Kyoto protokolom i UNFCCC-com za svaku državu potpisnicu određuje se emisija stakleničkih plinova bazne godine (standardno je to 1990. godina) te ona služi kao referentna vrijednost za postojeće i buduće obveze smanjenje stakleničkih plinova. Protokol polazi od činjenice da je svejedno gdje je na globalnoj razini došlo do emisije te su ciljevi za pojedine države drugačiji, kreću se od -8% smanjenja do +10% povećanja emisije jer je veće opterećenje stavljeno na razvijene zemlje po principu „zajedničke, ali odvojene odgovornosti“.[1]

Potpisnice Protokola dijele se na tri grupe: države Priloga I, države Priloga II te države koje nisu u Prilogu I. Svakoj državi iz Priloga I određene su specifične kvote smanjenja emisija

koje su ovisile o njenom gospodarstvu i samoj razini emisije. Kvote se utvrđuju standardiziranim proračunom, a smanjenje se može postići primjenom domaćih mjera ili korištenjem tzv. dodatnih, fleksibilnih mehanizama Kyoto protokola. Ti mehanizmi dijele se na mehanizam zajedničke provedbe (*Joint Implementation, JI*), mehanizam čistog razvoja (*Clean Development Mechanism, CDM*) te trgovanje emisijama (*Emission Trading Scheme, ETS*). Svaki od navedenih mehanizama predviđa sudjelovanje dviju država na sljedeće načine: trgovanje kvotama emisija između dviju država iz Priloga B, zajedničku provedbu suradnjom između dviju država Priloga B ili mehanizam čistog razvoja između jedne države Priloga B i jedne države izvan Priloga I.

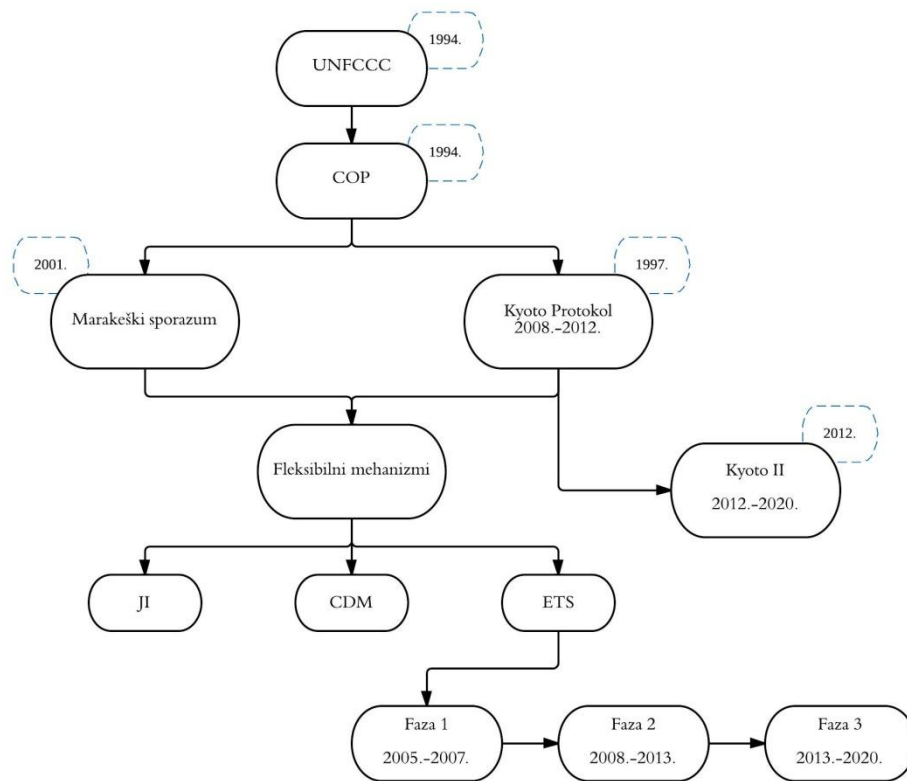
JI mehanizmi namijenjeni su provedbi u državama Priloga I, odnosno razvijenim državama i državama u razvoju, a uključuju najmanje dvije države koje imaju kvantificiranu obvezu smanjenja emisija prema Protokolu. Oni razvijenim državama daju fleksibilno i ekonomski prihvatljivo rješenje postizanja ciljeva Kyoto Protokola, dok zemlji domaćinu donose korist od novih ulaganja i tehnologija.[1]

CDM projekti namijenjeni su za provedbu državama izvan Priloga I, tj. državama u razvoju te onima koje nemaju kvantificiranu obvezu smanjenja emisije stakleničkih plinova prema Kyoto protokolu. Mehanizam omogućuje smanjenje emisija preko smanjenja emisija u državama u razvoju, te potiče održivi razvoj dok u isto vrijeme razvijene zemlje dobivaju priliku za fleksibilan način zadovoljenja ciljeva Protokola. [2]

ETS sustav namijenjen je za provedbu mjera na ekonomski učinkovit način, te on omogućava državama koje su dovoljno smanjile svoje emisije da višak dodjeljenih jedinica prodaju državama čije emisije premašuju dodjeljene kvote. Ovaj sustav provodi se u tri faze, te je on direktna posljedica i najobuhvatnija mjera kojom EU nastoji izvršiti obveze preuzete Kyoto Protokolom.

Temeljna ideja ovih mehanizama je da je su posljedice emisija stakleničkih plinova globalan problem te da se redukcija istih ima isti utjecaj neovisno gdje ili kako je postignuta. JI i CDM mehanizmi zasnivaju se na provedbi projekata smanjenja emisija, ali se razlikuju po tome što se ti projekti provode u državama s različitim obvezama prema Protokolu, te kod njih dolazi do *ex-post* verifikacije. S druge strane, ETS sustav je tzv. „*cap and trade*“ program koji je zasnovan na *ex-ante* raspodijeli prava.[3]

Iako je Kyoto Protokol trebao isteći 2012. godine, na Osamnaestoj konvenciji stranaka UNFCCC-a u Dohi, plan protiv globalnoj zatopljenja produljen je do 2020. godine čime je pokrenut Protokol iz Kyota II. Iako se Kyoto II odnosi samo na države članice EU te nekoliko drugih zemalja jer su Japan, Rusija i Novi Zeland odbili pristati na dodatan period a Sjedinjene Američke Države i Kanada nikad nisu ni potpisale Kyoto protokol, dogovoreno je drugo obvezujuće razdoblje kako ne bi propali naponi smanjenja emisija država potpisnica. Jedna od svrha Kyoto II protokola je sistematska redukcija emisija te poticanje tržišta emisijama. Unatoč produljenju, ne očekuje se veliko smanjenje emisija stakleničkih plinova jer ni jedna od država koja emitira velike količine nije odlučila drastično smanjiti emisije, te to znači da će tržište emisijama ugljičnog dioksida ostati nepromijenjeno, odnosno da projekt Kyoto II neće dovesti do viših cijena emisijskih jedinica. Shematski pregled iznesenog sustava smanjenja emisija CO₂ dan je slikom 1.



Slika 1. Prikaz sustava za smanjenje emisija

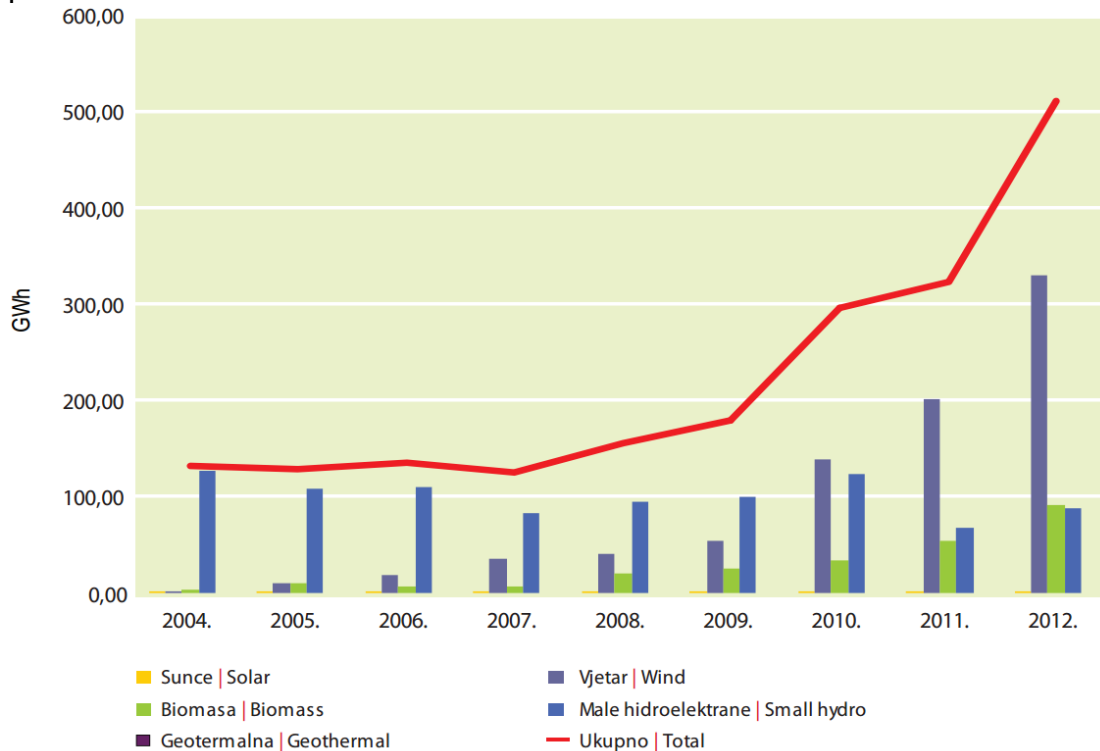
3. Projekcije emisija i stanje u Hrvatskoj

Sukladno Uputama za izradu nacionalnog izvješća stranaka Priloga Konvencije (FCCC/CP/1997/7, Dio II) prilikom prikazivanja emisija stakleničkih plinova, izvore emisija potrebno je podijeliti u šest glavnih sektora: energetika, industrijski procesi, uporaba otapala i ostalih proizvoda, poljoprivreda, korištenje zemljišta, promijena korištenja zemljišta i šumarstvo (LULUCF) i gospodarenje otpadom. U Republici Hrvatskoj, najznačajniji izvori CO₂ su sektor energetike (podsektor Proizvodnje električne energije i topline te podsektor Promet) i sektor industrijskih procesa (podsektor proizvodnje cementa i podsektor poroizvodnje amonijaka), a u LULUCF sektoru dolazi do odliva ugljičnog dioksida. Tablicom broj 1. prikazane su vrijednosti za određene sektore u razdoblju od 1990. godine do 2011. godine. [4]

Tablica 1. Emisije/odlivi CO₂ za razdoblje u razdoblju 1990.-2011.

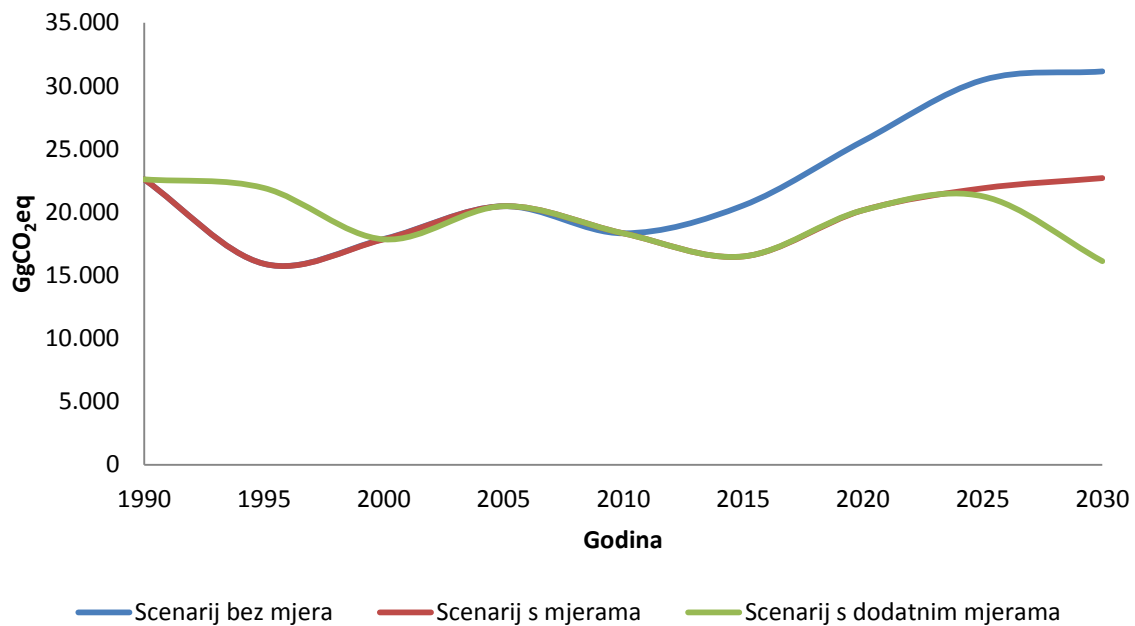
| Sektor | 1990. | 1995. | 2000. | 2005. | 2008. | 2009. | 2010. | 2011. |
|-----------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Energetika | 21.234 | 15.904 | 18.086 | 21.061 | 21.155 | 19.957 | 19.252 | 19.052 |
| Industrijski procesi | 2.023 | 1.224 | 1.933 | 2.264 | 2.395 | 1.906 | 1.915 | 1.710 |
| Uporaba otapala | 82 | 74 | 74 | 160 | 205 | 119 | 121 | 107 |
| LULUCF | - 6.431 | - 9.085 | - 7.784 | - 8.159 | - 7.836 | - 8.076 | - 7.882 | - 7.049 |
| Otpad | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 1,01 | 0,38 | 0,13 | 0,05 |
| Ukupna emisija | 16.907 | 8.117 | 12.309 | 15.327 | 15.920 | 13.907 | 13.407 | 13.820 |

Kao što je ranije u radu napomenuto, jedan on najznačajnijih izvora CO₂ u Hrvatskoj je proizvodnja električne energije a kao jedna od mogućih alternativa proizvodnje energije je i korištenje obnovljivih izvora energije. Proizvođači električne energije ovim načinom imaju mogućnost korištenja dodatnih poticaja, te su emisije stakleničkih plinova znatno manje nego prilikom korištenja konvencionalnih metoda. Prikupljeni podatci prikazani slikom broj 2. pokazuju proizvodnju električne energije dobivene iz obnovljivih izvora energije [5], te se može uočiti porast energije dobivene iz biomase i vjetroelektrana, a nakon 2009. godine i stalan pozitivan trend.



Slika 2. Proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije

Prikazane povijesne emisije plinova obuhvaćaju razdoblje od 1990. do 2010. godine, a projekcije emisija prikazane za sektore energije i industrije razdoblje od 2015. do 2030. godine – kako je prikazano u Prijedlogu šestog nacionalnog izvješća Republike Hrvatske prema UNFCCC-u. Projekcije su iskazane za tri moguća scenarija (slika 3.): a) scenarij bez mjera koji isključuje primjenu, usvajanje i planiranje bilo koje politike ili mjere nakon godine odabrane za početnu godinu scenarija; b) scenarij s mjerama koji predviđa primjenu važeće politike i mjera čija je primjena već u tijeku, odnosno primjenu politike i mjera koje su usvojene, i c) scenarij s dodatnim mjerama koji se zasniva na primjeni planirane politike i mjera. [4]



Slika 3. Prikaz povijesnih emisija i ukupnih projekcija stakleničkih plinova

U scenariju b) emisija CO₂ je otprilike jednaka razini emisije bazne godine, dok u scenariju c) emisija pada za čak 16%. Prema očekivanjima, u 2030. godini scenarij b) pokazuje smanjenje emisije za 31%, a scenarij c) za 45%, oba u odnosu na scenarij bez mjera.

4. Ovisnost emisija CO₂ i gospodarskih pokazatelja

Kako su najveći proizvođači emisija energetske i industrijske sektor, potrebno je djelovati na izvore CO₂ kao što su izgaranje fosilnih goriva, ali budući da je korištenje energije direktno povezano sa gospodarskim rastom i razvojem upitno je da li je uopće moguć razvoj gospodarstva bez korištenja tih goriva.

Jedan od načina na koji se može prikazati ovisnost emisija stakleničkih plinova o gospodarstvu je pomoću izraza:

$$GS = P \cdot \frac{BDP}{P} \cdot \frac{GS}{BDP} \quad (4.1.)$$

Ukupna emisija stakleničkih plinova (GS) ovisi o broju stanovnika P [milijun], bruto društvenom proizvodu po stanovniku BDP/P [kn/EUR] i čimbenika GS/BDP koji povezuje emisiju stakleničkih plinova i BDP. Navedena jednadžba vrijedi za svaki zatvoreni sustav ali kad bi se u nju uvrstili realni podatci, ona bi postala zbroj velikog broja varijabli koje uglavnom nisu u realnim odnosima. U sljedećoj jednadžbi uvedeni su dodatni parametri te je rješenje ove jednadžbe blisko stvarnim, mjerljivim parametrima.

$$CO_2 = P \cdot \frac{BDP}{P} \cdot \frac{E}{BDP} \cdot \frac{EM}{E} \quad [kt] \quad (4.2.)$$

Faktor E/BDP predstavlja energetske intenzitet gospodarstva, dok EM/E predstavlja intenzitet ugljika u proizvodnim procesima.

Energetski intenzitet ili energetska inenzivnost je jedan od najvažnijih ekonomskim pokazatelja te se ona definira kao:

$$EI = \frac{P_e}{Y} = \frac{E}{BDP} \quad (4.3.)$$

EI predstavlja energetske intenzivnost, P_e potrošnju energije [PJ], a Y dohodak zemlje u monetarnim jedinicama [kn/EUR].

Emisije CO₂ izračunavaju se prema slijedećoj formuli:

$$EM = EFC \cdot H_d \cdot O_c \cdot \frac{44}{12} \cdot Q \quad (4.4.)$$

Gdje EM predstavlja ukupnu emisiju CO₂ u tonama, EFC emisijski faktor ugljika [t C/TJ], H_d donju toplinsku moć goriva [GJ/t ili GJ/10³ m³], O_c udio ugljika koji oksidira, 44/12 je stehiometrijski odnos CO₂ i C, a Q količina goriva [kt ili 10⁶ m³], te su ti faktori definirani u IPCC/UNEP/OECD/IEA (1997) dokumentu [3].

5. Emisije CO₂ u Hrvatskoj

Primjer proračuna emisija CO₂ za Hrvatsku prema jednadžbi (4.2) za podatke iz 2000. godine [5] dan je u nastavku.

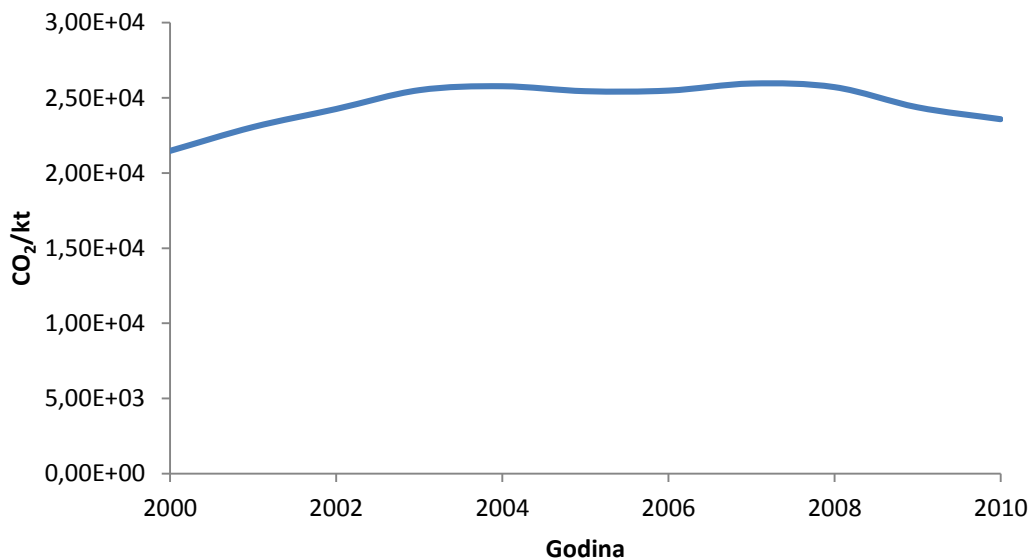
$$CO_2 = P \cdot \frac{BDP}{P} \cdot \frac{E}{BDP} \cdot \text{intenzitet ugljika}$$

$$CO_2 = 4,426 \cdot \frac{176.690}{4,426} \cdot \frac{360,07}{176.690} \cdot \frac{2,5}{4,19 \cdot 10^{-8}}$$

$$CO_2 = 4,426 \cdot 39.920,92 \cdot 0,002 \cdot \frac{2,5}{4,19 \cdot 10^{-8}}$$

$$CO_2 = 2,148 \cdot 10^4 \text{ kt}$$

Računanjem emisija CO₂ za razdoblje od 2000. do 2010. prema dostupnim podacima [5] dobiva se dijagram prikazan slikom 4.

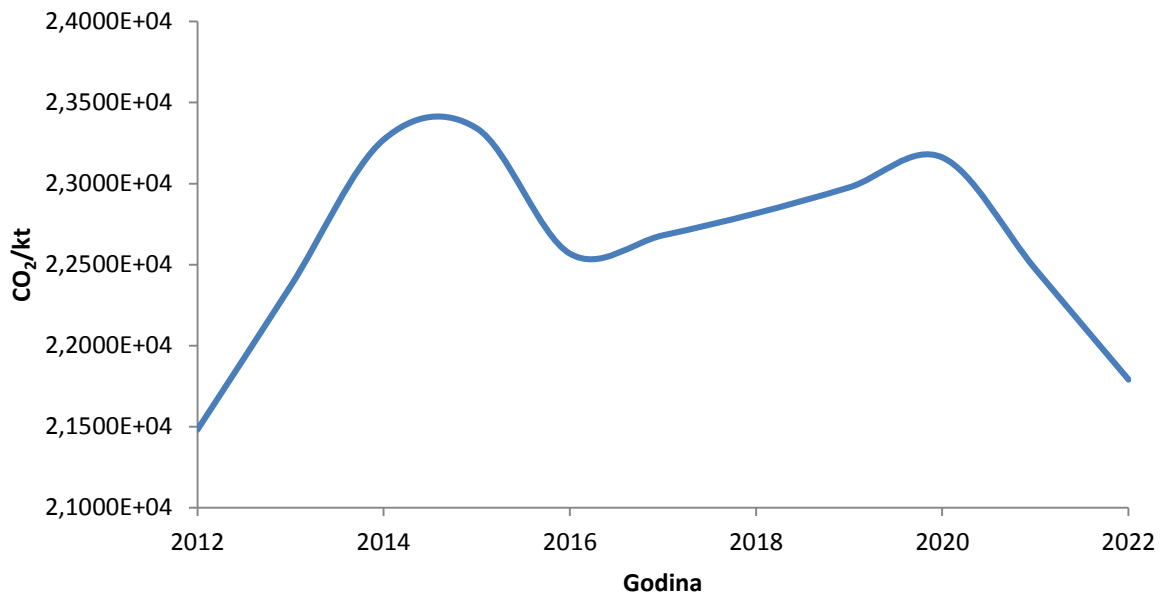


Slika 4. Prikaz emisije CO₂ u razdoblju od 2000. do 2010. godine

Između 2000. i 2003. godine može se uočiti porast emisije što je vjerojatno vezano uz gospodarski rast te samim time i povećanom potrebom za energijom. Nakon 2008. godine dolazi do polaganog pada emisija. Obzirom da nije došlo do znatnih promjena u broju stanovnika, intenzitetu ugljika ili energije već samo do pada BDP-a može se zaključiti da je nepovoljna gospodarska situacija u državi zaslužnija za smanjenje emisija od samih mjera koje se provode.

Jednako je važno i predvidjeti kretanje emisija CO₂ u određenom razdoblju što je jedino moguće uz određene pretpostavke kretanja pojedinih utjecajnih veličina.

Na slici 5 prikazan je jedan od mogućih scenarija sa sljedećim pretpostavkama: BDP za 2012. godinu smanjuje se godišnjom stopom od 0,5%, potrošnja energije povećava se godišnjom stopom od 0,1%, a broj stanovnika ne mijenja se odnosno iznosi 4,440 milijuna. Vrijednosti intenziteta ugljika odgovaraju realnim vrijednostima za prošlo desetljeće, te zbog toga dolazi to naglog pada količine emisije CO₂ 2016. godine. Usporedbom slike br. 5 te slike br. 3 može se uočiti da bi ovaj scenarij pratio scenarij sa dodanim mjerama.



Slika 5. Prikaz projekcija emisija CO₂

6. Zaključak

Kyoto protokol predstavlja krunu svih težnji i aktivnosti za smanjenjem emisija stakleničkih plinova koje su se događale pod okriljem Ujedinjenih naroda. Na žalost, zbog odbijanja ratifikacije od strane nekih od ključnih svjetskih gospodarskih sila nije postigao potpun uspjeh. Za one zemlje koje su ga pak ratificirale, poput Hrvatske, on kroz niz složenih mehanizama propisuje dopuštene emisije stakleničkih plinova. Kroz prikazane primjene vidljiva je međuovisnost ekonomskih, populacijskih i energetske pokazatelja. Poznavanje tih međuodnosa ključno je za uspješno ispunjenje postavljenih i obvezujućih ciljeva.

7. Literatura

- [1] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode. URL: <http://klima.mzoip.hr/> (13-06-2014)
- [2] Dominis, Željko. Posljedice stupanja na snagu Protokola iz Kyota // *Naše more*, 53(3-4)/2006, 125-139. (ISSN 0469-6255)
- [3] Piani, Giandomenico; Višković, Alfredo; Saftić, Bruno. Protokol iz Kyota. Zagreb, 2010.
- [4] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode; Šesto nacionalno izvješće Republike Hrvatske prema Okvirnoj konvenciji UN-a o promijeni klime. Zagreb, 2013
- [5] Ministarstvo gospodarstva, Energija u Hrvatskoj 2012. Zagreb, 2013

Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi *Electric Car - history and components*

M. Stojkov^{1,*}, D. Gašparović², D. Pelin³, H. Glavaš³, K. Hornung⁴, N. Mikulandra⁵

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

²HEP-ODS – Elektra Sisak, Hrvatska

³Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska

⁴Srednja škola Valpovo, Hrvatska

⁵Končar – INEM, Zagreb, Hrvatska

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

Sažetak

U ovom radu opisuje se povijest razvoja električnog automobila, sastavni dijelovi i princip rada električnog automobila. Unatoč tome što su se prvi električni automobili pojavili još početkom prošlog stoljeća, napredak u njihovom razvoju zasjenjen je masovnom proizvodnjom i uporabom automobila s unutarnjim izgaranjem. U zadnjih nekoliko godina ponovno se javlja ogroman globalni interes za električnim automobilima, što zbog sve veće ekološke osviještenosti društva, što zbog ogromnog napretka u učinkovitosti baterija. Mnoge su prednosti električnih automobila u odnosu na klasične: nema emisije stakleničkih plinova, manja ovisnost o fosilnim gorivima, veća učinkovitost motora, manja razina buke itd. Unatoč tome, za daljnji razvoj i globalnu primjenu električnih automobila potrebno je riješiti još nekoliko značajnih prepreka od koji je najveća ograničen kapacitet baterija. Konstantan napredak na području razvoja baterija i energetske učinkovitosti sigurno dovode električne automobile u svakodnevnu primjenu, a samo je pitanje vremena kada će električni u potpunosti biti konkurentni klasičnim automobilima.

Ključne riječi: električni automobil, povijest razvoja, sastavni dijelovi, baterije, ekologija, energetska učinkovitost

Abstract

This paper describes the history of the development of electric cars, components and working principle of the electric car. Despite the fact that the first electric car appeared at the beginning of the last century, progress in their development is overshadowed by the mass production and use of cars with internal combustion engines. In recent years, huge global interest in electric cars again appears, caused by the increasing environmental awareness of society and by the enormous progress in battery efficiency. Many of the benefits of electric cars compared to conventional are: no greenhouse gas emissions, less dependence on fossil fuels, greater engine efficiency, lower noise levels, etc. Nevertheless, for further development and global deployment of electric cars is necessary to solve a few of the major obstacles that limited the maximum capacity of the battery. The constant progress in the development of the battery and energy efficiency certainly bring electric cars in everyday use, and it is only a matter of time before the electric car become fully competitive to classic cars.

Key words: electric car, history of development, components, batteries, ecology, energy efficiency

1. Uvod - Razvoj električnih vozila

Razvoj tehnologije uvelike je potaknut mogućnošću njene praktične primjene u svakodnevnom životu. Jedan od primjera je električni automobil koji se pojavio nedugo nakon konstrukcije prvog elektromotora. Prvi elektromotor s osnovnim dijelovima rotorom, statorom i komutatorom konstruiran je 1828. Daljnjim usavršavanjem elektromotora dolazi i do prvih komercijalnih primjena elektromotora u industriji pa tako nastaju i prvi električni automobili.

Konstrukcija prvog pravog električnog automobila može se pripisati Robert Andersonu između 1832. – 1839. godine, dvadeset godina prije konstrukcije prvog motora s unutarnjim izgaranjem (Jean Joseph Étienne Lenoir, dvotaktni motor, 1860.; Nicolaus August Otto, četverotaktni motor, 1867.), odnosno prvog automobila na benzinski pogon i tri točka (Karl Friedrich Benz, 1885. - 1886.), [1]. U narednim desetljećima dolazi do velikog napretka u razvoju električnog automobila i njihove komercijalne primjene. Godine 1834. Thomas Davenport konstruira prvi istosmjerni elektromotor u SAD-u, potom je 1838. William H. Taylor (SAD) zaslužan za dalji razvoj elektromotora. Godine 1838. rusko-njemački fizičar Moritz von Jakobi (Boris Semyonovich) (1801. - 1874.) - izrađuje električni motor za pogon broda na rijeci Nevi u Petrogradu. U razdoblju 1837. - 1842. u SAD-u su Thomas i Emily Davenport razvili napredniju konstrukciju Faradayevog istosmjernog elektromotora tako da se mogao koristiti u komercijalne svrhe (napajanje iz jednokratnih baterija) s primjenom u tiskarstvu (prese) i pogonu strojnih alata. Pri tome su bili veliki troškovi baterijskih izvora napajanja pa je potražnja za ovom vrstom motora premala (zanemariva šira komercijalna uporaba). Godine 1842. Thomas Davenport i Robert Davidson (Škotska) neovisno konstruiraju bolji električni automobil (cinkove baterije koje se nisu mogle puniti nego su se mijenjale što je bilo vrlo skupo). U periodu 1859. - 1865. Gaston Plante (Francuska) istražuje i razvija punjive baterije, preteča današnjih akumulatora (olovo u kiselini). Godine 1860., konstruiran je dinamo. Godine 1881. Camille Alphonse Faure (Francuska) konstruira bolje olovne baterije većeg električnog kapaciteta što je preduvjet za daljnji razvoj električnih automobila. Frank Julian Sprague 1886. konstruirao je prvi praktični istosmjerni motor koji je bio sposoban održati konstantnu brzinu pri promjenljivoj teretu. William Morrison izrađuje elektromobil 1891. Iste godine Peugeot osniva svoju prvu tvornicu automobila (prije Peugeota, 1889. već postoji „Panhard&Levassor“). Kasno 19. stoljeće smatra se zlatnim dobom za električne automobile; u Londonu Walter C. Bersey proizvodi električne automobile za potrebe taksi prijevoza, a iste godine „Electric Carriage and Wagon Company of Philadelphia“ uvodi električne taksije u New York City-u, [2]. Iako su u to doba već postojali automobili pogonjeni motorima s unutarnjim izgaranjem, električni automobili imali su brojne prednosti nad konkurencijom: nepostojanje ispušnih plinova, manja buka te ugodnija vožnja bez potrebe za ručnom promjenom stupnjeva. U to vrijeme jedino ograničenje električnih automobila je bio radijus kretanja i prosječna brzina. Veliki nedostatak automobila pogonjenih motorom s unutarnjim izgaranjem bio je start motora (ručni pokretač – „kurbla“). Malo je poznato da je prvi automobil koji je konstruirao Ferdinand Porsche bio pogonjen elektromotorom. Godine 1899. Lohner-Porsche konstruira prvi hibridni automobil. Početkom 20. stoljeća električna vozila (EV) imaju veći udio u ukupnom broju automobila u SAD. Charles Kettering 1912. patentira električni pokretač za automobile s motorom s unutarnjim izgaranjem, slijedi serijska proizvodnja automobila s motorima s unutarnjim izgaranjem (MsUI) koja dodatno smanjuje cijenu proizvoda (Henry Ford, 1908. - 1927. - model T koji koristi etanol i benzin a proizveden je u 15 milijuna primjeraka uz najveću brzinu vožnje od

30 km/h). Godine 1916. Woods Motor Vehicle Company of Chicago proizvodi hibridni automobil.

Iako prvih godina 20. stoljeća električni automobili čine većinu svih automobila u SAD, u razdoblju 1935 - 1960. dolazi do zastoja u razvoju EV. Naime, u to vrijeme je automobil s pogonom temeljenim na motoru s unutarnjim izgaranjem neisplativ jer je u to vrijeme cijena nafte bila izuzetno visoka. Ipak, nakon otkrića nafte u Texasu, cijena nafte pada. Autonomija (udaljenost koju samostalno može prijeći bez punjenja baterije) automobila s unutarnjim izgaranjem je bitno veća što je važno kod međugradskih relacija. Dvadesetih godina 19. stoljeća dolazi do poboljšanja cestovne infrastrukture te najveći nedostatak električnih automobila postaje sve izraženiji; baterije koje su služile za napajanje elektromotora nisu dovoljne za duže vožnje električnim automobilom. Otprilike u isto vrijeme otkrivaju se i ogromna nalazišta nafte diljem svijeta (uglavnom SAD) te naftni derivati postaju najisplativiji izvor energije, a automobili s motorom s unutarnjim izgaranjem, zahvaljujući serijskoj proizvodnji, nameću se kao jeftinije i pouzdanije prijevozno sredstvo. Razvoj tehnologije EV bio je ograničen razvojem akumulatorskih baterija kao najslabijom komponentom. U periodu 1910. - 1925. akumulatorska baterije su tehnološki napredovale, npr.: kapacitet akumulatora povećan je za 35%, vijek trajanja za 300%, radijus kretanja vozila za 230%, troškovi održavanja akumulatora su smanjeni za 65%. Danas je električni automobil ponovo postao vrlo interesantan jer je suvremeni održivi razvoj utemeljen na ekologiji i štednji energije. Energija za potrebe transporta iznosi 40-60% ukupne potrošnje fosilnih goriva (uglavnom nafte). Električna vozila trebaju električnu energiju za pogon koja se dobiva iz elektrana. Tijekom noći elektroopskrbne tvrtke imaju problem s plasiranjem električne energije (protočne HE, pogonski minimum TE, NE). Također, električna energija koja se dobiva iz TE (fosilna goriva) ima značajno bolji stupanj korisnog djelovanja nego je to slučaj u MsUI. To ukazuje na mogućnost dobre sinergije između elektroopskrbnih tvrtki i potreba za električnom energijom za EV, poglavito ako bi se punjenje obavljalo većinom u noćnom režimu (jeftinija noćna tarifa obračuna električne energije). Do sada ipak elektroopskrbne tvrtke nisu prepoznale ovu zanimljivu poslovnu mogućnost. EV su po radijusu kretanja i cijeni po km idealna za gradske potrebe (obiteljske potrebe, gradski prijevoz i slično). Gotovo svi proizvođači automobila imaju razvoj EV (poznati, ali i male novoosnovane tvrtke), npr. GM EV1, Ford Ranger EV, Ford e-Ka, Honda EV+, Nissan Hypermini, Toyota e-Com, Peugeot 106 Electric, Mitsubishi MiEV, Nissan Leaf, Tesla Model S, BMW i3, VW Golf electric i drugi. Također, ovoj „novoj“ industriji pridružuju se nove male i velike tvrtke u električnom automobilskom biznisu: „Solectria Corporation“, „Unique Mobility Inc.“, „AC Propulsion Inc.“, „Siemens“ i drugi.

Početak 90-ih godina 20. stoljeća američko zakonodavstvo traži ekološki prihvatljive automobile u cilju smanjenja emisija ispušnih plinova i proizvodnje ZEV automobila (Zero Emission Vehicle). Tako se u Californiji (SAD) 1990. zakonom definira najmanje 10% ZEV od ukupnog broja automobila na što su proizvođači automobila uglavnom reagirali plasiranjem električnih automobila na tržište. General Motors izbacuje na tržište EV1: električni sportski automobil (dvosjed), autonomija 120 km, brzine do 130 km/h i to isključivo u najmu za potrebe ispitivanja. Nakon što se automobilska industrija žalila na ekološki usmjerenom zakonodavstvu, Bushova administracija donosi nove ekološke zakone u korist etanola i biodiezela. Kasnije promjene zakonodavstva na ovom području za vrijeme Clintonovog mandata usmjerene su na razvoj energetske učinkovitosti. Dolazi do velikog razvoja automobila na pogon gorivnim ćelijama nakon čega General Motors prekida najam svih električnih automobila (oko 1000) te ih šalje na uništavanje i recikliranje (sveučilišta, muzeji).

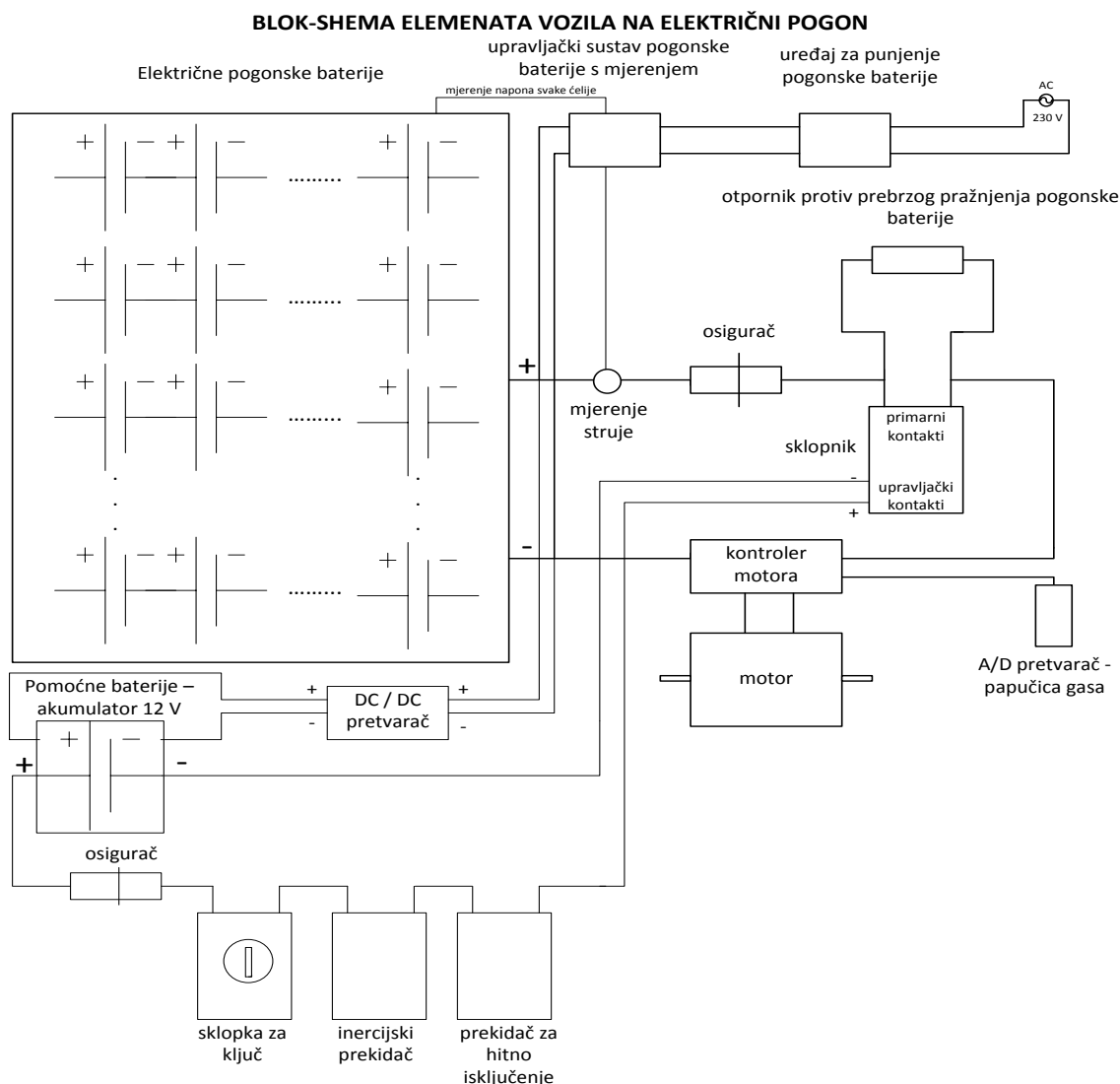
Tijekom cijelog 20. stoljeća, električni automobili su u potpunosti zasjenjeni vozilima s pogonskim motorom s unutarnjim izgaranjem, no u zadnje vrijeme ponovno se javlja interes za električnim automobilima. Sve veći naglasak na ekološkoj osviještenosti, ali i zbog činjenica da su naftne rezerve ograničene, ponovo postavlja električni automobili u fokus mogućih tehničkih rješenja u prometu. Električna vozila rade vrlo tiho i nemaju direktnu emisiju štetnih plinova na mjestu funkcije; stoga se njihova najveća primjena očekuje u bolnicama, skladištima, nacionalnim parkovima, parkovima prirode i velikim gradovima, [1].

2. Osnovni elementi za pogon električnog automobila

Osnovni elementi za pogon električnog automobila su električni motor, električne pogonske baterije te upravljač (kontroler) motora. Ostali dijelovi električnog automobila su: analogno-digitalni pretvarač signala papučice gasa (informacija željene brzine od stane vozača vozila), sklopnik, osigurač ili prekidač, istosmjerni pretvarač napona za pogon uobičajeno ugrađenih trošila vozila na naponskoj razini 12 V (svjetla, pokazivači smjera, brisači, zvučni signal, radio uređaj i slično), mjerni instrumenti za upravljanje vozila (pokazivač preostalog kapaciteta baterija, napon, struja, snaga, brzina), punjač baterija. Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon mora sadržavati su: kabeli pogonskog napona, kabeli pomoćnog napona 12 V, baterije pomoćnog napona 12 V, kabelaške stopice te kabelaški priključci.

Baterija je komponenta koja određuje ukupne karakteristike električnog vozila, definira njegovu cijenu, autonomiju (doseg) i njegovu raspoloživost. Dva su čimbenika koji određuju performanse baterije: energija (pređena udaljenost) i snaga (ubrzanje). Omjer snage i energije (engl. power/energy ratio) – pokazuje koliko je snage po jedinici energije potrebno za određenu primjenu.

Ostali dijelovi koje vozilo na električni pogon može sadržavati su: sklopka za ključ, prekidač hitnog isključenja, inercijski prekidač, otpornik protiv prebrzog pražnjenja električne pogonske baterije, upravljački sustav baterija, upravljački sustav električnog vozila, vakuumska pumpa (ukoliko postoji potreba u kočionom sustavu), električna pumpa za pogon servo-sustava upravljanja volanom, ako isti postoji a nije riješen hidrauličkom pumpom s remenskim prijenosom, slika 1.



Slika 1. Blok shema elemenata vozila na električni pogon

3. Električni motor

3.1. Uvod

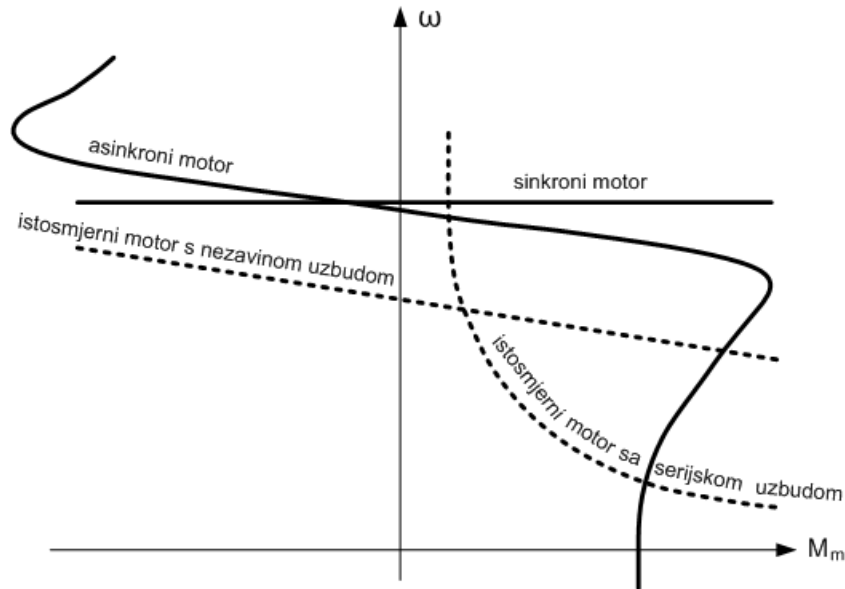
Najvažnija komponenta svakog električnog automobila je električni motor. Električni motor je električni stroj koji električnu energiju pretvara u mehaničku koristeći princip elektromagnetske indukcije. Motori konstrukcijski imaju dva namota (stator i rotor) od kojih je jedan uzбудni a drugi radni ili armaturni namot. Postoje i konstrukcije gdje je uzбудni namot zamijenjen permanentnim magnetima.

Osnovne vrste električnih strojeva prema izvoru napajanja mogu se podijeliti na istosmjerne motore (DC), izmjenične motore (AC) i koračne elektromotore. Prednosti asinkronih (AC) elektromotora u odnosu na istosmjerne (po jedinici snage) su: manja masa, manje dimenzije, manji moment inercije, manja cijena, veća brzina vrtnje, veći stupanj korisnog djelovanja (0,95-0,97 u odnosu na 0,85-0,89), jednostavno i jeftino održavanje. Prednost istosmjernih elektromotora u odnosu na asinkrone je lakše i jeftinije upravljanje.

3.2. Vanjska (mehanička) karakteristika elektromotora i tereta

Moment elektromotora (i tereta) M je funkcija brzine vrtnje ω . Matematičku funkciju brzine elektromotora ovisne o momentu elektromotora $\omega = f_1(M_m)$ nazivamo vanjskom ili

mehaničkom karakteristikom elektromotora. Matematičku funkciju brzine elektromotora ovisne o momentu tereta $\omega = f_2(M_t)$ nazivamo vanjskom ili mehaničkom karakteristikom pogona. Elektromotor treba osigurati najprikladniji rad sustava u stacionarnim i prelaznim režimima rada (zaletu, kočenju, promjeni opterećenja ili drugih utjecajnih veličina). Vanjska karakteristika motora služi kao osnovni kriterij pri izboru vrste motora za radni mehanizam, slika 2.



Slika 2. Vanjske karakteristike različitih tipova elektromotora, [3]

Uz vanjsku karakteristiku kod elektromotora značajno je odrediti i elektromehaničku karakteristiku, koja predstavlja ovisnost brzine vrtnje o jakosti struje $\omega = f(i)$.

3.3 BLDC elektromotor

BLDC motor je sinkroni stroj s rotorskim permanentnim magnetom i statorskim armaturnim namotom kod kojeg su magnetsko polje stvoreno na statoru i magnetsko polje stvoreno na rotoru jednakih frekvencija te se zahvaljujući prikladnoj uzbudnoj struji moment kod ovog motora drži konstantnim. Na statorske namote dovodi se električna struja koja uzrokuje gibanje rotora. Pri tome se upravljačkim sklopom (elektronički komutator ili inverter) upravlja strujom dovedenom na statorske namote iz istosmjernog izvora napajanja (baterija) preko izmjenjivača, [4]. Na taj način je statorskom namotu dovedena izmjenična struja pa kažemo da je riječ o elektroničkoj komutaciji. Ovdje je za kvalitetno upravljanje uporabom povratne veze osim mjerenja brzine motora i/ili jakosti struje elektromotora, nužno postojanje senzora položaja rotora da upravljački sklop može regulirati u koji će namot statora dovesti struju određenog smjera i veličine. Za ovu namjenu se koriste Hallove sonde, optičke sonde i/ili sonde za mjerenje induciranog napona (back EMF ili Counter EMF) za određivanje brzine i položaja rotora (uglavnom bežični prijenos mjernih podataka), [5].

BLDC motor ima visoku učinkovitost, veliki okretni moment, tiho radi, kompaktan je, pouzdan, malih troškova održavanja, [6].

Naziv „bez četkica“ (engl. brushless) motori ukazuje da se za komutaciju ne koriste četkice nego je motor elektronički komutiran odnosno energetski pretvarač s mjernim članom položaja rotora obavlja funkciju kolektora s četkicama, [7].

Trofazni BLDC motor radi na način da su dvije faze koje proizvode najveći okretni moment pod naponom, dok je treća faza isključena. Pozicija rotora uvjetuje koje dvije faze će biti uključene, [8].

Struja koja protječe kroz fazni namot L1 statora, stvara magnetsko polje koje će privući permanentni magnet rotora. Ovim procesom započinje okretanje rotora elektromotora. Ukoliko se u određenom trenutku napon s jedne faze prebaci na drugu fazu (s faze L1 na fazu L2), dolazi do pomicanja magnetskog polja statora u pozitivnom smjeru za 120° pa će se i rotor nastaviti kretati u istom smjeru. Kretanje rotora se nastavlja uslijed stvaranja rotacijskog elektromagnetskog polja koje nastaje kao posljedica prebacivanja struje iz jednog faznog namota u drugi fazni namot. U slučaju da se promjeni redosljed uključivanja faza, rotor će se početi okretati u suprotnom smjeru, [9].

4. Primjer izračuna radijusa kretanja električnog automobila

Ako se pretpostavi električni automobil s 4 olovna akumulatora 100 Ah, istosmjernim motorom 48 V, 1500 W te težina vozila bez vozača od 230 kg; s vozačem 290 kg, postoji niz mogućih promjena uvjeta pri analizi kretanja vozila. Prije svega, treba promotriti parametre sustava automobila kao što su masa, parametri elektromotora (snaga, stupanj korisnog djelovanja, vanjska karakteristika i slično), način upravljanja elektromotora, kapacitet izvora napajanja, aerodinamički koeficijent vozila (definira otpor vozila u struji zraka), otpor u ležajevima. Potom je potrebno razmotriti vanjske utjecajne parametre: trasa ceste (konfiguracija terena) što određuje koeficijent trenja kotača s podlogom, vremenske prilike (vjetar, temperaturu) te način vožnje. Snaga potrebna da vozilo ide određenom brzinom može se procijeniti računajući snagu aerodinamičke sile (P_a) koja se suprotstavlja kretanju vozila kroz zrak i snagu sile otpora kotrljanju vozila po cesti (P_k), [10].

$$P_a = 0,5 \cdot \rho \cdot C_a \cdot A \cdot v^3$$

gdje je: ρ – gustoća zraka, približno 1,25 kg/m³, C_a - koeficijent aerodinamičkog otpora vozila (u proračunu odabrano 0,4), A – prednja površina vozila (m²), v – brzina vozila (m/s).

$$P_k = v \cdot C_k \cdot m \cdot g$$

gdje je: C_k – koeficijent trenja kotrljanja, m – masa vozila, g – ubrzanje sile teže (m/s²), [10]. Za brzinu vozila 30 km/h ili 8,33 m/s; $m = 290$ kg; $g = 9,81$ m/s²; $C_a = 0,4$; $C_k = 0,02$; $A = 1,218$ m², dobivaju se P_a i P_k :

$$P_a = 0,5 \cdot \rho \cdot C_a \cdot A \cdot v^3 = 176,22 \text{ W}$$

$$P_k = v \cdot C_k \cdot m \cdot g = 474,15 \text{ W}$$

$$P_{uk} = P_a + P_k = 176,22 + 474,15 = 650,37 \text{ W}$$

Ovako izračunata snaga se mora povećati za 10-30% radi pokrivanja gubitaka prijenosa, ovdje je odabrano 20%.

$$P_{g,pr} = 130,07 \text{ W}$$

Uz pretpostavljeni stupanj korisnog djelovanja motora od 0,95; dobivaju se gubici u motoru u iznosu: $P_{g,mot} = 75$ W. Na ovaj se način dobivaju ukupni gubici za danu brzinu (30 km/h): $P_{g,uk} = 855,44$ W.

Ovdje se pretpostavlja da se vozilo giba konstantnom brzinom, bez zaustavljanja i bez ponovnog pokretanja, po ravnom terenu (suhi asfalt bez brežuljaka). Da bi se fizikalni model u potpunosti primijenio, potrebno je izračunati kinetičku energiju potrebnu da vozilo krene iz mirovanja do konstante brzine i to u ovom slučaju iznosi $W_{kin} = 10069,44$ J.

Teoretska ukupna energija pohranjena u baterijama iznosi: $E_{bat, t} = 17280$ kJ, ali se ona smanjuje u ovisnosti o stupnju korisnog djelovanja olovnih baterija kod pretvorbe električne energije u kemijsku i kemijske energije u električnu energiju (0,7 – 0,92) na $E_{bat, min} = 12096$ kJ odnosno $E_{bat, max} = 15897,6$ kJ. Bitno je napomenuti da se olovne baterije smiju prazniti do 20% kapaciteta kako bi se izbjeglo trajno uništenje i da pražnjenje baterije većim strujama dovodi do smanjenja kapaciteta.

Kod proračuna radijusa autonomije vozila, zapravo se računa vrijeme koje baterije mogu napajati motor u danim uvjetima. Najmanje vrijeme koje baterije mogu napajati dobiva se iz:

$$t_{min} = (E_{bat, min} - 0,2E_{bat, t} - E_{kin}) / P_{g, uk} = 2,8 \text{ h}$$

Najveće vrijeme koje baterije mogu napajati dobiva se iz:

$$t_{max} = (E_{bat, max} - 0,2E_{bat, t} - E_{kin}) / P_{g, uk} = 4,04 \text{ h}$$

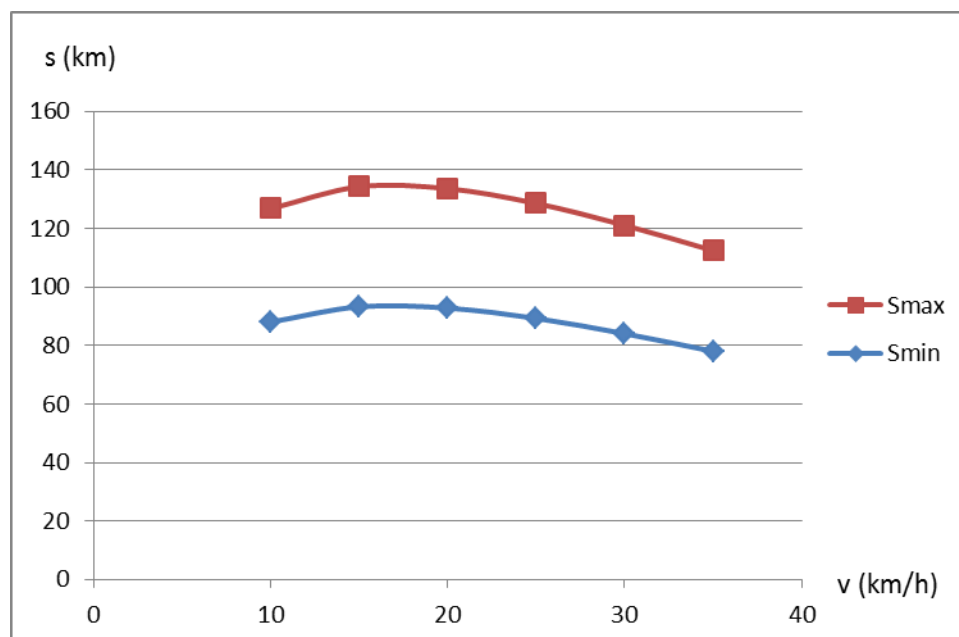
Iz ove dvije vremenske veličine se uz konstantnu brzinu lako izračuna radijus kretanja za brzinu 30 km/h kao:

$$s_{min} = 84,07 \text{ km, odnosno } s_{max} = 121,10 \text{ km}$$

U tablici 1. odnosno slici 3. nalaze se izračunati najmanji i najveći radijus kretanja za različite brzine uz pretpostavljene ulazne parametre.

Tablica 1. Radijus kretanja električnog vozila

| v (km/h) | Smin (km) | Smax (km) |
|----------|-----------|-----------|
| 10 | 88,06 | 126,82 |
| 15 | 93,26 | 134,30 |
| 20 | 92,80 | 133,65 |
| 25 | 89,28 | 128,59 |
| 30 | 84,07 | 121,10 |
| 35 | 78,04 | 112,44 |



Slika 3. Ovisnost radijusa kretanja električnog vozila ovisno o brzini

Ograničenje brzine je važno jer se optimalnom brzinom može prijeći veća duljina puta. Utrošak energije značajno ovisi o brzini kretanja. Primjerice, vozilo Tesla Roadster pri brzini do 90 km/h može prijeći 450 km; pri 150 km/h oko 250 km, pri 250 km/h nešto ispod 100 km. To je tako jer snaga potrebna za savladavanje otpora zraka raste s trećom potencijom brzine. Suvremeni električni automobili koriste kočenje za regenerativno punjenje baterija, tako da se ipak nešto povećava autonomija električnog automobila.

5. Zaključak

U sve aktualnijim raspravama o očuvanju okoliša i rješavanju energetske krize, posebna pozornost usmjerena je prema električnim automobilima. U usporedbi s automobilima s motorom s unutarnjim izgaranjem, električni automobili nude veću energetske iskoristivost, manju buku, nema neposredne emisije stakleničkih plinova te postoji mogućnost napajanja iz postojeće infrastrukture električnom energijom. Uz sve veće korištenje alternativnih izvora električne energije, električni automobili su korak naprijed u smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima. Prepreke globalnoj prihvaćenosti električnih automobila su još uvijek poprilično velike, a osim kapaciteta baterija i cijene, socijalno-kulturna konzervativnost je također jedna od znatnih prepreka.

Političko-ekonomska potpora vozilima na električni pogon mnogih europskih zemalja jasno pokazuje da razvoj električnih automobila nije samo aktualan trend već potencijalno rješenje za ekološke i energetske izazove čovječanstva koje je na samom pragu ekonomske isplativosti.

6. Literatura

- [1] Glavaš, Hrvoje; Antunović, Mladen; Keser, Tomislav: Cestovna vozila na električni pogon, Dvadesetšesti skup o prometnim sustavima s međunarodnim sudjelovanjem AUTOMATIZACIJA U PROMETU 2006, Zagreb, KoREMA, 2006.
- [2] Ciglencečki, Tomislav: Automobil pokretan električnim motorom; http://rgn.hr/~dkuhinek/nids_daliborkuhinek/1_OEE-RN/5Seminari/2008_2009/14_Automobil_pogonjen_elektricnim_motorom.ppt; pristup 15.7.2014.
- [3] Velagić, Jasmin: Predavanja kolegij Aktuatori, Elektrotehnički fakultet Sarajevo, 2011.
- [4] Vodovozov, Valery: Electric Drive Systems and Operation, Bookboon, 2012.
- [5] Vodovozov, Valery: Electric Drive Dimensioning and Tuning, Bookboon, 2012.
- [6] <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/brushless-dc-motor-guide.php>; pristup 15.7.2014.
- [7] Yedamale, Padmaraja: Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals, Microchip Technology Inc., 2003.
- [8] Brown, Ward: Brushless DC Motor Control Made Easy“, Microchip Technology Inc., 2002.
- [9] Baldursson, Stefan: BLDC Motor Modelling and Control-A Matlab/Simulink Implementation, Goteborg, Sverige, May 2005.
- [10] Raca, Dejan; Jevremović, R. Vladan: Savremene električne mašine za primenu u hibridnim i električnim vozilima, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, 2001.

Gospodarenje plinom i zaštita potrošača u Republici Hrvatskoj

Gas ruling and consumer protection in Croatia

S. Franjić

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

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

Sažetak

Opće je poznato da prirodni plin danas zauzima treće mjesto u svijetu na ljestvici potrošnje energije, a zbog niza svojih energetske, ekonomskih i ekoloških prednosti, vrlo je izvjesno da će se da će se u dogledno vrijeme ta ljestvica morati korigirati. U ovom radu se neće razmatrati prednosti prirodnog plina nego njegova ekonomska učinkovitost te pravna zaštita potrošača. Potrošači se smatraju ekonomski slabijom stranom u poslovnim transakcijama pa zbog toga svaka moderno demokratski uređena država štiti svoje stanovništvo koje kupuje proizvode i usluge na tržištu za svoje osobne potrebe ili za potrebe svojih obitelji.

Ključne riječi: plin, usluga, država, zaštita potrošača

Abstract

Commonly known that natural gas now ranks third place in scale of the world rankings energy consumption, and for a numbers of its energy, environmental and economic benefits, it is highly probable that it will be in the foreseeable future, the scale must be corrected. This paper will not discuss of the advantages of natural gas because it will discuss of its economic efficiency and of the legal protection of consumers. Consumers are considered economically weaker party in a business transaction and therefore every modern democratically organized state protects its population that buys the products and services on the market for their personal needs or the needs of their families.

Keywords: gas, service, state, consumer protection

1. Uvod

Unatoč povećanju energetske učinkovitosti, budući razvoj gospodarstva u Republici Hrvatskoj iziskivat će povećanu potrošnju energije što znači da će se time ostvariti i jedan od osnovnih preduvjeta gospodarskog rasta i razvoja. Ovdje svakako posebno treba istaknuti da je, u tom smislu, osnovna uloga države donošenje, provedba i nadzor energetske politike. Glavni instrumenti provedbe energetske politike su reguliranje energetskog sektora, donošenje mjera za poticanje energetske učinkovitosti, zaštita potrošača, uključivanje troškova eksternih učinaka u cijenu energije itd.

Republika Hrvatska ima povoljne uvjete za izgradnju podzemnih skladišta plina, podzemnih skladišta CO₂, hidroelektrana, vjetroelektrana i drugih obnovljivih izvora energije, terminala za naftu i ukapljeni prirodni plin, termoelektrana na uvozni kameni ugljen, nuklearnih elektrana, odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada i druge energetske objekte.

Glavni izvor opskrbe Republike Hrvatske naftom i prirodnim plinom bit će domaća proizvodnja iz preostalih rezervi, Sjeverna Afrika i Srednji istok te Ruska Federacija i Kaspiska regija. Energetski će se razvoj na ovom području temeljiti na razvoju tržišta energije, ali i na geopolitičkom planiranju i pregovaranju o sudjelovanju u strateškim projektima koji Republici Hrvatskoj mogu donijeti povećanu sigurnost opskrbe i gospodarske koristi.

Cijene energenata, općenito, nužno moraju biti u međusobnoj korelaciji, kako bi se mjerama ekonomske politike, upravo preko tih cijena, usmjeravala potrošnja pojedinih energenata, ovisno o ciljevima dane ekonomske politike [1]. Takve promjene mogu izazvati samo glavni svjetski potrošači i/ili glavni svjetski proizvođači energenata.

Može se očekivati blago jačanje cijena prirodnog plina prema cijenama nafte, zbog djelovanja niza faktora na rast potražnje za prirodnim plinom, idućih godina. Uz već izgrađenu transportnu infrastrukturu (plinovode), brojnost potrošača i veličinu potrošnje, daljnjem širenju potrošnje pogodovat će i sve veći zahtjevi za energetskom racionalnošću, učinkovitošću i ekološkom uvjetovanošću.

Poslovanje s krajnjim potrošačima je vrlo složeno i dinamično jer krajnji potrošači često i naglo mijenjaju svoje ukuse i preferencije [2]. To stvara dinamiku i takvu situaciju na tržištu u kojoj su poduzetnički subjekti prisiljeni kontinuirano ispitivati i provjeravati njihove potrebe i želje. Međutim, nije dovoljno samo spoznati potrebe i želje i stvoriti proizvod/uslugu kojom se te potrebe i želje mogu zadovoljiti, već je ključno da se takav proizvod/usluga pojavi prije i da bude kvalitetniji od konkurenata.

No, kako bi se postigao uspjeh na dugoročnoj osnovi, bez obzira posluje li se s potrošačima ili poslovnim kupcima, od izuzetne je važnosti upoznavanje s istima te uspostavljanje takvih odnosa s koji će omogućavati jačanje daljnje suradnje. Upoznavanje s potrošačima i poslovnim kupcima znači upoznavanje s njihovim ponašanjem tijekom kupnje. Zadržati ih na način da ostanu lojalni nije nimalo jednostavno, ali je moguće. Zbog toga je potrebno razvijati partnerske odnose. Suvremeni trendovi u poslovanju svakako će odigrati važnu ulogu u tome, posebno moderna informatička tehnologija, pri čemu će razumijevanje potrošača i poslovnih kupaca biti jedan od glavnih elemenata za ostvarivanje uspjeha na tržištu.

2. Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske

Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske (u daljnjem tekstu: Strategija) [3] određuje smjernice za provedbu aktivnosti kojima će se ostvariti održiv, pouzdan i elastičan energetski sustav kroz strateško vodstvo, iskorištavanje tržišta za ostvarenje sigurne i cjenovno prihvatljive opskrbe energijom, obuzdavanje emisija stakleničkih plinova iz energetskog sektora, učinkovitiju uporabu energije te poticanje, razvoj i primjenu okolišno održivih energijskih tehnologija.

Strategijom se postavlja cilj da se električna energija za potrebe grijanja prostora i pripremu potrošne tople vode zamijeni drugim energijskim oblicima: sunčevom energijom, biomasom, prirodnim plinom i ukapljenim naftnim plinom u područjima udaljenim od mreže prirodnog plina. Taj cilj se ne odnosi na uporabu električne energije za grijanje i pripremu potrošne tople vode korištenjem dizalica topline. U prijevozu poticat će se oni oblici koji smanjuju energijsku intenzivnost.

3. Gospodarenje plinom

Energetsko tržište, više od bilo kojega drugoga, ima utjecaj na globalnom planu. Danas se može govoriti o trećem dijelu razdoblja fosilnih goriva u kojem istaknutu ulogu ima plin kao sve češći energent [4]. U suvremenoj globaliziranoj proizvodnji prirodni

plin dobiva sve izraženiju geopolitičku ulogu. Na početku 21. stoljeća prirodni plin u Hrvatskoj zauzima oko 25 % ukupne energetske bilance. Potrošnja u proteklih 20 godina bilježi neprekidan rast, s iznimkom ratnih, 1990-ih godina. Plinifikacija, gradnja novih plinskih dobavnih pravaca te liberalizacija plinskog tržišta, uz transparentnu energetske politiku, trenutačno su iznimno važni elementi za strategiju energetske razvoja. Razvoj plinskih tržišta utjecat će na globalna kretanja i učešće nafte na tržištu. Međunarodna plinska trgovina stvorit će nove ovisnosti potrošača i proizvođača, uz intenziviranje međunarodne trgovine energijom. Republika Hrvatska mora osigurati dodatne količine i pravce uvoza prirodnog plina, te uključivanje u međunarodnu trgovinu prirodnim plinom.

Prirodni plin dugo je vremena bio element razmjene na lokalnom ili nacionalnom tržištu, no promjene potkraj 20. i početkom 21. stoljeća dovele su ga na međunarodno tržište pa se može govoriti o globalizaciji plinskih tržišta. Ona je započela izgradnjom međunarodnih i transkontinentalnih plinovoda poput onih od Kanade do SAD-a, od Rusije i Norveške do Njemačke i Francuske, od Alžira do Italije i Španjolske, od Argentine do Čilea, od Bolivije do Brazila, pa sve od Turkmenistana do Irana. Planiranje razvoja prirodnog plina, osobito magistralnih pravaca za opskrbu plinom, postaje sve više stvar političkih odnosa, a ne samo gospodarskog razvoja, investicija i tehničkih mogućnosti za transport i održavanje.

Ovisnost Republike Hrvatske o uvozu energije stalno se povećava. Danas Republika Hrvatska uvozi preko 50 % svojih energetskih potreba [5]. U hrvatskoj bilanci potrošnje primarne energije nafta i naftni derivati sudjeluju s oko 50 %, a prirodni plin s oko 25 %. Potrošnja spomenutih energetskih oblika u budućnosti će rasti, dok će domaća proizvodnja nafte i prirodnog plina, zbog iscrpljenja ležišta, opadati. Kako bi na odgovarajući način odgovorila izazovima koji se pred nju stavljaju, Republika Hrvatska pokušava ublažiti svoju uvoznu energetske ovisnost izgradnjom takve energetske strukture koja će i u neizvjesnim uvjetima pokazivati svoju konkurentnost i jamčiti sigurnost opskrbe. Navedeno se može postići iskorištavanjem vlastitih resursa i potencijala, učinkovitim uporabom energije, raznolikošću korištenih energetskih oblika i tehnologija, raznolikošću dobavnih pravaca i izvora energije te uporabom obnovljivih izvora energije. Prema Strategiji, konkurentnost hrvatskog energetskog sektora vrednovat će se unutar jedinstvenog europskog tržišta. Konkurentnost hrvatskog energetskog sustava je zadovoljavajuća zbog raznolike energetske strukture proizvodnje električne energije i relativno visokog udjela domaće proizvodnje prirodnog plina. Razvoj tržišta energije, otvorenost zemlje, podjela rizika kod investiranja, razvoj i tehnološki napredak i poticanje veće participacije domaće proizvodnje i usluga kod izgradnje i eksploatacije energetskih objekata, mehanizmi su za zadržavanje, ali i podizanje konkurentnosti energetskog sustava. Unatoč povećanju energetske učinkovitosti gospodarski razvoj Republike Hrvatske traži povećanu potrošnju energije. Povećanje ponude ukupne energije preduvjet je gospodarskog razvoja, ali istodobno i dodatni doprinos rastu gospodarstva.

4. Zakonska zaštita potrošača

Zaštita potrošača dugo vremena nije bila u Republici Hrvatskoj regulirana objedinjenim zakonom, već su njezini izvori bili sadržani u različitim propisima, pa je tako segmentarno određivanje zaštite potrošača, najvećim dijelom bilo zasnovano na odredbama Zakona o obveznim odnosima (ZOO) [6]. No, odredbe ZOO [7] ne razlikuju kategoriju potrošača od poduzetnika, već uređuju obveznopravne odnose između ravnopravnih stranaka. Nedostatak takvog uređenja uglavnom se sastojao u tome da se zaštita svake od ugovornih stranaka u okvirima sustava koji se uređuje građanskim zakonima ustanovljuje na načelima

njihove jednakosti. Ipak, potrošači nisu kategorija koja po svojim notornim odrednicama predstavlja presumpciju jednakosti. Naime, jedno je od zajedničkih obilježja modernih demokratskih država i zaštita ekonomski slabije strane u trgovinskim odnosima, što je rezultiralo razvitkom pravne doktrine u dva međusobno interferirajuća smjera: propisima o zaštiti potrošača, kojima se štite potrošači kao prirodne osobe koje kupuju na tržištu robe i usluge, i propisima o zaštiti tržišnog natjecanja, odnosno antitrustovnom legislativom.

Zaštita potrošača danas je jedno od značajnijih zajedničkih obilježja demokratskih država u čiju grupu od 1990-tih spada i Republika Hrvatska. Potrošači čine najveću gospodarsku skupinu čiji se glas još uvijek nedovoljno uvažava [8]. Prema definiciji koju nalazimo u Zakonu o zaštiti potrošača [9], potrošač je svaka fizička osoba koja sklapa pravni posao ili djeluje na tržištu izvan svoje trgovačke, poslovne, obrtničke ili profesionalne djelatnosti. Drugim riječima, potrošač je svaka osoba koja kupuje proizvod ili prima uslugu od nekog drugog za sebe, a ne s namjerom da taj proizvod/uslugu dalje prodaje. Tako se u ulozi potrošača svakodnevno pojavljujemo svi mi, bilo da kupujemo proizvode za svakodnevnu potrošnju, poput kruha i mlijeka, ili da se koristimo telekomunikacijskim uslugama, uslugama restorana i sl.

Zakon o zaštiti potrošača modificira neke odnose uređene drugim zakonima. Budući da Zakon o zaštiti potrošača uređuje neke posebnosti obveznopравnih odnosa između potrošača i trgovca kao što su, na primjer, nastanak i prestanak ugovornih obveza te pitanja naknade štete, svakako treba istaknuti da se ovdje radi o suodnosu Zakona o zaštiti potrošača sa Zakonom o obveznim odnosima, a sve s ciljem pružanja adekvatne pravne zaštite potrošača. Zakon o zaštiti potrošača je zaseban zakon pa bi se njegove odredbe trebale primjenjivati primarno kada se rješavaju pitanja iz područja zaštite potrošača, dok je Zakon o obveznim odnosima opći propis koji bi se trebao primjenjivati na sve one obvezno pravne odnose koji nisu izričito drukčije uređeni Zakonom o zaštiti potrošača.

Članak 1. Zakona o zaštiti potrošača najpreciznije govori čime se Zakon bavi. Riječ je o pravima koja su u tekstu precizno razrađena uz napomenu da je posebna pozornost usmjerena na sudsko i izvansudsko rješavanje sporova. Zakonom o zaštiti potrošača uređuje se zaštita osnovnih prava potrošača pri kupnji proizvoda i usluga, kao i pri drugim oblicima stjecanja proizvoda i usluga na tržištu, i to:

1. pravo na zaštitu ekonomskih interesa potrošača
2. pravo na zaštitu od opasnosti za život, zdravlje i imovinu
3. pravo na pravnu zaštitu potrošača
4. pravo na informiranje i izobrazbu potrošača
5. pravo na udruživanje potrošača u svrhu zaštite njihovih interesa
6. pravo na predstavljanje potrošača i sudjelovanje predstavnika potrošača u radu tijela koja rješavaju pitanja od njihova interesa.

5. Zaključak

Sjedne strane, 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.

S druge strane, implementacijom Zakona o zaštiti potrošača u hrvatski pravni sustav započelo je uspješno ostvarivanje prava na informiranje i izobrazbu potrošača jer je dio naših sugrađana tako upoznat sa Zakonom i s pravima koja iz njega proizlaze. Pravo na

informiranje i izobrazbu potrošača možda je i najvažniji segment, odnosno segment od kojega u ovoj priči sve počinje, a da to nije tako, bilo bi upitno ostvarivanje ostalih prava propisanih člankom 1. Zakona o zaštiti potrošača. Trend informiranja i izobrazbe potrošača u kvalitativnom smislu treba nastaviti i u budućnosti.

6. Literatura

- [1] Grubišić, Nikica: Dugoročni izgled cijena nafte i plina // *Energija*, 58 (2009), br. 1., 14-25 (rad u časopisu)
- [2] Grbac, Bruno; Meler, Marcel: Znanje o potrošačima – Odrednica stvaranja konkurentske prednosti, Zagreb, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, 2007. (knjiga)
- [3] Strategija energetskega razvoja Republike Hrvatske – NN 130/2009.
- [4] Dekanić, Igor; Kolundžić, Stevo; Slipac, Goran: Energetska budućnost Hrvatske i opskrba plinom // *Energija*, 55 (2006), br. 4., 382-415 (rad u časopisu)
- [5] Amižić Jelovčić, Petra; Primorac, Željka; Škurla Ivanči: Energetska perspektiva Republike Hrvatske s posebnim osvrtom na zaštitu Jadranskog mora // *Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu*, 4/2013., 823.-853. (rad u zborniku)
- [6] Horak, Hana; Pavletić Župić Mirna: Instrumenti i politika zaštite potrošača kao cilj zaštite slobodnog tržišnog natjecanja // *Ekonomski pregled* 56 (11) 1031-1050 (2005) (rad u zborniku)
- [7] Zakon o obveznim odnosima – NN 35/2005.; 41/2008.
- [8] Brčić-Stipčević, Vesna; Renko, Sanda: Koliki je stupanj potrošačke osviještenosti studentske populacije // *Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu* 6/2008.; 353-366 (rad u zborniku)
- [9] Zakon o zaštiti potrošača – NN 41/2014.

Analiza specifičnih oštećenja elemenata energetske i procesne opreme s "vodene strane"

Analysis of specific damages on elements of power and process equipment at the "water side"

L. Marušić¹, Ž. Rosandić^{2,*}, I. Opačak², V. Marušić²

¹Veleučilište u Slavanskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

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

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

Sažetak

Prikazanim rezultatima obuhvaćena su mehanička i tehnološka svojstva te metalografske pretrage kako na uzorcima izuzetim sa objekta, tako i na samom objektu, uzimanjem otiska strukture – replike, zatim mjerenja debljine stjenke te analiza kemijskog sastava materijala. Na primjeru korozije uslijed zamora materijala, uslijed kaustične krhkosti, korozije na granici faza voda/vodena para i uslijed nepravilnog konzerviranja u izvanpogonskom periodu, ukazano je na specifičnosti oblika oštećenja različitim korozijskim mehanizmima. Konstatirano je da će uzroci promjene svojstava i oštećenja osnovnih materijala biti lakše i preciznije utvrđeni uz pomoć podataka, ne samo o ugrađenom-početnom stanju, nego i o parametrima rada i njihovim promjenama tijekom uporabe. Zaključeno je da je za Laboratorij suradnja s ovlaštenim inženjerima i Službom održavanja od neprocjenjive važnosti.

Ključne riječi: energetska i procesna postrojenja, korozija, vodena strana

Abstract

The test data include not only the mechanical and technological properties, but also metallographic investigations both on the samples taken from the object, and on the object itself, by taking the structure imprint – replica, followed by the measuring of wall thickness, and the analysis of chemical composition of material. Based on the corrosion due to the fatigue of material, due to the caustic brittleness, the corrosion at the phase boundary water/water vapour, and due to the improper preserving during the out-of-service period, some specific damages caused by different corrosion mechanisms were emphasized. It was determined that the causes of property changes and damages of base materials could be determined more easily and precisely using the data, not only on the built in/initial state, but also on the operating parameters and their changes during service. It was concluded that the cooperation with the licensed engineers and the Maintenance Service is of the utmost importance for the Laboratory.

1. Uvod

U cilju utvrđivanja uzroka oštećivanja opreme analizirani su rezultati različitih laboratorijskih ispitivanja. Nakon pregleda dostupne, često veoma oskudne dokumentacije, podatke o materijalu je bilo potrebno upotpunjavati informacijama prikupljenim metodom intervjua i ankete s djelatnicima službe održavanja. Visoke radne temperature, tlakovi, a često i

agresivni medij, parametri su koji u kotlovima, izmjenjivačima topline i drugim elementima energetskih i procesnih postrojenja u uvjetima, kako kratkotrajne tako i dugotrajne uporabe, mogu izazvati značajne promjene. Pri tome, pojava neočekivanih promjena izravno utječe na smanjenje pouzdanosti postrojenja.

2. Pristup utvrđivanju oblika havarije i uzroka oštećenja

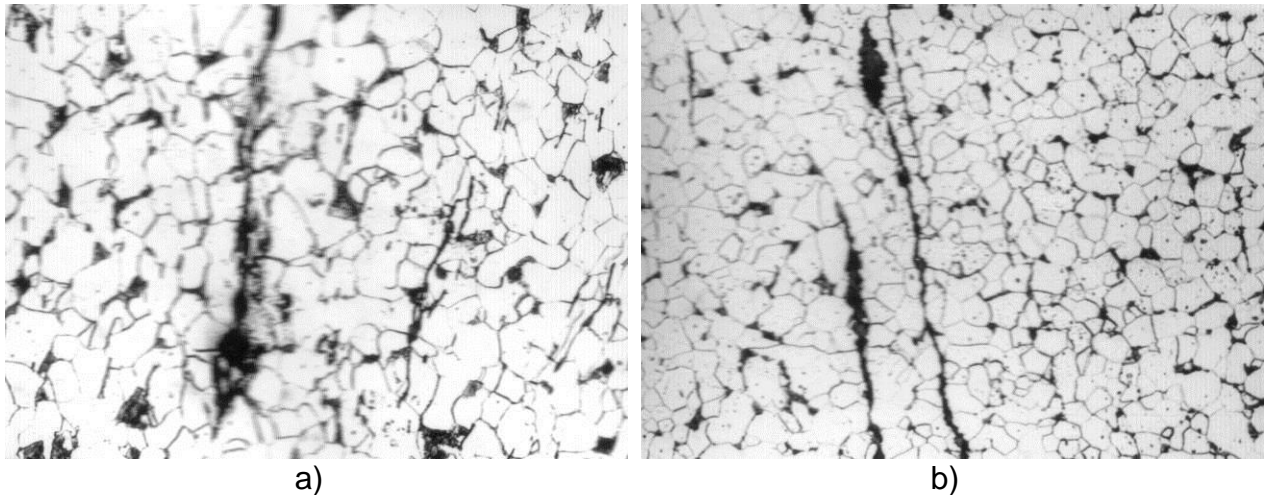
Praćenje promjena svojstava materijala dijelova energetskih postrojenja te praćenje njihovog ponašanja u uporabi može biti olakšano uz poznavanje nekoliko sljedećih podataka: početno stanje osnovnog materijala, njegove dimenzije, kemijski sastav te deklarirana mehanička svojstva, zatim tehnologija ugradnje kao i uvjeti i propisani parametri uporabe, a pogotovo njihovo praćenje do uočavanja problema u funkcioniranju. Elementi energetskih postrojenja uglavnom su u nadležnosti Službe održavanja. U procesnoj industriji te su Službe u pravilu tek dio sustava.

Cilj svakog procesa je gotov proizvod, a u pravilu, tijekom odvijanja proizvodnje sve je "pod kontrolom". Veličina problema, pretežito, do izražaja dolazi tek kada se pojavi neplanirani zastoj. U međuvremenu je, i uz uočavanje odstupanja, pod zahtjevom hitnosti, jer "proizvodnja ne smije stati", uporaba postrojenja i dalje tekla. Brojnost službi održavanja djelomično je posljedica potrebe postizanja definiranih ulazno-izlaznih parametara, a djelomično je posljedica neminovnih promjena na ugrađenim materijalima, poglavito u opterećenim dijelovima konstrukcija uslijed dugotrajne uporabe na povišenim temperaturama i tlakovima uz neminovna naprezanja. Ovlašteni Laboratorij, u pravilu tek kada dođe do havarije, biva angažiran za potrebe utvrđivanja uzroka i opsega oštećenja te eventualno i zbog predlaganja mogućih načina sanacije. Postoji dugogodišnja loša praksa samo djelomičnog prihvaćanja cjelovitih mjera sanacije i praćenja ugrađenih materijala, predloženih završnim izvještajem, ponovno uz opravdavanje "hitnošću". U najmanju ruku otežano je dobivanje povratne informacije o prihvaćanju predloženih mjera, načinu sanacije i kontroli provedenih zahvata, pa se uporaba nastavlja do sljedeće havarije.

3. Primjeri oštećenja s vodene strane

U Laboratoriju su na uzorcima oštećenih cijevi (dijelova postrojenja) provedena ispitivanja kemijskog sastava osnovnog materijala, taloga i tehnoloških voda, mehaničkih svojstava na sobnoj i radnoj temperaturi te metalografske pretrage i dimenzionalna kontrola, a na terenu nerazornim metodama uzimanjem otisaka strukture i kontrolom dimenzija. Odgovarajući zaključci i preporuke donošeni su i uz korištenje literature u kojoj je analizirana korozija materijala [1,2,3].

Prvi primjer je karakterističan za Steambloc kotlove. Ispitivane su cijevi II promaje kod kojih je pri krajevima, blizu uvaljivanja u cijevnu stijenu, došlo do propuštanja cijevi dimenzija $\approx 57 \times 3,2$ mm izrađenih od P235GHTC2 (Č1214/II) [4]. Usmjerenost i utvrđena mala širina prskotina ukazuju da se uzrok havarije nalazi u koroziji uslijed zamora materijala, slika 1 a. Drugi je primjer klasičnog izostanka pravilnog tretiranja sodom. Analizom uzetog taloga utvrđena je prisutnost uglavnom soli, SiO₂, CaO, MgO i Al₂O₃, koje uzrokuju povećanu tvrdoću vode. Međukristalne pukotine vidljive na slici 1 b, ukazuju na oštećenje cijevi uslijed djelovanja mehanizma kaustične krhkosti.



Slika 1. Metalografski prikaz karakterističnih oštećenja Steambloc kotlova, povećanje 200x, nagrizanje 3% nital
 a) Korozija uslijed zamora; b) Korozija uslijed "kaustične" krhkosti

Primjer oštećenih cijevnih stijena i cijevi II promaje, uočen kod tri paralelno vezana Steambloc kotla, prikazan je na slici 2. Kotlovi su loženi zemnim plinom, a imaju pojedinačni kapacitet 25 t/h pare.

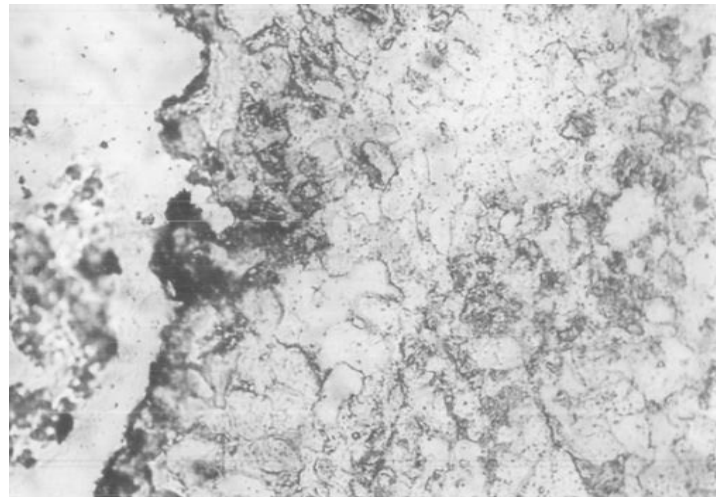


Slika 2. Primjer oštećenja cijevne stijene Steambloc kotla

Potrošnja pare u toj tvornici zahtijevala je stalni rad dvaju kotlova dok je jedan, zbog specifičnosti proizvodnog programa tek povremeno radio, odnosno služio je kao rezerva. Sva su tri kotla napajana iz istog napojnog rezervoara uz zajedničku pripremu vode ali su se periodički "izmjenjivala" u stanju "pogon-rezerva". Kotao koji je ostajao u rezervi konzerviran je u periodu dužeg izvanpogonskog stajanja, ali ne i tijekom kraćeg. Kod sva tri kotla uočena je prisutnost korozijskih oštećenja plamenica te zadnje i prednje cijevne stijene kao i, oku nešto manje dostupnih dimnih cijevi. Slika 3a prikazuje formiranje karakterističnih sigaa. Metalografske pretrage uzetih otisaka strukture materijala plamenica pomoću replika [5] ukazuju na dosta ujednačenu homogenu sitnozrnatu feritno-perlitnu strukturu uz lokalno izraženija korozijska oštećenja duž granica zrna, slika 3b.



a)



b)

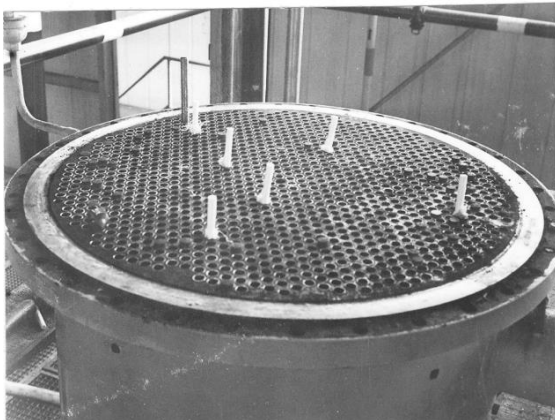
Slika 3. Karakteristična oštećenja Steambloc kotlova uslijed nepravilnog konzerviranja

a) "Siga" na mjestu korozijskog oštećenja

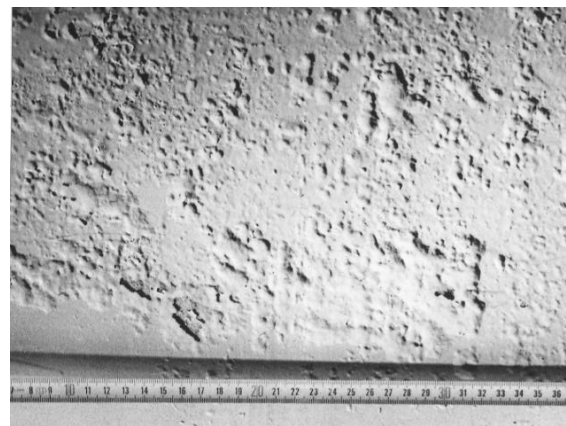
b) Korozija duž granice zrna, replika, povećanje 200x, nagrizanje 2% pikral

Nakon kemijske i rendgenske analize korozijskih produkata, uz praćenje rasporeda i oblika oštećenja, zaključeno je da se proces korozije javljao u uvjetima relativno niske pH-vrijednosti kotlovske vode uz prisutnost O₂ i CO₂, a dalje je napredovao uz povišeni udio sulfita [Fe₂(SO₄)₃ x H₂SO₄ x 7H₂O]. Sige su najvjerojatnije nastajale u periodu izvanpogonskog stajanja kotla uz provedbu neadekvatne konzervacije, nasuprot dotoka vode i/ili doziranja kemikalija, u području viših temperatura kada je omogućena manja topivost plinova i brža reakcija.

Izraziti primjer korozijskih oštećenja "na granici faza" uočava se kod vertikalnog vakuumskeg izmjenjivača topline sa duplim plaštom, slika 4 a. Na ovom primjeru uočava se utjecaj granice kapljevite i parne faze. Unutarnji promjer plašta iznosi ≈φ 2500 mm, dok je ukupna visina ≈4500 mm. Izrazita korozijska oštećenja uočena su na segmentu plašta ispod zaštitnog premaza boje, slika 4 b, od kote ≈600 do kote ≈700 od podnice. "Vijenac" korozijskog oštećenja visine ≈100 mm, između unutarnjeg i vanjskog plašta, utvrđen je ultrazvučnom kontrolom debljine stijenke.



a)



b)

Slika 4. Prikaz vertikalnog izmjenjivača topline

a) Gornji prirubnički dio izmjenjivača na mjestu uvaljivanja cijevi

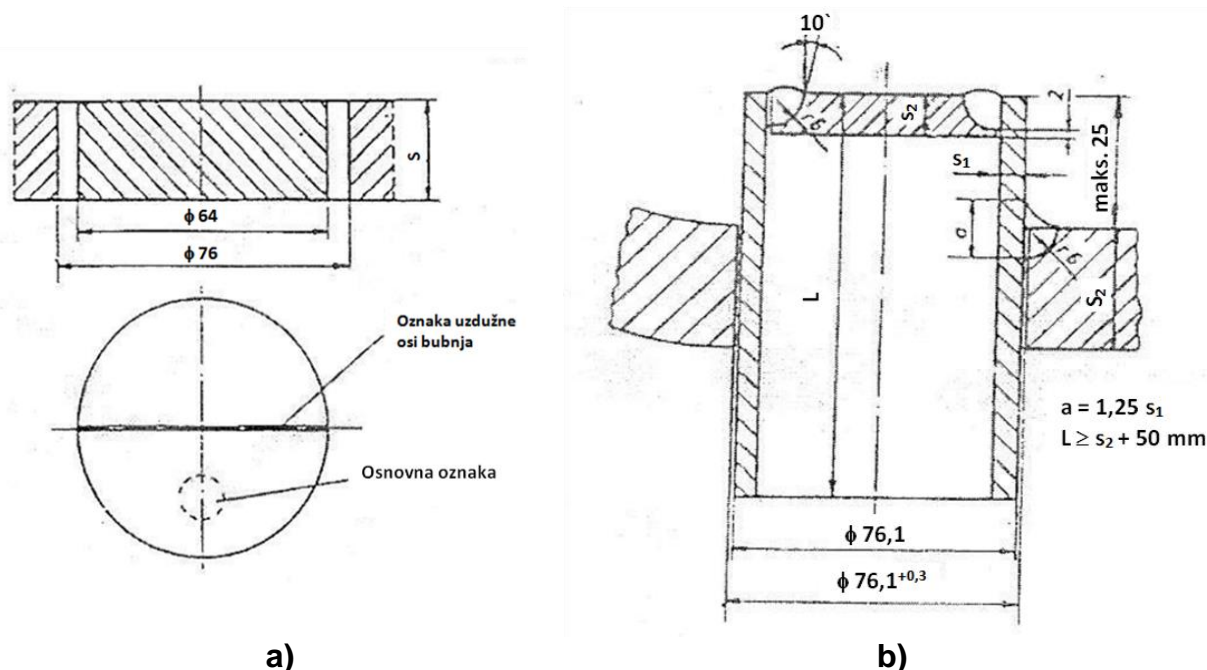
b) Pojava korozije ispod zaštitnog premaza boje

Slična su oštećenja utvrđena i kod horizontalnih isparivača sušara, duljine ≈ 5000 mm. Ove sušare imaju dupli plašt. Između unutarnjeg i vanjskog plašta struji para, a u unutrašnjosti je pužnicom transportiran kruti medij koji ima relativno visoki udjel rastvorenog benzina. Izgled oštećenja prikazan je na slici 5 snimljenoj nakon izrezivanja dijela plašta postupkom "čepovanja" u području granice "vijenca".



Slika 5. Poprečni presjek plašta kotla oštećenog korozijom

Kontrolom debljine stijenke unutarnjeg plašta ($\approx \phi 1200$ mm) utvrđeno je drastično stanjenje gotovo cijelom dužinom objekta, na udaljenosti po ≈ 350 mm od donje izvodnice na svaku stranu. Propuštanje stijenke rezultiralo bi isparavanjem izuzetno eksplozivnih benzinskih para koje bi, uz to što su otrovne, pojavom i najmanje iskre mogle dovesti do eksplozije čija bi se razornost odrazila ne samo na tvornicu, već i na dobar dio grada u kojemu je postrojenje instalirano. U oba ova primjera kontrola debljine stijenke izvršena je ultrazvučnim uređajem, ali je provjera rezultata, zbog veličine sanacijskog zahvata, na inzistiranje korisnika opreme, izvršena i tzv. "čepovanjem". Uzorkovanje materijala unutarnjeg plašta izvršeno je odgovarajućim alatom, postupkom skidanja strugotine uz odvođenje topline kako to propisuje norma za ispitivanje materijala kotlovskih bubnjeva u eksploataciji [6]. Propisan je postupak izrezivanja uzorka iz plašta kotlovskog bubnja kotla u dugotrajnoj eksploataciji, zatim opseg ispitivanja, postupak sanacije nastalog otvora te sadržaj izvješća o ispitivanju. Ispitivanjem izvađenih uzoraka utvrđuju se mehanička i metalografska svojstva materijala bubnja u cilju procjene preostalog vijeka. Skica uzorka i njegovo označivanje prikazano je na slici 6a. Slijepi priključak pripremljen za zavarivanje prikazan je na slici 6b.



a) **Slika 6** Skica uzorkovanja i sanacije izrezanog mjesta
a) izgled i označavanje uzorka;
b) dimenzije slijepog priključka

Ovakav postupak uzimanja uzorka, pogotovo, osim što omogućava provjeru vlačne čvrstoće, udarnog rada loma, mikrostrukture, tvrdoće, kemijskog sastava te zavarljivosti osnovnog materijala, ujedno pruža mogućnost jednostavne sanacije. Nastavak rada postrojenja moguć je vrlo brzo nakon uzorkovanja, zavarivanjem slijepog priključka. Taj se priključak izrađuje od atestirane cijevi standardiziranog promjera $\phi 76,1$ mm, u dužini koja je za 50 mm veća od debljine plašta i podnice čija se debljina izračunava prema normi [6].

4. Zaključak

Kod većine energetskih i procesnih postrojenja, projektirani vijek već je istekao ili je pri kraju. Prihvaćajući postojeće stanje i uzimajući u obzir duljinu eksploatacije ovakvih objekata, moguće je korisnicima opreme preporučiti konkretne korake u smislu podizanja razine sigurnosti u nastavku eksploatacije.

U tom smislu preporuča se korisnicima čuvanje dokumentacije o ugrađenim materijalima, primijenjenim postupcima i uputama za rukovanje. Korisnik treba inzistirati na ugradnji "repera" na kojima bi se bez utjecaja na nastavak redovite uporabe postrojenja, pratilo stanje ugrađenih referentnih materijala. Na nekim od objekata analiziranih ovim radom, reperi su ugrađeni tijekom sanacijskog zahvata te je u tijeku prikupljanje podataka i njihova analiza. Nadalje, korisno je redovito praćenje uvjeta uporabe s opisima uzroka zastoja i, ako je moguće, podacima o uočenim odstupanjima od tehničkom dokumentacijom propisanih parametara. Ukoliko je već došlo do havarije potrebno je tražiti od ovlaštenog, akreditiranog [7], Laboratorija ne samo defektažu uzroka nego i predlaganje opsega sanacije i način uporabe kojim bi se slična oštećenja u nastavku eksploatacije izbjegla.

U procesnoj industriji, indirektni troškovi, nastali npr. zbog zastoja, često višestruko nadmašuju direktne. Pri izradi novih dijelova i radu tijekom njihove zamjene, do posebnog izražaja dolazi pristup koji će pospješiti podizanje efikasnosti sustava i povećati brzinu rješavanja problema, od trenutka njegova uočavanja pa sve do puštanja saniranog postrojenja u ponovni pogon.

7. Literatura

- [1] Klas, Heinrich; Steinrath, Heinrich. Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung. Düsseldorf: Verlag Stahleisen mbH., 1974.
- [2] Steklov, Oleg Ivanovich. Stoikost materialov i konstruksii k korrozii pod napriazheniem. Moskva: Mashinostroenie, 1990.
- [3] Chimušin, Fedor Fedorovič. Neržavejuščie stali. Moskva: Metallurgija, 1967.
- [4] EN 10216-2:2004, Seamless steel tubes for pressure purposes, Technical delivery conditions, Part 2: Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties (including amendment A1:2004).
- [5] BS ISO 3057:1998, Non-destructive testing. Metallographic replica techniques of surface examination.
- [6] HRN M.E2.052/90, Ispitivanje materijala kotlovskih bubnjeva u eksploataciji.
- [7] HRN EN ISO/IEC 17025, Opći zahtjevi za osposobljenost ispitnih i umjernih laboratorija.

Postupci elektrolučnog zavarivanja čeličnih cjevovoda *Arc welding processes of steel pipelines*

M. Horvat^{1,*}, V. Kondić¹, I. Samardžić²

¹Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, Varaždin, Hrvatska

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

*Autor za korespondenciju: E-mail: marko.horvat@unin.hr

Sažetak

U radu se navode postupci zavarivanja prikladni za zavarivanje čeličnih cjevovoda različitim elektrolučnim postupcima zavarivanja u terenskim uvjetima (REL, TIG, MAG-STT, ...). Pored zahtjeva za kvalitetu zavarenih spojeva, kod cjevovoda se zahtjeva i veća brzina zavarivanja pa se zato pored ručnog zavarivanja često koriste poluautomatski i automatski postupci zavarivanja. Takozvana "silazna tehnika" zavarivanja pruža mogućnost bržeg zavarivanja što je prednost u odnosu na "uzlaznu tehniku" koja se koristi kod zavarivanja nosivih strojarskih konstrukcija.

Ključne riječi: elektrolučni postupci zavarivanja, cjevovodi

Abstract

This paper presents several different types of welding processes which are suitable for steel pipelines welding in field conditions (SMAW, GTAW, GMAW, STT...). In addition to the requirements for the quality of welded joints, pipelines welding requires a higher speed welding. This fact justifies, in addition to the manual process, the frequent use of semi-automatic and automatic welding process. There are also presents "downhill welding technique" and some of its benefits in comparison with conventional techniques that are used in the construction of mechanical structures.

1. Uvod

Cjevovodi (cijevni vodovi) su konstrukcije načinjene od više međusobno povezanih cijevi te zajedno sa pripadajućim elementima (fazonski cijevni elementi, zaporni elementi, kontrolni/mjerni/regulacijski/upravljački elementi, kompenzatori itd.) čine nepropusni sustav za transport plinovitih, tekućih ili krutih medija. Općenito, prema namjeni dijelimo ih na tehnološke cjevovode (transport sirovina, poluproizvoda, gotovih proizvoda...), sanitarno-tehničke cjevovode (grijanje, klimatizacija, kanalizacija...), cjevovode hidrauličkih i pneumatskih instalacija (instalacije stacionarnih/mobilnih strojeva i uređaja) te na cjevovode posebnih namjena. Osim prema namjeni, često se dijele i prema radnim tlakovima, materijalima izrade, prema transportiranom mediju (agresivnosti transportiranog medija), obliku poprečnog presjeka itd. [1]

Vrlo važni elementi cijevnih vodova su i cijevni spojevi. Kako navodi izvor [1], cijevni spojevi imaju slijedeće zadatke:

1. omogućiti međusobno spajanje cijevi u cjevovod
2. omogućiti spajanje cijevi s aparatima
3. omogućiti priključak cijevi na armaturu
4. omogućiti promjenu promjera cjevovoda i smjera cjevovoda
5. omogućiti dodatni priključak armature ili drugog cjevovoda
6. omogućiti zatvaranje cjevovoda.

Kako općenito u tehnikama spajanja, tako i kod cijevnih spojeva razlikujemo rastavljivo i nerastavljivo spajanje. Najčešće tehnike rastavljivog spajanja cijevi i pripadajućih elemenata su rastavljivi spojevi navojem i spajanje pribudnicama. U nerastavljive tehnike spajanja mogu se svrstati spajanje navojima (kolčak + fitting – rastavljanje je moguće samo u slučaju demontaže cijelog cjevovoda), spajanje kolčacima (rastavljanje je moguće samo uz veći aksijalni pomak elemenata) te spajanje tehnikama lemljenja, lijepljenja i zavarivanja. [1]

U slučaju spajanja čeličnih cjevovoda i pripadajućih elemenata, zavarivanje je dominantna tehnika spajanja kod najzahtjevnijih uvjeta eksploatacije (visoki tlakovi i temperature), kod spajanja cjevovoda velikih promjera (mogućnost značajne uštede materijala), ali i kod manjih i manje zahtjevnih cijevnih konstrukcija i sustava zbog jednostavnosti izvedbe spoja i dostupnosti opreme (npr. plinsko zavarivanje).

Zavarivanje čeličnih cjevovoda zasniva se uglavnom na plinskim tehnikama, elektrolučnim postupcima (REL, TIG, MIG/MAG) te elektrotopnom zavarivanju.

2. Zavarivanje čeličnih cjevovoda REL postupkom

2.1 Teorijske osnove postupka

Ručno elektrolučno zavarivanje (REL), eng. SMAW (Shielded Metal Arc Welding; MMA – Manual Metal Arc; MMAW – Manual Metal Arc Welding; Stick Welding), je najstariji elektrolučni postupak zavarivanja [2]. Bez obzira na ovu činjenicu, REL postupak zavarivanja i danas ima značajnu ulogu kako u izradi čeličnih konstrukcija općenito, tako i u zavarivanju čeličnih cjevovoda.

Kod REL postupka zavarivanja električni luk uspostavlja se kratkim spojem između elektrode (koja je ujedno i dodatni materijal) i radnog komada. Pri tome se elektroda tali (čelična jezgra i obloga) i stvara određenu količinu rastaljenog materijala, troske i zavarivačkih plinova. Tekuća troska prekriva metalnu kap za vrijeme prolaza kapi kroz električni luk, a dodatnu zaštitu metalne kapi tvore plinovi koji nastaju disocijacijom komponenata obloge. Hlađenjem se talina skrućuje, sloj troske koji ga prekriva regulira njegovu brzinu ohlađivanja, a time utječe i na tijek i uvjete kristalizacije. Osnovni parametri i utjecajni faktori kod REL postupka zavarivanja su jakost struje, vrsta i polaritet struje, brzina zavarivanja, nagib elektrode, dužina električnog luka, njihanje elektrode (poprečna gibanja), uspostava i prekid električnog luka te položaj zavarivanja. [2, 3, 4, 5]

2.2 Primjena REL zavarivanja u izradi cjevovoda

Kod zavarivanja čeličnih cjevovoda REL postupkom posebnu važnost ima odabir dodatnog materijala. Osim što jezgra elektrode mora zadovoljiti propisana svojstva metala zavara (mehanička, kemijska, metalurška itd.), važnu ulogu ima i obloga elektrode. Prema izvoru [5], za vrijeme zavarivanja, 30% topline oslobođene u električnom luku troši se upravo na taljenje obloge elektrode koja vrši trostruku funkciju: električnu, fizikalnu i metaluršku. Specifičnost zavarivanja čeličnih cjevovoda je ta što se izvodi uglavnom u vertikalnom položaju pri čemu se koriste dvije tehnike: uzlazna i silazna tehnika zavarivanja. Posebno je zanimljiva silazna tehnika zavarivanja (njem. Fallnaht schweissen; eng. Downhill welding) koja daje značajno bolju produktivnost u usporedbi sa konvencionalnom uzlaznom tehnikom koja se koristi kod izrade strojarskih konstrukcija.



a)



b)

Slika 1. REL zavarivanje cjevovoda celuloznom elektrodom (silazna tehnika) a) izvođenje zavarivanja; b) izgled zavarenog spoja [6]

Opravdanost primjene uzlazne tehnike temelji se na povoljnom djelovanju gravitacijske sile zbog koje dolazi do slijevanja troske prema dolje te tako ostavlja žlijeb spoja čistim i otklanja mogućnost pogreške u zavarenom spoju. Zavarivanje silaznom tehnikom omogućeno je kroz pravilan odabir obloge elektrode, čija je važnost prethodno spomenuta. Kod ove tehnike zavarivanja koriste se najčešće elektrode sa celuloznom oblogom (u korijenskom prolazu, ali i popuni) koja omogućuje izbjegavanje slijevanja troske u žlijeb pripremljen za zavarivanje. To je prvenstveno omogućeno kroz visoki viskozitet i malu količinu troske. Kod ove vrste elektroda, količina celuloznog praha u oblozi (40-55%) stvara veliku količinu zavarivačkih plinova. Te organske komponente obloge potpuno izgaraju na temperaturi električnog luka, a spomenuta velika količina nastalih plinova povećava pritisak u električnom luku što pospješuje topljenje jezgre elektrode, a posebno penetraciju (i do 70% u odnosu na druge vrste obloga). Stvorena količina troske je mala i lako se odvaja (u pravilu, celulozne elektrode se izrađuju kao tanko i srednje obložene). [6, 7]. Kako navodi izvor [7], bez obzira na dozvoljeni povećani udio difuzijskog vodika, primjena celulozne elektrode u zavarivanju cijevnih spojeva ima niz prednosti kao što su: povećano topljenje elektrode – veća brzina zavarivanja (i do 50% u odnosu na npr. rutilne elektrode), povećan napon električnog luka, duboka penetracija, mala količina stvorene troske, brzo hlađenje i lako odvajanje troske, odlična dodatna zaštita zavarivačkim plinovima, manje opasni plinovi itd. Također, REL zavarivanje čeličnih cjevovoda uglavnom se izvodi u terenskim uvjetima gdje dolazi do izražaja olakšana premošćivanje zazoru i smaknuća prilikom primjene celuloznih elektroda kao i sušenje elektrode koje kod celuloznih obloga nije potrebno.

Osim elektroda s celuloznom oblogom, za ovakve tehnike zavarivanja koriste se i bazično obložene elektrode. Poznato je da bazične elektrode daju značajno bolja mehanička svojstva u odnosu na druge vrste elektroda, ali isto tako da je rukovanje otežano (potrebna je manja duljina električnog luka) što posebno dolazi do izražaja kod izvođenja korijenskih prolaza gdje geometrija žlijeba nerijetko onemogućuje kratak električni luk. Nadalje, u terenskim uvjetima kod primjene bazične elektrode postoji potreba za posebnim čuvanjem i sušenjem elektroda što može značajno povećati troškove zavarivačkih radova. Također, tu je i količina otopljenog vodika čija je dopuštena granica kod bazičnih elektroda manja u odnosu na celulozne (i do 8 puta), a sam izlazak iz metala zavara otežan. [5, 6, 7]. Iz navedenih razloga, kod zavarivanja cijevi i armatura u više prolaza, a s obzirom na terenske uvjete i zadanu potrebnu kvalitetu zavarenog spoja, čest je slučaj kombinacije ovih dviju

vrsta elektroda (zavarivanje korijena zavara sa celuloznom elektrodom, popuna sa bazičnom elektrodom).

3. Zavarivanje čeličnih cjevovoda TIG postupkom

3.1 Teorijske osnove postupka

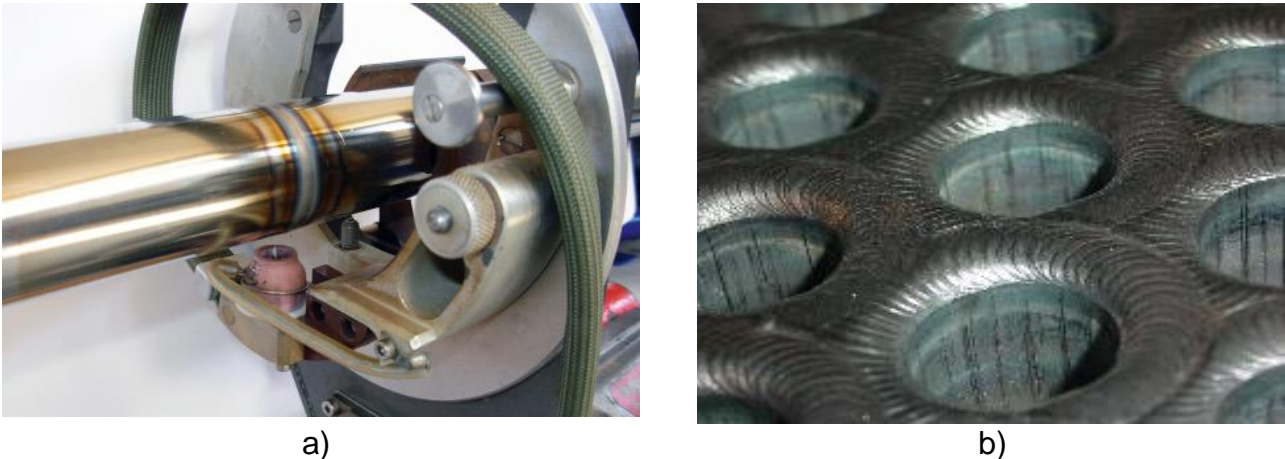
TIG postupak zavarivanja (eng. Tungsten Inert Gas; GTAW – Gas Tungsten Arc Welding; njem. WIG – Wolfram Inert Gas Schweissen) je elektrolučni postupak zavarivanja kod kojeg se električni luk uspostavlja između netaljive volframove elektrode i radnog komada (osnovnog materijala). Postupak se počeo razvijati u tridesetim godinama prošlog stoljeća (pomoću komora ispunjenih inertnim plinom), a prvi TIG gorionici konstruirani su tek 10 godina kasnije. Zavarivanje se vrši pretaljivanjem (bez dodatnog materijala) ili sa odgovarajućim dodatnim materijalom koji se u pravilu u ručnoj varijanti postupka dodaje pod kutom od 15° do 20°. Uspostava električnog luka omogućena je preko visokofrekventnog generatora ili kontaktno, a cijeli postupak odvija se u zaštitnoj atmosferi inertnih plinova (argon ili helij, rjeđe uz dodatak drugih plinova - mješavine). Ovisno o materijalu koji se zavaruje, koristi se izmjenična ili istosmjerna struja te netaljiva volframova elektroda odgovarajuće legirana i pripremljene geometrije. [3, 4, 5]

3.2 Primjena TIG postupka u izradi cjevovoda

Primjena TIG postupka u zavarivanju čeličnih cjevovoda temelji se na osnovnim prednostima i nedostacima istog u izradi metalnih konstrukcija. Postupak je primjenjiv za zavarivanje svih vrsta metalnih materijala pri čemu nema rasprskavanja kapljica (osnovnog i dodatnog materijala), nema troske, a zavarivački plinovi i isparavanja su minimalna. Zavarivanje se može izvesti u svim položajima, u radioničkim i terenskim uvjetima (uz ograničenja primjene postupka na otvorenom bez zaštite zbog stabilnosti luka). Osnovna prednost postupka je iznimna kvaliteta zavarenog spoja (ukoliko je postupak izveden pravilno od strane zavarivača – operatera). Samo TIG postupkom zavarivanja moguće je izvesti visoku kvalitetu korijenskog prolaza izvedenog s jedne strane i bez obloga, u bilo kojem položaju zavarivanja. Postupak se u izradi metalnih konstrukcija najčešće primjenjuje za manje debljine (do 6mm) pa se tako i u cijevnim spojevima u pravilu koristi za izvođenje samo korijenskih prolaza ili cijevnih spojeva s jednim prolazom. Za sve ostale slučajeve postupak je uglavnom neekonomičan jer je spor, tj. količina rastaljenog materijala u jedinici vremena je znatno manja u usporedbi sa drugim elektrolučnim postupcima. TIG postupak zavarivanja također iziskuje i vrlo kvalitetnu pripremu mjesta zavarivanja i u smislu geometrije spoja kao i čistoće osnovnog materijala. Zbog toga se najčešće koristi kod zavarivanja visokolegiranih čelika, aluminija/magnezija/titana/bakra i njihovih legura, a kod niskolegiranih i nelegiranih čelika gotovo isključivo za izvođenje korijenskih prolaza zbog kvalitete spojeva koju je moguće postići, a s obzirom na kemijski sastav istih. Prilikom izvođenja cijevnih spojeva TIG postupkom vrlo često se primjenjuje i jednostavna metoda zaštite korijena spoja plinovima, što je tipično upravo za TIG postupak koji se zbog male količine rastaljenog materijala u jedinici vremena koristi gotovo isključivo u procesnoj industriji i zahtjevnijim cijevnim konstrukcijama i sustavima. [3, 4, 5]

Iz gore navedenog razloga, razvijeni su i automatizirani TIG postupci. Najpoznatiji od njih je zavarivanje orbitalnim TIG postupkom. Kod ovog postupka električni luk putuje oko radnog komada (minimalno 360°), a prvi puta se upotrijebio 60-tih godina 20. stoljeća u avio-industriji. Pravilno izveden spoj orbitalnim TIG postupkom osigurava spoj ujednačene geometrije, mehaničkih svojstava te zavareni spoj odličnog izgleda (ravan, jednolik, homogen) što osim estetski doprinosi i korozivnoj postojanosti istog. Orbitalno TIG zavarivanje može se izvoditi u varijantama sa i bez dodatnog materijala (hladna i vruća žica),

a konstrukcijski je izvedivo i na način da rotaciju vrši radni komad, a ne gorionik. Oprema za orbitalno zavarivanje je sofisticirana, stoga je i osnovno ograničenje njezine primjene cijena, tj. isplativost. Načelno se sastoji od izvora struje za zavarivanje i glave za zavarivanje (otvorene, zatvorene, glava za zavarivanje cijevnih stijena). Visoku cijenu opreme opravdavaju sofisticirani izvori struje za zavarivanje sa velikom mogućnošću kontrole i regulacije procesa zavarivanja, kao i zavarivačke glave koje često imaju mogućnost zakreta, njihanja, kontrolu udaljenosti netaljive elektrode itd. [8]



Slika 2. Orbitalno TIG zavarivanje: a) primjer izvođenja zavarivanja [9]; b) orbitalno zavarivanje cijevnih stijena [10]

S obzirom na problematiku zavarivanja cijevi (konstantno mijenjanje položaja elektrode i rastaljenog materijala, promjena utjecaja sila u luku itd.) orbitalno zavarivanje pokazalo se kao najbolji postupak izvođenja cijevnih spojeva u sustavima gdje se traži iznimna kvaliteta istih, a utjecaj ljudske pogreške (čiji je utjecaj kod ručnog TIG zavarivanja veliki) svedeno je na minimum. Ipak, automatizacija TIG postupka moguća je i sa jednostavnijim specifičnim napravama (osobito u serijskoj proizvodnji), a učinkovitost samog procesa i povećanje kvaliteta zavarenih spojeva moguće je povećati i uz neke specifične TIG postipke kao što su TIP-TIG, A-TIG itd.

4. Zavarivanje čeličnih cjevovoda MIG/MAG postupkom

4.1 Teorijske osnove postupka

MIG/MAG postupak zavarivanja (Metal Inert Gas/Metal Active Gas), eng. GMAW (Gas Metal Arc Welding) je elektrolučni postupak zavarivanja u zaštitnoj atmosferi inertnih/aktivnih plinova ili njihovih mješavina pri čemu se električni luk ostvaruje između taljive elektrode (pune žice ili praškom punjene žice) i radnog komada. Povijest postupka je duga, ali intenzivniji razvoj bilježi se za vrijeme Drugog svjetskog rata. Danas je to elektrolučni postupak sa najintenzivnijim razvojem i sa najviše suvremenih inačica.

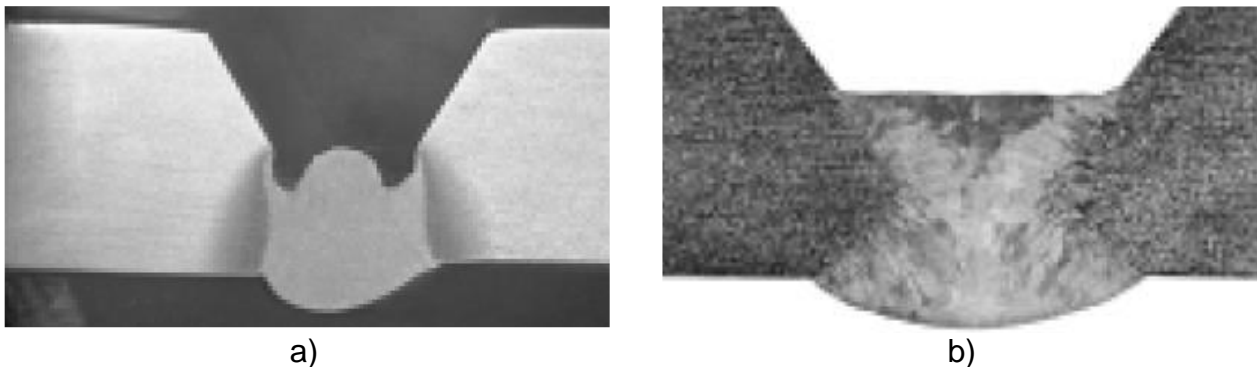
4.2 Primjena MIG/MAG postupka u izradi cjevovoda

MIG/MAG zavarivanje je poluautomatski postupak, a od spomenutih elektrolučnih postupaka daje najveću količinu rastaljenog materijala u jedinici vremena. Kako je navedeno, orbitalno TIG zavarivanje pronašlo je svoju primjenu u izradi cjevovoda manjih promjera i to uglavnom u procesnoj industriji i kotlogradnji, dok MIG/MAG postupak zavarivanja svoju primjenu nalazi kod spajanja cijevi i cijevnih elemenata većih promjera (s obzirom na učinkovitost procesa). [3, 4, 5, 11, 12]

Potpuna automatizacija MIG/MAG postupka zavarivanja cijevi i cijevnih elemenata je moguća, a osnovni principi iste temelje se na orbitalnom postupku. Ovakvi se sustavi koriste isključivo kod ozbiljnijih projekata prvenstveno iz razloga što je sama logistika izvođenja zavarivanja, kao i oprema za zavarivanje vrlo kompleksna. Iako ovakvo zavarivanje ima niz prednosti (učinkovitost, kvaliteta zavarenih spojeva, mali gubici dodatnog materijala itd.), valja napomenuti da su ovakvi sustavi vrlo nefleksibilni (osim ako ne radi o robotskim sustavima), a nerijetko je slučaj da su zbog specifičnosti konstrukcije i patentirani od strane izvođača radova.

Međutim, kao što je već i spomenuto, MIG/MAG postupak je postupak koji se razvija najintenzivnije od svih elektrolučnih postupaka. Tendencija razvoja je iskoristiti osnovne prednosti postupka (brzina zavarivanja, količina rastaljenog materijala u jedinici vremena, zavarivanje širokog spektra materijala, jednostavno rukovanje i automatizacija itd.), a poboljšati ili eliminirati nedostatke istog. Poznato je da je osnovna značajka zavarivanja taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plinova upravo način prijenosa metala sa elektrode na radni komad. Teoretski, postoje četiri osnovna načina prijenosa (kratki spojevi, štrcajući luk, mješoviti luk i impulsni luk), a razvoj suvremenih postupaka temelji se na modifikaciji tih prijenosa prvenstveno preko sofisticiranih izvora struje koji omogućuju konstantno mjerenje, kontrolu i regulaciju strujno-naponskih karakteristika električnog luka. Danas gotovo da i nema ozbiljnijeg proizvođača opreme (izvora struje) za zavarivanje koji ne razvija vlastite modifikacije MIG/MAG postupka.

Jedna od najzanimljivijih modifikacija MIG/MAG postupka, a široko upotrebljiva u zavarivanju cijevnih spojeva, je STT postupak razvijen u tvrtci Lincoln Electric. STT (Surface Tension Transfer) predstavlja suvremeni i učinkoviti postupak zavarivanja koji se najčešće koristi za zavarivanje korijena zavara u otvorenom žlijebu (u jednom prolazu). Pogodan je za zavarivanje čelika, visokočvrstih čelika te osobito kod zavarivanja nehrđajućih čelika gdje se zbog samog procesa zavarivanja CPT (Critical Pitting Temperature) mnogo uspješnije izbjegava nego kao kod klasičnog MIG zavarivanja. STT postupak zavarivanja predviđen je za zahtjevnija poluautomatska ili automatska (robotska) zavarivanja. Postupak se temelji na prijenosu materijala kratkim spojevima, a samo odvajanje kapljice obavlja mehanizam površinske napetosti (Surface Tension Transfer). Izvor struje, uz vrlo čestu i preciznu kontrolu struje zavarivanja, daje maksimum jakosti u trenutku kada je za prienos metala dovoljan samo mehanizam površinske napetosti. Na taj se način izbjegava rasprskavanje kapljice metala u prijenosu i daljnji nepotreban unos topline, što bi bila posljedica povećanja jakosti struje u kratkom spoju kao što je to kod klasičnog MIG/MAG zavarivanja. Nakon odvajanja kapljice, počinje ponovo naglo povećavanje jakosti struje koje zagrijava vrh elektrode i na taj se način priprema za novo odvajanje kapljice. STT izvor struje za zavarivanje nema ni padajuću ni ravnu statičku karakteristiku već se proces odvija ciklički, a promjene vrijednosti struje su brze (nekoliko milisekunda) te ovise o naponu u električnom luku. Osim mogućnosti upravljanja većim brojem parametara u odnosu na klasičan MIG/MAG postupak, osnovne prednosti STT-a postupka zavarivanja su: odvajanje kapljice bez prskanja, manji unos topline, nizak udio difundiranog vodika, lako rukovanje, mogućnost zavarivanja u svim položajima, veća brzina zavarivanja u odnosu na konvencionalni MIG/MAG postupak, mogućnost korištenja 100% CO₂ kod zavarivanja ugljičnih čelika, odlično izvođenje korijenskih zavara u otvorenom žlijebu (zamjena za izvođenje korijenskih zavara REL postupkom celuloznim elektrodama ili izvođenje korijenskih prolaza TIG postupkom), laka automatizacija postupka zavarivanja, laka eliminacija pogrešaka u centriranju – smaknuća itd. [13]



Slika 3. Izbrusak korijenskog prolaza: a) celulozna elektroda – REL; b) STT postupak – MAG [13]

Osim opisanog postupka, citiranog prema izvoru [13], postoji još niz modifikacija MIG/MAG zavarivanja koje su više ili manje pogodne za izvođenje cijevnih spojeva: FastROOT (Kempfi Oy), PipeSolution, ForceArc (EWM), RMT (Ess) itd. Bez obzira na kojem načinu modifikacije se baziraju (kratki spoj ili štrcajući luk) za cilj imaju prvenstveno povećavanje produktivnosti i kvalitete zavarenih spojeva (u slučaju zavarivanja cijevnih spojeva to se prvenstveno odnosi na izvođenje korijenskog spoja), smanjenje unosa topline i deformacija, poboljšavanje mehaničkih svojstava spoja, smanjenje mogućnosti nastanka korozivskih fenomena, uštede u dodatnom materijalu te mogućnost automatizacije procesa zavarivanja.

5. Zaključak

U radu su prezentirane teorijske osnove osnovnih postupaka zavarivanja prilikom izgradnje cijevnih vodova. Iz navedenog je vidljivo da je razvoj na ovome području intenzivan, što je i razumljivo s obzorom na to da su cijevni sustavi najvažniji dijelovi većine industrijskih postrojenja, a posebno energetskih i procesnih. Nadalje, iz navedenog proizlazi i važnost cijevnih sustava čije zatajenje može dovesti do šteta velikih razmjera. Kako je tehnološki proces zavarivanja i najvažniji proces u izgradnji ovakvih konstrukcija, jasno je da osiguranje kvalitete zavarenog spoja najčešće jamči i kvalitetu cijele konstrukcije. Zbog samog izvođenja radova, koji su najčešće terenske prirode, uvjeti rada često su bitno otežani pa je stoga vrlo važno poznavati dostupne tehnologije za izvođenje radova, a da se prilikom toga osigura potrebna kvaliteta zavarenog spoja, zavarivaču omoguće humani uvjeti rada i zadovolji ekonomska strana projekta.

6. Literatura

- [1] Decker, Karl-Heinz.: Elementi strojeva. Tehnička knjiga Zagreb, Zagreb, 1975
- [2] Horvat, Marko; Bilić, Marijan; Kondić, Veljko.: Primjena REL zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija // *Tehnički glasnik*, 2/2013; 132-137. (ISSN 1864-6168)
- [3] Kralj, Slobodan; Andrić, Šimun.: Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1992.
- [4] Lukačević, Zvonimir: Zavarivanje, Strojarski fakultet – Slavonski Brod, Slavonski Brod, 1998.
- [5] Priručnik za zavarivanje, Elektroda Zagreb, Zagreb, 1987.
- [6] Samardžić, Ivan, Klarić, Štefanija, Grđan, Alan, Boduljak, Hrvoje: Zavarivanje čeličnih plinovodnih cijevi // *Seminar o prirodnom plinu Osijek 2005.* / Fadljević, Zdravko; Raos, Pero (ur.). Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2005.
- [7] Ilić, Vera; Antić, Milica: Celulozne elektrode // *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, 4/2011; 171-173

-
- [8] Čordaš, Darko: Orbitalno zavarivanje nehrđajućih čelika TIG postupkom // 4. Seminar – Čelici otporni na koroziju. Pula, 2007.
- [9] http://www.gfnuovetecnologie.it/en/technologies/welding_machines_orbital_welders.aspx; preuzeto 21.07.2014.
- [10] <http://stelin.it/en/company.html>; preuzeto 21.07.2014.
- [11] Lincoln Electric: GMAW Welding Guide, Cleveland, Ohio, 2006.
- [12] Kralj, Slobodan; Radošević, Branko; Kožuh, Zoran, Garišić, Ivica: Prednosti automatskog zavarivanja pri izgradnji cjevovoda // Zavarivanje, 52/2009, 11-18
- [13] Horvat, Marko; Kondić, Veljko: Primjeri modificiranih postupaka MIG/MAG zavarivanja // Tehnički glasnik, 2/2012, 137/140, (ISSN 1864-6168)

Optimiranje proizvodnje energije mikro kogeneracijskog sustava u uvjetima otvorenog energetskeg tržišta *Optimization energy production of micro-cogeneration systems in the conditions of open energy markets*

T. Galić^{1,*}, Ž. Tomšić²

¹INA INDUSTRIJA NAFTE d.d., Avenija V. Holjevca 10, Zagreb, Hrvatska

² Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, Zagreb, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: tomo.galic@ina.hr

Sažetak

Proizvodnja električne energije iz konvencionalnih energetskeg izvora je u velikoj mjeri odgovorna za štetne emisije u okoliš. Tranzicija ka visoko učinkovitoj i održivoj proizvodnji električne energije zahtijeva korištenje obnovljivih energetskeg resursa i visokoučinkovitih tehnologija. Razvoj distribuiranih mikro-kogeneracijskih sustava za proizvodnju toplinske i električne energije u kućanstvima te za poslovne prostore malih komercijalnih poduzetnika i javne uprave omogućava učinkovitiju proizvodnju električne energije, neposredno na mjestu potrošnje, uz znatno manje zagađenje okoliša. Razvoj mikro-kogeneracijskih sustava u tehnologiji gorivnih članaka, koji kao gorivo mogu koristiti prirodni plin, predstavljaju novu visokoučinkovitu tehnologiju koja ima potencijal da zamijeni postojeće sustave za grijanje prostora i sanitarne vode u kućanstvima, a pored toga proizvode električnu energiju na visoko učinkovit način. Prikaz raznih primjena tehnologije gorivnih članaka u najrazvijenijim državama svijeta ukazuje na moguće pravce daljnjeg razvoja te tehnologije. Optimiranjem upravljanja proizvodnjom toplinske i električne energije mikro-kogeneracijskog sustava, u uvjetima otvorenog energetskeg tržišta, troškovi njihovog rada mogu se dodatno smanjiti i time povećati njihovu sveukupnu učinkovitost, a što će biti prikazano koristeći nekonvencionalnu operativnu strategiju koja ima za cilj optimirati operativne troškove rada takvog sustava.

Ključne riječi: gorivni članak, mikro-kogeneracijski sustav u tehnologiji gorivnog članka, nekonvencionalna operativna strategija mikro-kogeneracijskog sustava, optimiranje operativnih troškova mikro-CHP sustava u uvjetima otvorenog energetskeg tržišta

Abstract

Production of electricity from conventional energy sources is to a great extent responsible for the harmful emissions into the environment. The transition to a highly efficient and sustainable production of electricity requires the use of renewable energy sources and high-efficiency technologies. Development the distributed micro-cogeneration systems for the production of heat and electricity in households and business premises for small commercial businesses and public administration enables efficient electricity production, just at the point of consumption, with significantly less environmental pollution. Development the micro-cogeneration systems in fuel cell technology, which can use naturel gas as a fuel,

representing a new high-performance technology that has the potential to replace existing systems for space heating and water heating in households, and furthermore generate the electricity in a highly efficient way. Preview various applications of fuel cell technology in the most developed countries in the world indicates the possible directions of further development these technologies. Optimizing the management of the production heat and electricity of micro-cogeneration systems, in conditions the open energy markets, the costs of their operation can be significantly reduced and therefore further enhanced their overall efficiency, and what would be described using non-conventional operational strategy with the aim of optimising the efficient operation costs of such a system.

1. Uvod

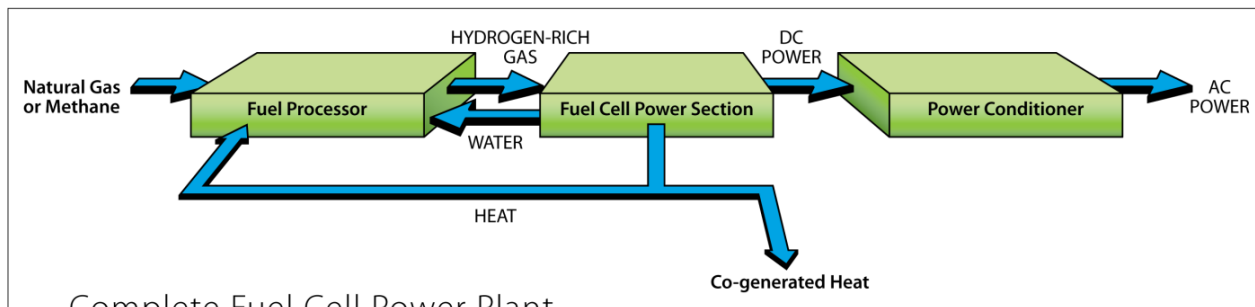
U proteklom vremenskom periodu veliki broj distribuiranih izvora energije je uključen u elektroenergetske sustave širom svijeta. Masovna primjena distribuiranih izvora energije mogla bi imati veliki utjecaj na funkcioniranje energetske infrastrukture i tržišta energije. Ona može donijeti velike promjene u klasičnom modelu proizvodnje i opskrbe električnom energijom te opskrbe prirodnim plinom. Distribuirani izvori energije mogu proizvoditi električnu energiju za krajnje kupce neposredno uz mjesto potrošnje, također za kupce na distribucijskoj mreži i eventualno za kupce na prijenosnoj mreži. U ovom radu usmjerit ćemo pozornost na male proizvođače električne energije u kućanstvima, kod malih komercijalnih poduzetnika i/ili manjih javnih ustanova (u daljnjem tekstu kućanstva) koji pored toga što troše električnu energiju za vlastite potrebe mogu sada proizvoditi električnu energiju za vlastite potrebe, ali i za potrebe drugih kupaca na distribucijskoj mreži. Razmatat ćemo proizvodnju električne energije i istovremeno toplinske energije za potrebe kućanstva u jedinstvenom kogeneracijskom procesu, na znatno učinkovitiji način, pomoću mikro-kogeneracijskih (u daljnjem tekstu mikro-CHP) sustava u tehnologiji gorivnih članaka. Mali proizvođači i krajnji kupci električne energije i prirodnog plina zbog izrazito malih proizvodnih/potrošačkih kapaciteta svojih uređaja i trošila ne mogu izravno sudjelovati i na veleprodajnim tržištima električne energije i prirodnog plina. Jedna od mogućnosti za rješenje tog ograničenja je udruživanje malih proizvođača električne energije u jedinstvenu virtualnu elektranu. Pored toga takvi mali proizvođači/kupci električne energije su ujedno i kupci prirodnog plina te je moguće njihovo međusobno povezivanje s ciljem nabave prirodnog plina i na veleprodajnom tržištu plina. Takav koncept može osigurati dodanu vrijednost električnoj energiji proizvedenoj na takav način te izravno utjecati i na konkurentnost sudionika na tržištu električne energije i plina.

2. Mikro-kogeneracijski sustavi za kućanstva u tehnologiji gorivnih članaka

2.1. Vrste tehnologija i karakteristike gorivnih članaka

Gorivni članci se općenito kategoriziraju prema prirodi elektrolita koji se koristi u gorivnom članku [1]. Svaki pojedini tip zahtijeva specifični materijal i gorivo koji odgovaraju za svaku pojedinu primjenu. Razvijene tehnologije gorivnih članaka, koje su danas komercijalno dostupne na tržištu, možemo svrstati u šest glavnih tipova gorivnih članaka: *Alkaline fuel cells* (AFC), *Proton exchange membrane fuel cells* (PEMFC), *Direct methanol fuel cells* (DMFC), *Molten carbonate fuel cells* (MCFC), *Phosphoric acid fuel cells* (PCFC) i *Solid oxide fuel cells* (SOFC). Svaki od navedenih tipova gorivnih članaka ima svoje jedinstvene kemijske karakteristike i komponente kao što su katalizatori i elektroliti te funkcioniraju uz različite radne temperature. Operativne karakteristike gorivnih članaka na određeni način određuju i njihovu praktičnu primjenu. Svaki stacionarni izvor energije u tehnologiji gorivnih članaka možemo uobičajeno podijeliti na tri sekcije i to: sekcija za procesiranje goriva/Fuel processor koja transformira gorivo, uobičajeno prirodni plin/Natural Gas, u čisto gorivo

vodik/HYDROGEN-RICH GAS, koje je prihvatljivog oblika za korištenje u sustavu kakav je gorivni članak; sekcija za proizvodnju električne energije/Fuel Cell Power Section koja se sastoji od niza jediničnih gorivnih članaka; i sekcija za transformiranje proizvedene istosmjerne struje/DC POWER u izmjeničnu struju/AC POWER prikladnih karakteristika za priključenje na električnu mrežu/Power Conditioner [2]. Pored električne energije izvor energije proizvodi i toplinsku energiju/Co-generated Heat. Te tri sekcije gorivnog članka grafički su prikazane na slici 1.



Slika 1. Osnovne komponente kogeneracijskog izvora energije kao gorivnog članka [2]

Budući da gotovo sve vrste gorivnih članaka rade na čisti vodik i budući da je prirodni plin još uvijek najprikladnije gorivo za dobivanje vodika, svi programi razvoja gorivnih članaka još uvijek su fokusirani i na taj dio zbog značajnog udjela troškova u ukupnim troškovima. Pored lakih ugljikovodika kao goriva za gorivne članke mogu se koristiti alkoholna goriva kao što su metanol ili etanol te od spojeva vodika koji ne sadrže ugljik kao što su amonijak ili borohidrid. Nadalje bioplina iz biomase, deponijski plin ili plin s pročistača otpadnih voda može se koristiti kao goriva za gorivne članke te se na određeni način mogu smatrati i obnovljivim izvorima energije. Od svih današnjih metoda proizvodnje vodika elektroliza vode je najprihvatljivija metoda, a kada je povezana s obnovljivim izvorima električne energije tada zaista možemo reći da proizvodimo čisti vodik [3]. Elektroliza vode može također poslužiti kao mehanizam za skladištenje električne energije u obliku vodika, a time i kao dodatno sredstvo za balansiranje intermitirajućih obnovljivih izvora energije. Izvori energije u tehnologiji gorivnih članaka koji kao gorivo koriste čisti vodik ne emitiraju štetne emisije u okoliš. Stacionarni gorivni članci koji proizvode električnu energiju i koji kao gorivo koriste prirodni plin ili druga goriva emitiraju znatno niže razine štetnih emisija u okoliš nego konvencionalne elektrane. Budući da gorivni članci proizvode električnu energiju u elektrokemijskom procesu oni su u osnovi puno učinkovitiji nego sustavi s izgaranjem goriva [1]. Sustavi gorivnih članaka danas postižu električnu učinkovitost od 40 - 50 % koristeći goriva kao što je prirodni plin. Kada je gorivni članak smješten blizu mjesta korištenja energije, kao i u nekim stacionarnim aplikacijama, otpadna toplina može se iskoristiti u procesu kogeneracije i povećati učinkovitost uređaja preko 85 %, a u nekim slučajevima i preko 90 %. Razine buke koju gorivni članci emitiraju u okoliš znatno su niže od razine buke koju emitiraju u okoliš slični uređaji u drugim tehnologijama. Od sustava besprekidnog napajanja električnom energijom u podatkovnim centrima, bankama, telekomunikacijskim kompanijama, maloprodajnim centrima, bolnicama i sličnim institucijama zahtijeva se besprijekoran rad. Postrojenja i poslovni prostori tih subjekata zahtijevaju električnu energiju koja je dostupna u 99.9999 % vremena, a postojeća električna mreža u mnogim područjima ne udovoljava tim zahtjevima. Gorivni članci mogu proizvoditi električnu energiju neovisno od električne mreže osiguravajući pouzdano rezervno napajanje električnom energijom.

2.2. Razvojni projekti/programi mikro-CHP sustava u tehnologiji gorivnih članaka

Prodaja mikro-CHP sustava u tehnologiji gorivnih članaka nadmašila je globalno prodaju konvencionalnih mikro-CHP sustava u tehnologiji s direktnim izgaranjem goriva. Ova pojava mikro-CHP sustava u tehnologiji gorivnih članaka kao dominantne tehnologije ostvarena je zahvaljujući ENE-FARM programu iz Japana [5], koji je do kraja 2012. omogućio instaliranje 34000 mikro-CHP sustava u tehnologiji gorivnih članaka na prirodni plin u kućanstvima. Cilj Japanske vlade je 5.3 milijuna jedinica u funkciji u kućanstvima do 2030. Karakteristike proizvoda variraju od kompanije do kompanije, ali uobičajeno su se u novije vrijeme prodavali sustavi s izlaznim snagama od 200 W do 750 W. U listopadu 2013. Panasonic i Tokyo Gas su najavili da će započeti s prodajom novog sustava iz programa ENE-FARM razvijenog za primjenu u stanovima koji zahtijeva strože uvjete smještaja od uvjeta u kućama. Japanske kompanije također razvijaju suradnju s inozemnim kompanijama radi prilagodbe sustava njihovim uvjetima, a s posebnim interesom za tržište Europske unije. U siječnju 2013. pokrenut je „ene.field“ projekt, kao jedan od najvećih doprinosa Europske Unije razvoju mikro-CHP sustava u tehnologiji gorivnih članaka, uz sufinanciranje Europske komisije. U periodu od pet godina predviđena su istraživanja, razvoj i instaliranje 1000 mikro-CHP sustava u tehnologiji gorivnih članaka u kućanstvima Austrije, Belgije, Danske, Francuske, Njemačke, Luksemburga, Irske, Italije, Nizozemske, Slovenije, Španjolske i Velike Britanije. Projekt uključuje preko trideset energetskih kompanija, jedinica lokalne samouprave i pružatelja usluga u stanovanju. U 2012. JX Nippon Oil & Energy iz Japana je najavio partnerstvo s Njemačkim centrom za tehnologije gorivnih članaka u nadi da će dovesti na njemačko tržište svoju jedinicu gorivnog članka u SOFC tehnologiji. Njemačka i Velika Britanija razvili su projekt pod nazivom SOFT-PACT preko kojeg će se investirati \$13.89 milijuna između 2011. i 2014. za implementaciju tehnologije gorivnih članaka u Velikoj Britaniji i Njemačkoj. U Velikoj Britaniji pokrenut je i CFCL program u ljeto 2013. ponudivši financiranje BlueGen jedinice namijenjene za društvene zgrade, škole i male poduzetnike. CFCL projekt je iskoristio postojeći sustav poticanja koji pokriva kapitalne troškove proizvodne jedinice kroz koji investitor može povratiti investiciju kroz zagarantiran feed-in sustav uz 6-9 % povrata na investiciju do isteka ugovora, a nakon čega vlasništvo nad gorivnim člankom prelazi na vlasnika kućanstva ili druge ustanove kod koje je instaliran gorivni članak. Nadalje, Vlada Velike Britanije je povećala *feed-in tarife*, primjenjivo i na tehnologiju gorivnih članaka, s 14.2 p/kWh na 17 p/kWh. Danska je također razvila projekt pod nazivom Danish Micro Combined Heat and Power u koji će se investirati €22.7 milijuna između 2010. i 2014. za razvoj i primjenu tehnologije gorivnih članaka. U SAD-u postoji snažna podrška za razvoj tehnologije gorivnih članaka i tehnologije vodika pod vodstvom Vlade SAD-a. California je jedna od vodećih država SAD-a po pitanju legislative za smanjenje štetnih emisija u prometu te poticanju korištenja automobila u prometu u tehnologiji gorivnih članaka. Kompanija ClearEdge u SAD-u već nekoliko godina prodaje mikro-CHP sustave u tehnologiji gorivnih članaka snage 5 kW i to primarno na tržištu Californije gdje je uspostavljen sustav poticaja za sufinanciranje troškova nabave takvih uređaja. Ciljana tržišta su tržišta za podatkovne centre, restorane, maloprodajne prostore, manje hotele, fitnes centre, manje stambene zgrade, samoposluge i drugi slični sadržaji. Te mikro-CHP jedinice koriste prirodni plin za gorivo i mogu raditi neovisno ili paralelno s mrežom.

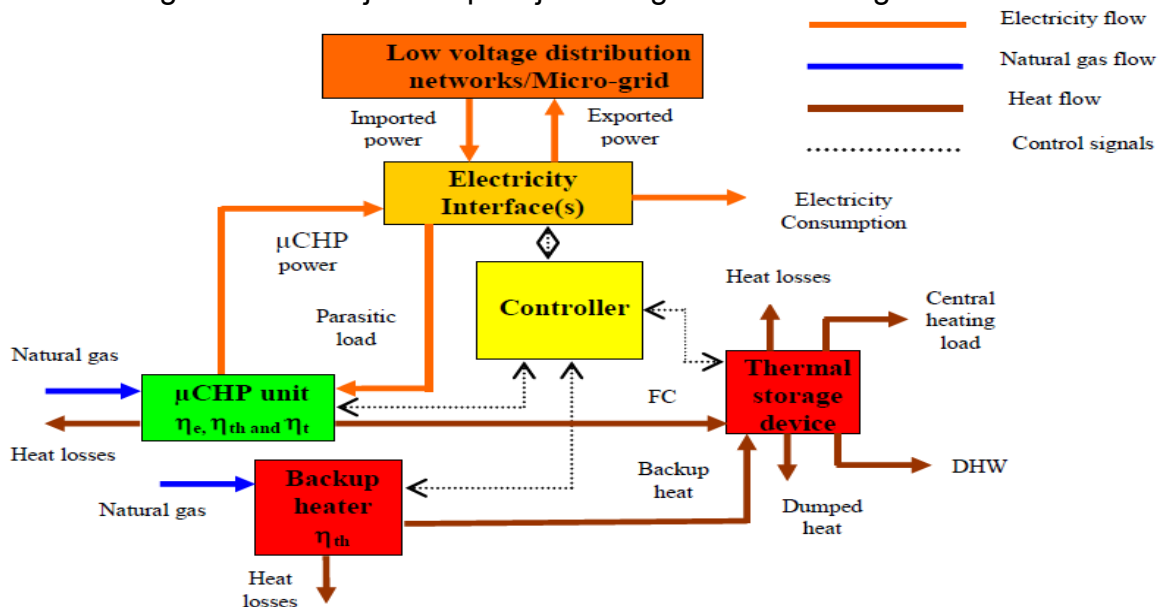
3. Optimalne operativne strategije mikro-CHP sustava za kućanstva

Operativne strategije više-energijskih sustava, kao što su i mikro-CHP sustavi [6], mogu se svrstati generalno u dvije glavne kategorije: konvencionalne operativne strategije i ne-konvencionalne operativne strategije. Konvencionalne operativne strategije energetskih sustava su relativno jednostavne i izravne operativne strategije, koje mogu biti jednostavno

implementirane i upravljane kroz konvencionalne upravljačke tehnike. Nekonvencionalne operativne strategije su strategije kojima je glavni cilj traženje optimalnih ili blizu-optimalnih radnih uvjeta više-energijskih sustava u bilo kojem vremenskom trenutku. Nekonvencionalne operativne strategije mogu se svrstati u dvije glavne kategorije: operativne strategije bazirane na optimiranju rada sustava i operativne strategije bazirane na unaprijed poznatim pravilima rada sustava. Te operativne strategije su bazirane na traženju, prema određenoj funkciji cilja, optimalnih parametara sustava koji vode ka optimalnim karakteristikama sustava, koristeći metode kao što su linearno programiranje, nelinearno programiranje i dinamičko programiranje. Operativne strategije bazirane na unaprijed poznatim pravilima rada sustava su one operativne strategije koje generalno koriste tehnike umjetne inteligencije.

4. Optimiranje rada mikro-CHP sustava za kućanstvo u uvjetima otvorenog tržišta

U ovom radu bit će prikazan rad mikro-CHP sustava za kućanstvo u uvjetima otvorenog energetskeg tržišta, a koji se sastoji od mikro-CHP jedinice/ μ CHP unit, spremnika toplinske energije/Thermal storage device, pomoćnog bojlera/Backup heater, sučelja električne energije koje povezuje proizvodnju električne energije mikro-CHP jedinice/ μ CHP power s potrošnjom električne energije kućanstva te s električnom distribucijskom mrežom/Low voltage distribution networks. Mikro-CHP jedinica priključena je na plinsku distribucijsku mrežu/Natural gas network, a spremnik toplinske energije napaja toplinskom energijom sustav centralnog grijanja/Central heating load i zagrijava sanitarnu vodu za potrebe kućanstva/DHW. Mikro-CHP sustav je opremljen upravljačkom jedinicom/Controller koja upravlja svim jedinicama sustava. Cjelokupni sustav prikazan je na slici 2. uz prikaz tokova električne energije/Electricity flow, tokova toplinske energije/Heat flow, tokom prirodnog plina/Natural gas flow te smjerovi upravljačkih signala/Control signals.



Slika 2. Konceptijski model mikro-CHP sustava i međusobna povezanost [6]

Za upravljanje mikro-CHP sustavom u kućanstvu korist će se jedna od nekonvencionalnih operativnih strategija koja se bazira na traženju optimalnih parametara sustava koristeći funkciju linearnog programiranja [6]. Ta funkcija bit će primijenjena u uvjetima otvorenog energetskeg tržišta na kojem je slobodno formiranje cijena električne energije, toplinske energije, prirodnog plina kao i drugih energetskeg usluga. U takvim uvjetima cijene električne

energije i prirodnog plina se mogu mijenjati na satnoj osnovi, cijene energetske usluga za operatore energetske sustava i za ostale energetske subjekte na energetskom tržištu također se mogu mijenjati na satnoj osnovi. Mikro-CHP sustav koristi prirodni plin za gorivo s ciljem zadovoljenja potražnje za toplinskom i električnom energijom kućanstva. Međutim kada je vrijednost električne energije proizvedena iz mikro-CHP jedinice veća od potražnje, višak električne energije može se isporučiti kroz distribucijsku mrežu drugim kupcima i prodati na tržištu električne energije. S druge strane iz distribucijske mreže može se preuzeti potrebna količina električne energije za potrebe kućanstva, a koja nije mogla biti proizvedena iz mikro-CHP jedinice. Što se tiče toplinske energije sustav funkcionira na način da proizvedenu toplinsku energiju troši za zadovoljenje potražnje u kućanstvu, međutim ako je trenutna proizvodnja toplinske energije veća od potražnje višak toplinske energije se može spremati u toplinski spremnik i obrnuto, ako proizvedena količina toplinske energije nije dovoljna da zadovolji potražnju za toplinskom energijom može se preuzeti spremljeni dio toplinske energije iz spremnika. Ukoliko i nakon toga nije zadovoljena potražnja za toplinskom energijom uključuje se pomoćni bojler. Polazna pretpostavka je da mikro-CHP može raditi s bilo kojom snagom unutar definiranog područja te da je sustav savršeno raspoloživ, to jest da se prekidi u radu neće razmatrati u modelu. Ulazne veličine modela su: troškovi održavanja mikro-CHP jedinice i pomoćnog bojlera; cijene prirodnog plina i električne energije preuzete iz distribucijske mreže; cijene električne energije predane u distribucijsku mrežu i prodane na tržištu električne energije za dan unaprijed (Cizvoz; Celec); prognozirana potražnja za toplinskom (Qd) i električnom energijom (Pd) na satnoj osnovi za dan unaprijed; električna i toplinska učinkovitost mikro-CHP; učinkovitost pomoćnog bojlera; učinkovitost spremnika toplinske energije i cijena štetnih emisija ugljičnog dioksida u okoliš. Izlazne veličine modela su električna snaga mikro-CHP za 24 sata slijedećeg dana uz minimalne troškove rada tog dana, s ciljem ostvarenja potražnje za toplinskom i električnom energijom kućanstva (Pchp, Qchp). Model se sastoji od šest različitih operativnih varijabli: izlazna električna snaga mikro-CHP tijekom svakog sata promatranog dana; izlazna toplinska snaga pomoćnog bojlera tijekom svakog sata promatranog dana (Qboil); ulazna vrijednost toplinske energije koja se sprema u spremnik toplinske energije tijekom svakog sata promatranog dana (Qstor-pozitivne vrijednosti); izlazna vrijednost toplinske energije koja se iz spremnika predaje kućanstvu za zadovoljenje potražnje (Qstor-negativne vrijednosti) koje su prikazane u testnim primjerima na slikama 3, 4, 5 i 6. Operativna strategija mikro-CHP sustava za rad u uvjetima otvorenog energetskeg tržišta izražena je kroz slijedeću funkciju cilja:

$$\text{Min. Trošak}_{\text{mCHP}} = \sum (C_{\text{plin}}(i) \cdot (F_{\text{chp}}(i) + F_{\text{boil}}(i) + C_{\text{uvoz}}(i) \cdot P_{\text{uvoz}}(i) - C_{\text{izvoz}}(i) \cdot P_{\text{izvoz}}(i) + E_{\text{emisije}}(i) \cdot \text{CO}_2)$$

$i = 1, 2, 3, \dots$ do 24

$C_{\text{plin}}(i)$ = cijena goriva (prirodnog plina) na tržištu

$F_{\text{chp}}(i)$ = količina goriva (prirodnog plina) potrošenog u CHP

$F_{\text{boil}}(i)$ = količina goriva (prirodnog plina) potrošenog u pomoćnom bojleru

$C_{\text{uvoz}}(i)$ = cijena električne energije preuzete iz NN-mreže

$P_{\text{uvoz}}(i)$ = količina preuzete električne energije iz NN-mreže

$C_{\text{izvoz}}(i)$ = cijena električne energije na tržištu električne energije

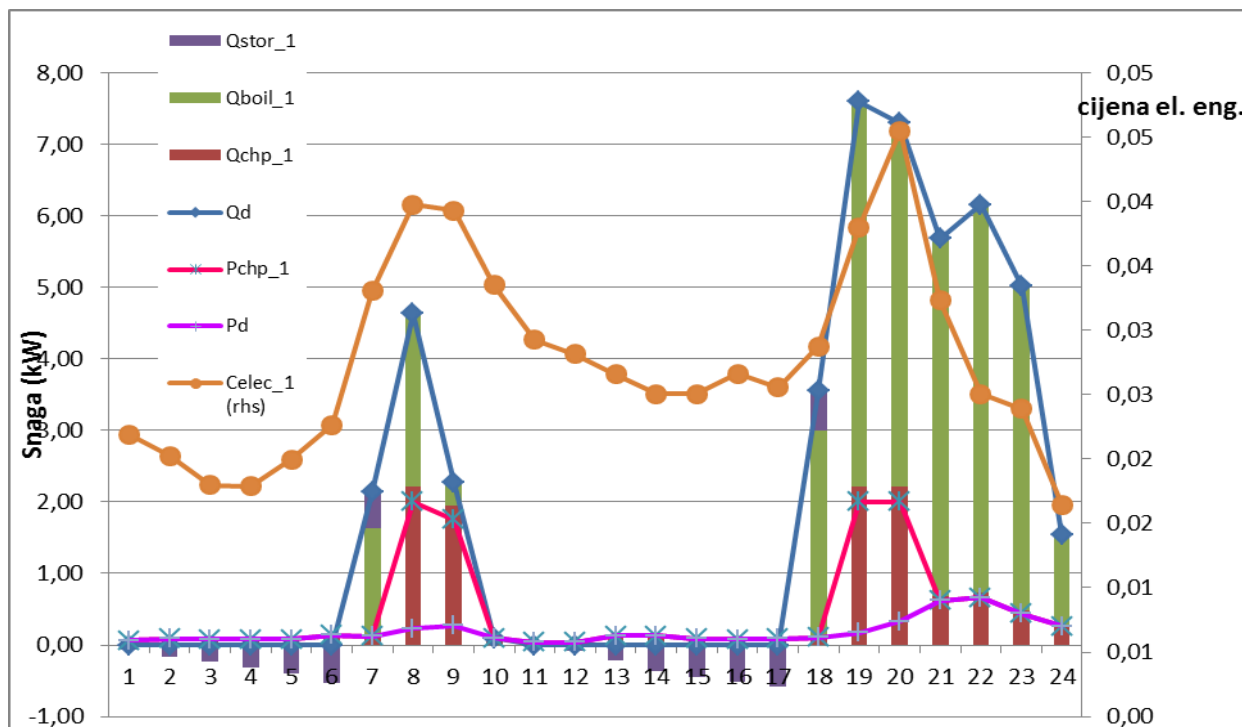
$P_{\text{izvoz}}(i)$ = količina električne energije proizvedene u CHP i predane u NN-mrežu

$E_{\text{emisije}}(i)$ = količina emisije CO_2 u okoliš

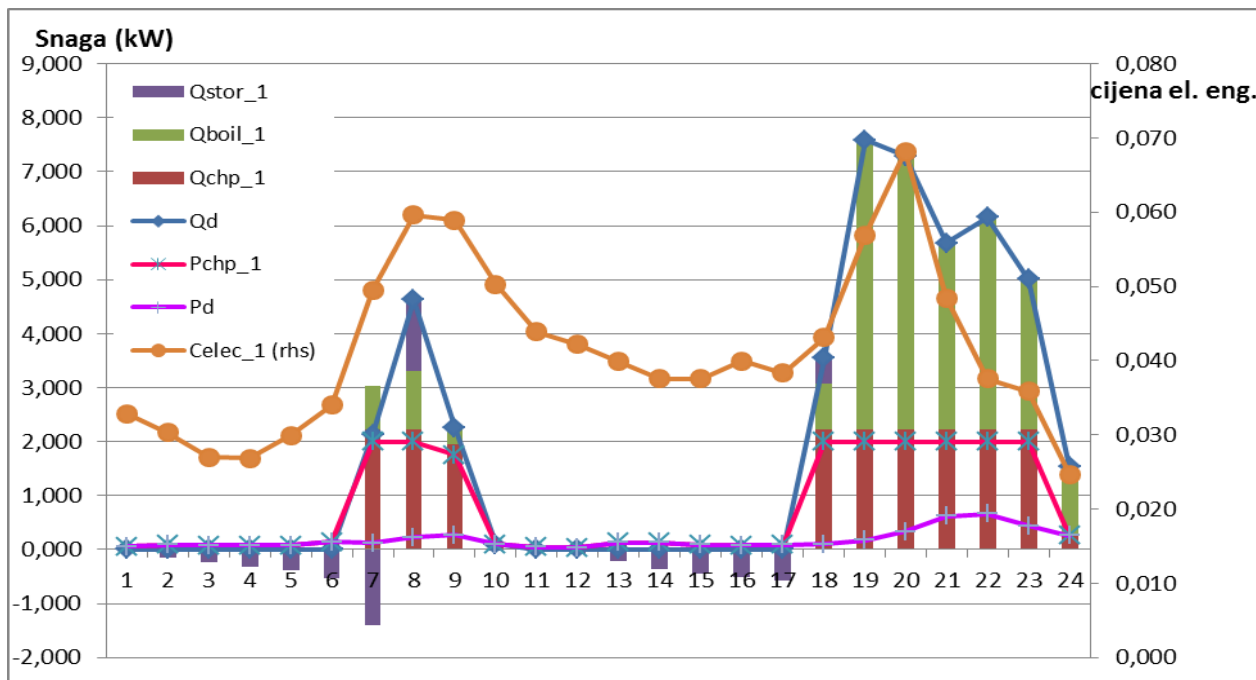
CO_2 = cijena emisije CO_2 u okoliš

Verifikacija modela izvršena je na testnom modelu prema literaturi [6]. Kućanstvo koje se analizira je nisko-energetska kuća u oklici Londona s podacima potražnje za električnom i

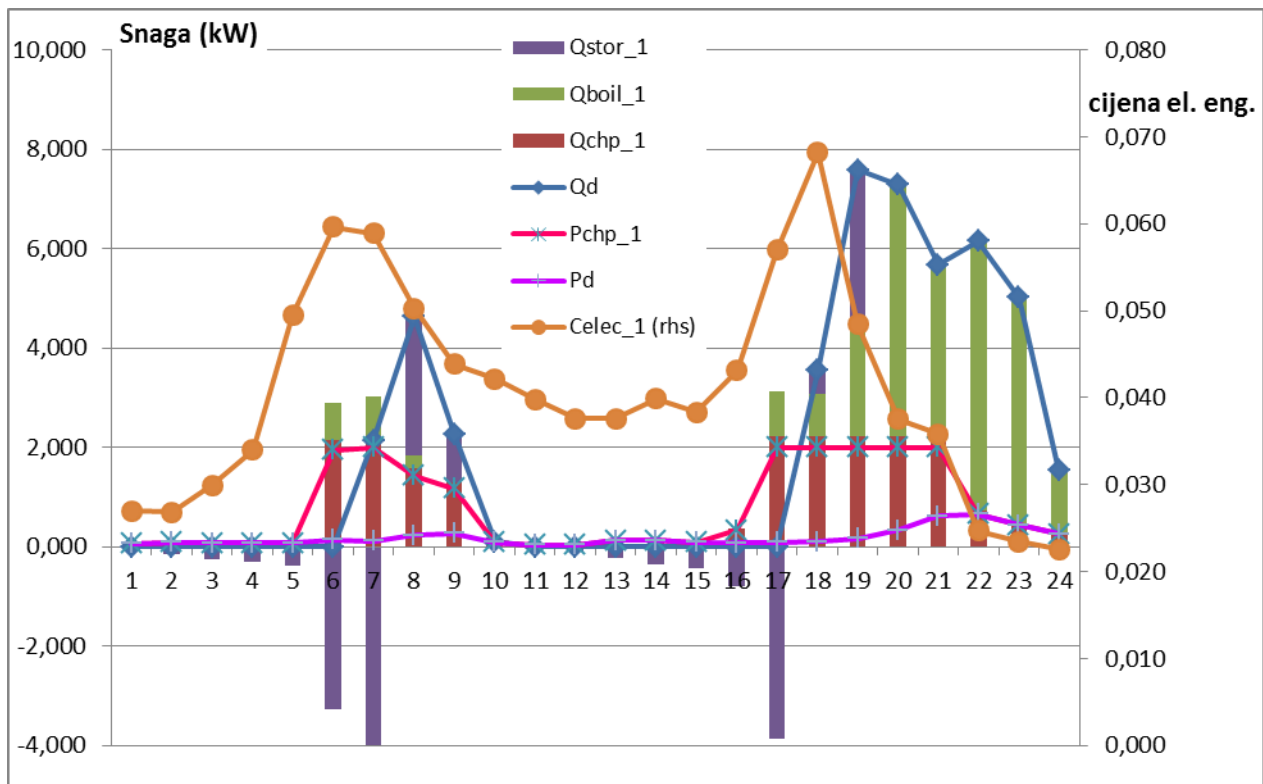
toplinskom energijom za siječanj 2012. i ostalim podacima iz izvora prema literaturi [6]. Električna energija proizvedena pomoću mikro-CHP jedinice i predana u električnu mrežu ulazi u model sa stvarnim cijenama na tržištu električne energije, na burzi električne energije u Mađarskoj (HUPX), na tržištu za dan unaprijed, od 18.ožujka 2014, (Celec_1). Za testiranje modela korišten je program Xpress-MP.



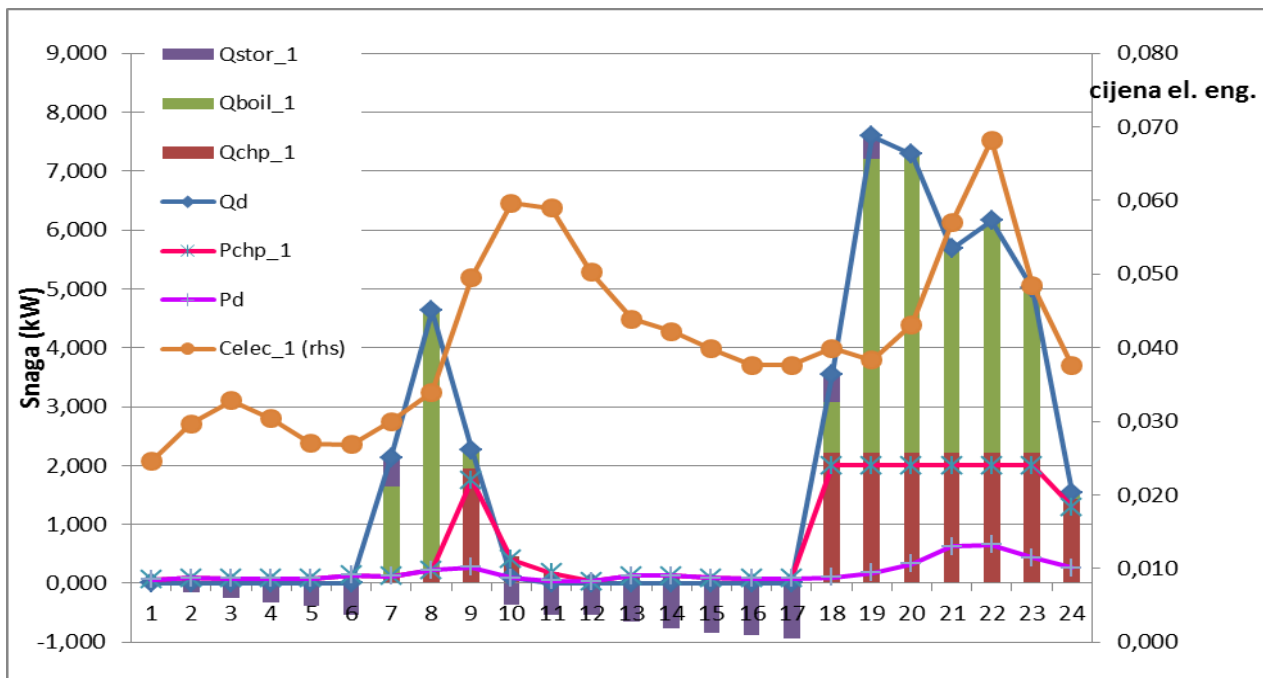
Slika 3. Planiranje rada mikro-CHP sustava za dan unaprijed uz Celec_1



Slika 4. Planiranje rada mikro-CHP sustava za dan unaprijed uz Celec_1*1,5



Slika 5. Planiranje rada mikro-CHP sustava za dan unaprijed uz Celec_1*1,5 i 2 sata pomaknuta na lijevo u odnosu na osnovnu cijenu



Slika 6. Planiranje rada mikro-CHP sustava za dan unaprijed uz Celec_1*1,5 i 2 sata pomaknuta na desno u odnosu na osnovnu cijenu

Testiranje modela je provedeno i za slučajeve ekstremnih promjena cijena električne energije na tržištu s ciljem prikaza trendova reakcije svih komponenti mikro-CHP sustava

na te promjene. Rezultat takvih promjena cijena električne energije može biti pogrešna prognoza cijena na tržištu električne energije za dan unaprijed.

5. Zaključak

Daljnji razvoj tehnologije gorivnih članaka i njezina primjena u različitim područjima života i rada može dovesti do značajnog smanjenja troškova proizvodnje i otvoriti perspektivu masovne primjene mikro-CHP sustava u kućanstvima. Uz cijenu uređaja tu su i operativni troškovi rada mikro-CHP jedinice, ali i cjelokupnog sustava, čije optimiranje također može odigrati važnu ulogu u smanjenju ukupnih troškova korištenja takvih sustava te time pozitivno utjecati na dinamiku njihovog ulaska u sektor kućanstva i druge sektore. Svako smanjenje operativnih troškova rada sustava smanjuje ukupne troškove korištenja sustava i povećava njihovu konkurentnost na tržištu u odnosu na druge tehnologije. Iz rezultata testiranja modela za optimiranje rada mikro-CHP sustava u uvjetima otvorenog energetskeg tržišta je vidljivo da mikro-CHP sustav ima određenu fleksibilnost u radu i da se nastoji prilagoditi s proizvodnjom električne energije što je moguće više u sate s većom cijenom na tržištu električne energije. Ta fleksibilnost u upravljanju mikro-CHP sustavima može se iskoristiti za stvaranje dodane vrijednosti za proizvedenu električnu energiju i pozitivno utjecati na smanjenje troškova rada takvih sustava. Veća energetska učinkovitost, manji štetni utjecaji na okoliš, više-energijski sustav s lokalnom autonomijom u radu i većom funkcionalnom fleksibilnošću djeluju ohrabrujuće da će razvoj i primjena takvih sustava postati realnost u skoroj budućnosti.

6. Literatura

- [1] FUEL CELLS 2000, 1100 H Street NW, Suite 800 Washington, DC 20005. Breakthrough Technologies Institute: Types of Fuel Cells, 2014, (tehničko izvješće)
- [2] Remick, Robert; Douglas, Wheeler. Molten Carbonate and Phosphoric Acid Stationary Fuel Cells: Overview and Gap Analysis, A national laboratory of the U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, DJW Technology, LLC, Technical Report, September 2010, (NREL/TP-560-49072), (tehničko izvješće)
- [3] Fuel Cell Today, Gate 2, HQ Building, Orchard Road, Royston, Herts SG8 5HE, UK. Johnson Matthey PLC: „Water Electrolysis & Renewable Energy Systems“, May 2013, (tehničko izvješće)
- [4] Fuel Cell Today, Gate 2, HQ Building, Orchard Road, Royston, Herts SG8 5HE, UK. Johnson Matthey PLC: „The Fuel Cell Industry Review 2013“, September 2013, (tehničko izvješće)
- [5] Curtin, Sandra; Scherer, Benedikt. Fuel Cells 2000: „Residential-scale power generation“, October/November 2013, (članak)
- [6] SHANEB, OMAR, ALI. Optimisation and Operation of Residential Micro Combined Heat and Power (μ CHP) Systems, Durham theses, Durham University. Available at Durham E-Theses Online: <http://etheses.dur.ac.uk/4432/>, (doktorski rad).

Utjecaj razvoja elektrana na biomasu na raznolikost krajolika istočne Hrvatske

Development impact of Biomass power plants on the diversity of Eastern Croatia landscape

D. Stober¹, Ž. Jurković*¹, Z. Dolaček-Alduk¹

¹Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, Hrvatska

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

Sažetak

Proizvodnja biogoriva tržište je na kojemu se Hrvatska predstavlja svojim resursima sukladno održivom cilju prema kojem je potrebno pokriti potrošnju biogoriva u 2020. godini vlastitom proizvodnjom. Što sve to donosi kao posljedicu u prostornom kontekstu? S jedne strane ne želi se ugrožavati krajobrazna raznolikost Hrvatske, dok se s druge strane predviđa proizvodnja samo nekih kultura koja traži konverziju u monokulturni krajolik. U radu se daje pregled sukladnih ciljeva energetske i prostorne strategije na nacionalnoj razini te se analiziraju potencijalni konflikti na lokalnoj razini istočne Hrvatske kroz pregled i analizu prostornih podataka i trendova u poljoprivrednoj proizvodnji Osječko-baranjske županije. Daje se pregled postojećih modela za optimalno lociranje postrojenja za proizvodnju energije iz biomase te se iznosi prijedlog za koncipiranje modela njihovog lociranja za prostor Osječko-baranjske županije.

Ključne riječi: energija, biomasa, krajolik, prostorni konflikti

Abstract

Biofuel production is a market where Croatia is presented with its resources consistent with sustainable goal that includes covering the consumption of biofuel in the 2020 with its own production. What does it bring as a consequence regarding spatial context? On the one hand Croatian landscape diversity should be preserved while on the other this kind of production requires conversion to monoculture landscape. This paper provides an overview of consistent energetic and spatial strategy goals. Furthermore, through an overview and analysis of spatial data and trends in agricultural production of Osijek-Baranja County potential conflicts on the local level of eastern Croatia are analyzed. The paper will synthesize an overview of existing models for the optimal placement of biomass power plants and conclusively put forward a proposal for designing a placement model for biomass power plants for the Osijek-Baranja County area.

1. Uvod

Od kraja 20. stoljeća prostor Hrvatske ne planira se centraliziranim metodama već se, više spontano nego kontrolirano, u planiranje integrirala gospodarsko-financijska komponenta, dinamika tržišta, interes kapitala i profita. S druge strane, cjelovito, integrirano planiranje prostora potaknuto je sektorskim osvješćivanjem o vrijednostima prirodne baštine,

društvenim potrebama, značenju prometne dostupnosti, društvene uključenosti, važnosti energetskega sektora i drugih. Regionalni razvojni planovi i potenciranje regionalne razine stavili su prostorno planiranje u širi kontekst nego što planiranje već samo po sebi implicira interdisciplinarnost i cjelovitost. Ekspanzivni europski politički okvir unije i društveno-prostorni imperativ policentričnog razvoja urbanih središta, direktive EU, ESDP, pokazatelji Eurostata i Espona postavili su novu prostornu granicu planiranja „od gore“ za hrvatski prostor, dok horizont trendova seže do globalne razine, Milenijskih razvojnih ciljeva do 2015. godine, produženog Kyoto sporazuma i drugih. Ciljevi su postavljeni, trendovi jasni, no nacionalni je okvir i dalje osnovno mjerilo za hijerarhiju planiranja.

Promjene na tržištu energije se odražavaju na gospodarsku snagu i nacionalnu samostalnost, čime je upletena i politička dimenzija, dok s druge strane povlači za sobom okolišna opterećenja, društvenu reakciju i odgovornost prema široj javnosti. Održivost u svojoj fluktuaciji između gospodarskog, društvenog, okolišnog i kulturnog stupa umnožila je do sada jednostavne i sagledive konflikte na relaciji čovjek-priroda. Da li sada govorimo o konfliktu održivo gospodarenje energijom – održivi krajolik, a pokazatelji i posljedice utjecaja promjena u jednom ili drugom sektoru su toliko preklapajući da su nesagledivi?

U radu se razmatraju pokazatelji potencijala proizvodnje energije iz obnovljivih izvora biomase suprotstavljeni postojećem stanju krajobraznih vrijednosti Osječko-baranjske županije. Regionalna administrativna razina odabrana je kao adekvatna zbog prikupljanja i objave podataka te karaktera krajolika koji se percipira na regionalnoj razini. Za analizu pokazatelja trendova, korišteni su podaci iz publikacija nacionalne i županijske razine za energetske, poljoprivredni, okolišni sektor [1].

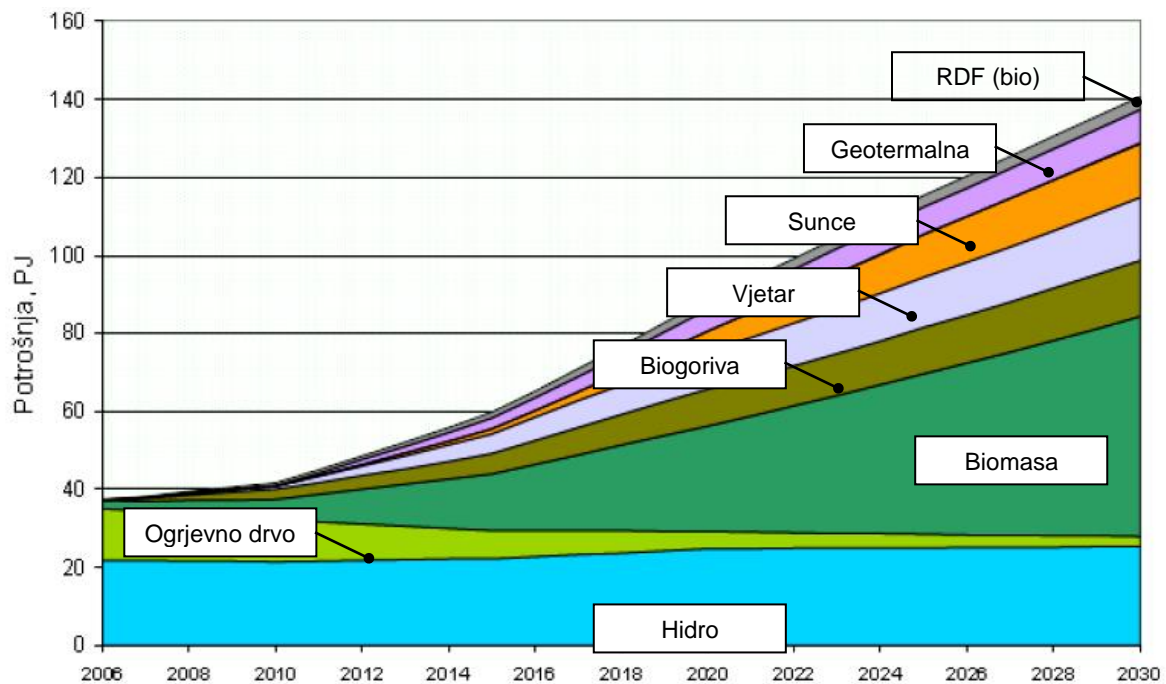
2. Poljoprivredni trendovi u kontekstu energetskega ciljeva

Prema podacima Eurostata iz 2010. godine, Hrvatska ima 1.316.010 ha poljoprivrednih površina, što čini 0,8% poljoprivrednih površina Europske unije [2]. Osječko – baranjska županija s 212.013 ha poljoprivrednih površina predstavlja područje najintenzivnije poljoprivredne proizvodnje u Hrvatskoj, s ukupnim udjelom od 8,4% poljoprivrednog zemljišta RH te s proizvodnjom pšenice, kukuruza i industrijskog bilja koja predstavlja 25-30% ukupne proizvodnje u RH [3]. Tim podacima se promatrani prostor pozicionira kao bitan strateški prostor za zadovoljavanje potreba za hranom u hrvatskom prostoru, no i kao bitan izvor biomase na energetskega karti Hrvatske.

Hrvatskoj je odobreno prijelazno razdoblje do 2018. godine za prilagodbu uvjetima dobre poljoprivredne prakse i ekoloških uvjeta proizvodnje te za smanjivanje navedenih ograničenja i uspostavu zdravog tržišta poljoprivrednih proizvoda. U najnovijem i najcjelovitijem strateškom dokumentu u kojemu se razmatra budućnost poljoprivrede Hrvatske, Programu ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014.-2020. kroz prioritete se dotiče i kolizije poljoprivrednog i energetskega te okolišnog sektora. Prioritet 2 utvrđuje: „*Poboljšanje održivosti poljoprivrednih gospodarstava te konkurentnosti svih vrsta poljoprivrednih djelatnosti u svim regijama, promovirajući pri tome i inovacijske poljoprivredne tehnologije, kao i održivo upravljanje šumama*“ pri tome združuje energiju i poljoprivredu, dok Prioritet 4 ističe: „*Obnova, očuvanje i poboljšanje ekosustava vezanih uz poljoprivredu i šumarstvo*“. Za navedene ciljeve ovaj dokument navodi i kvantificirane mjere kojima će ih provoditi i pratiti. Obnovu, očuvanje i povećanje bioraznolikosti iskazat će udio poljoprivrednog zemljišta na koje se utjecalo da doprinosi bioraznolikosti, dok će povećanje učinkovitosti u korištenju energije u poljoprivredi i preradi hrane kao pokazatelj iskazati investicija u obnovljive izvore energije [4].

Promjene u prostoru, osobito regionalnog obuhvata su trome, spore i neelastične. Neka od važnijih ograničenja koja se ističu kao prepreka funkcioniranju poljoprivrednog sektora prema ekonomskim zakonitostima, a koje identificiramo i s hrvatskom situacijom, su:

- nezavršen proces restitucije i privatizacije poljoprivrednoga zemljišta
- neuređeni vlasnički odnosi, nesređeni katastar i neprovođenje procesa komasacije zemljišta
- nedostatak poticaja za pokretanje privatnoga ili kolektivnoga bavljenja poljoprivredom
- preveliki utjecaj države koja je vlasnik i najmodavac zemljišta i koja određuje regulatorni okvir
- kulturološki stavovi i vrijednosti snažno vezani uz posjedovanje zemljišta [5].



Slika 1. Projekcije kretanja udjela obnovljivih izvora energije do 2030. godine
(izvor: <http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/OIE%20Uvod%20prezentacija.pdf> prema [6])

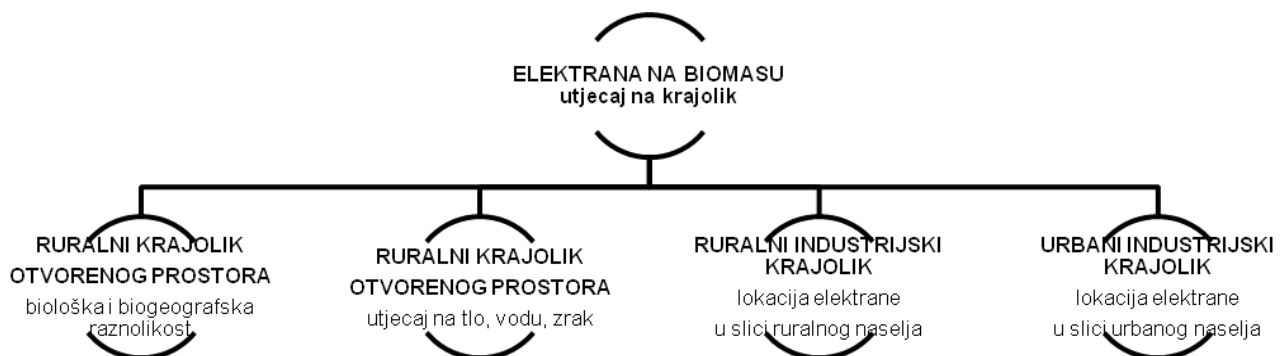
Zahtjevi za energetski sektor, također dolaze sa strateške razine te su još jasnije proklamirani i s europske razine u obliku formule 20-20-20. Direktiva o obnovljivoj energiji 2009/28/EZ osnovni je europski okvir za poticanje obnovljivih izvora energije, postavljanjem obveznih nacionalnih ciljeva za postizanje udjela obnovljivih izvora energije od 20% u neposrednoj potrošnji energije i 10% energije iz obnovljivih izvora u prijevozu do 2020. godine, a koje je preuzela i Hrvatska.

Razvoj i korištenje obnovljivih izvora dugoročno doprinosi: diversifikaciji proizvodnje energije i sigurnosti opskrbe, smanjenju ovisnosti o uvozu energenata, smanjenju utjecaja uporabe fosilnih goriva na okoliš, povećanju konkurentnosti, otvaranju novih radnih mjesta i razvitku poduzetništva, poticanju razvitka novih tehnologija i domaćeg gospodarstva u cjelini i ulaganju u ruralna područja. Prema podacima Energetskog instituta Hrvoje Požar i Hrvatske elektroprivrede proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije u 2012. godini iznosila je 510,75 GWh što nas u europskom kontekstu pozicionira u pozitivnu kategoriju, nešto iznad prosjeka [4] no i dalje s postavljenim ciljem kojeg treba ostvariti. Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske (NN 130/09) predviđa dinamičan rast broja

postrojenja na biomasu do 2020. godine te postavlja cilj da u 2010. godini upotrebljava oko 15 PJ energije iz biomase, a u 2020. godini, oko 26 PJ te u ovom radu razmatramo moguće posljedice očekivanog razvoja ovog sektora na prostor Osječko-baranjske županije [6] i koliziju s ciljevima očuvanja vrijednog krajobraza.

3. Prostorni konflikti razvoja resursa za proizvodnju energije iz biomase i krajobraznih vrijednosti

Izrađeno na osnovu podataka globalne razine, Izvješće o napretku korištenja obnovljivih izvora energije iz 2013. godine [6] donosi procjenu utjecaja povećanja korištenja obnovljivih izvora energije za sljedeća područja: smanjenje emisije stakleničkih plinova; biološka raznolikost; identifikacija vrijednih područja; utjecaj na vode; utjecaj na zrak; utjecaj na tlo. Razvoj promatranih resursa očito nije jednodimenzionalan i sam po sebi opravdan paradigmom održivosti već promjene koje nosi treba pažljivo pratiti.



Slika 2. Shema utjecaja pojave elektrane na biomasu na krajobraz
(izvor: autori)

Van Dam et al. [7] u radu iznose opsežan i globalan pregled kriterija za održivost iskorištavanja biomase s ciljem postavljanja kriterija za certificiranje „održivog korištenja biomase“. U radu analiziraju i uspoređuju kriterije održivosti nekoliko interesnih skupina (internacionalne i nacionalne institucije, udruge, proizvođači) te u zaključku predstavljaju moguću platformu unutar koje bi se trebao tražiti put ka certificiranju resursa biomase s ciljem kontrole posljedica njenog nastanka i trgovanja. Početne postavke za razvoj pokazatelja nalazimo u područjima proizvodnje i skladištenja resursa te u njenom transportu kao i u trgovanju i uvjetima tržišta.

Diskusija o opsegu i vrsti zemljišta potrebnih za proizvodnju biogoriva i utjecajima na obradivo zemljište razlikuje dva elementa: izravne promjene u korištenju zemljišta, odnosno procjenu količine zemljišta koje se koristi za proizvodnju sirovine biogoriva; te kao drugo, neizravne učinke korištenja zemljišta ukoliko korištenje sirovina za biogoriva ugrozi proizvodnju hrane i stočne hrane. Dodatno, sama izgradnja postrojenja i stvaranje industrijskog, tehničkog krajolika koja se pojavljuje na osjetljivim, rubnim (ulaznim) područjima naselja i u agrarnom krajoliku, izravan je utjecaj koji se može očekivati ovim razvojem (slika 2).

4. Poljoprivredni trendovi, energetske potrebe i krajobrazne vrijednosti Osječko-baranjske županije

4.1 Prostorni okvir i izvori podataka

Osječko-baranjska županija je smještena na sjeveroistoku Hrvatske i prostire se na površini od 4.155 km². Obuhvaća Baranju i sjeveroistočnu Slavoniju gdje prema popisu stanovništva iz 2011. godine živi 317.802 stanovnika u 7 gradova, 35 općina i 263 naselja [1]. Za prostor Osječko-baranjske županije do sada je istražen potencijal proizvodnje energije, uključivo i iz obnovljivih izvora u okviru nekoliko projekata (REPAM, CHREN, BIGEAST i drugi) te su rezultati korišteni u ovom radu. Korišteni su sljedeći izvori: Statistički portret Hrvatske u Europskoj uniji (2013), HR-STAT, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/>, CORINE Land cover, (2006), Biogas Potential in Croatia, Summary Report (2009), Energija u Hrvatskoj, godišnji energetske pregled 2012 (2013), Informacija o stanju i problematici poljoprivredne proizvodnje na području Osječko-baranjske županije (2013), Program učinkovitog korištenja energije u neposrednoj potrošnji na području Osječko-baranjske županije za razdoblje 2012.- 2014. s osvrtom na 2016. godinu (2011), Stanje gospodarstva Osječko-baranjske županije (2013), Izvješće o stanju i zaštiti prirode na području Osječko-baranjske županije (2011), Izvješće o stanju okoliša na području Osječko-baranjske županije za razdoblje 2009. - 2012. godine (2014).

Različiti podaci o površinama pokrivenim poljoprivrednim kulturama pojavili su se uslijed različite metodologije kojom se koristi projekt Corine Land Cover u odnosu na Državni zavod za statistiku, a čiji je podatak preuzet u radu jer se prenosi na županijsku razinu.

4.2 Prostorni konflikti poljoprivrednog i energetske razvoja i krajobraznih vrijednosti u OBŽ

Na regionalnoj razini ciljevi su u dokumentima razloženi sektorski i manje cjelovito. U Informaciji o stanju i problematici poljoprivredne proizvodnje na području Osječko-baranjske županije iz 2013. godine predlaže se promjena strukture poljoprivredne proizvodnje prema slijedećim zahtjevima: 50% žitarica i industrijskog bilja, 25% krmiva, 25% povrća i voća te promjena koja zagovara ili promjenu nasada ili okrupnjavanje zemljišta s argumentom nerentabilnosti proizvodnje žitarica i industrijskog bilja na malim površinama [3].

Ne uzimajući projekcije poljoprivrede već postojeće stanje, projekt REPAM rezultirao je slijedećim podacima za potrebne količine površina za energetske nasade u opcijama monodigestije i kodigestije za proizvodnju bioplina i biogoriva. U slučaju proizvodnje bioplina iz stajskog gnojiva u kodigestiji sa kukuruznom silažom od 30% za količinu energije od 1.875 TJ/god iznijeta je procjena o potrebnoj površini od 7.822 ha poljoprivrednog zemljišta. Ukoliko se angažira 175.724 ha raspoloživog poljoprivrednog zemljišta za proizvodnju biodizela odnosno bioetanola moguće je ostvariti energetske vrijednosti od 16.845 TJ sa nasadima šećerne repe ili 8.936 TJ sa kukuruznom silažom [6]. Kako procijeniti/planirati održivi broj i kapacitete bioplinskih postrojenja u nekoj regiji, uvažavajući pri tome dostupnost sirovine i zahtjeve za očuvanjem krajobrazne raznolikosti?



Slika 3. Krajobrazni elementi prostornog plana – poligon, linija

(izvor: Fantastična Baranja, <http://business.croatia.hr/Documents/903/Fantasticna-Baranja-HR.pdf>)

Prema Strategiji prostornog uređenja RH, Hrvatska je podijeljena u 4 prirodno-geografske regije, odnosno 16 osnovnih krajobraznih jedinica. Administrativni okvir Osječko-baranjske županije pripada prirodno-geografskoj regiji istočne Hrvatske, a na njenom prostoru razlikujemo dvije osnovne krajobrazne jedinice: nizinska područja sjeverne Hrvatske i Panonska gorja. Unutar krajobrazne jedinice „nizinska područja sjeverne Hrvatske“ uočavaju se četiri cjeline: nizinski prostor unutar kojega dominira agrarni krajobraz ispresijecan s većim ili manjim kompleksima poplavnih šuma; blago brežuljkasti prostor Đakova i okolice u južnom dijelu županije u kojemu se oranice izmjenjuju s voćnjacima i vinogradima; prostor Daljske planine na južnoj obali Dunava u kojemu dominiraju usitnjene parcele s dominantnim vinogradima i voćnjacima; te prostor Banske planine osnovna fizionomija doista određena „agrarnim krajobrazom s kompleksima hrastovih šuma i poplavnim područjima“, gdje poljoprivredne površine zauzimaju oko 64%, površine pod šumom oko 27%, a od poplavnih područja. Područje PP Kopački rit zauzima oko 4,3% površine županije.

Prostorni plan Osječko-baranjske županije (2010) kao osobito vrijedne izdvaja sljedeće krajobrazne cjeline: poplavne doline Drave i Dunava (od granice s Mađarskom do Dalja); poplavne šume i ribnjaci; prostor oko Mandićevca (Drenje), te prostor Erdutski vinogradi. Kao osobito vrijedne krajobrazne elemente ističe raznolikost poljoprivrednih kultura; vizualnu kvalitetu smjenjivanja nepreglednih poljoprivrednih površina sa šumama; prelaske s ravničarskog krajobraza na brežuljkaste predjele prekrivene šumama i vinogradima; područja s karakterističnim uzorcima naselja i pojedinačne „markeri“ (kulturno-povijesne i graditeljske baštine).

Vežano uz inventarizaciju ovih elemenata tijekom ove godine ARKOD je dopunio karte svog interaktivnog preglednika krajobraznim elementima unutar kategorije „obilježja krajobraza“ kao „točke“, „linije“ i „poligoni“, locirajući vrijedne šumarke, drvorede, pojedinačna stabla, grmlje i ostale vrijedne krajobrazne elemente (slika 3). Na području Osječko-baranjske županije, u pet kategorija zaštite (park prirode, posebni rezervat, zaštićeni krajobraz,

spomenik parkovne arhitekture i spomenik prirode) obuhvaćeno je ukupno 18 zaštićenih prirodnih vrijednosti što čini oko 20% površine Županije.

Projekt BiG East (EIE/07/214) se provodio u šest zemalja južne i istočne Europe, uključivo i u Hrvatskoj te je za cilj imao promociju bioplina kao obnovljivog izvora energije. Unutar projekta izrađen je i Vodič za odabir povoljne lokacije za bioplinsko postrojenje koji, uvažavajući prostorne, prirodne i gospodarske uvjete u okruženju, daje slijedeće metodološke smjernice za odabir povoljne lokacije:

- nije ekonomski i energetski opravdano prevoziti tekuću poljoprivrednu sirovinu (gnojavku) dalje od 5 km dok se ta udaljenost povećava na 15 km kod energetskih usjeva koji se mogu naslagati u visinu
- moguća lokacija za bioplin bi se trebala naći u radijusu koji je udaljen manje od 15 km od izvora dostupne biomase
- bioplinsko postrojenje treba locirati u radijusu manjem od 1 000 metara od prosječnog korisnika topline
- dijelovi zemljišta na kojem se svi dijelovi bioplinskog postrojenja (digestori, sustavi skladišta, kogeneracija) mogu instalirati u odgovarajućim tehničkim i pravnim uvjetima poput dovoljnog prostora ili prikladnih pristupnih cesta.

Metodološke smjernice koje definiraju potreban fizičko-geografski prostor su rezultat postojeće prakse europskog kontinenta jasne su i primjenjive za ekonomski i geografski hrvatski prostor. Osim navedenih kriterija ove smjernice navode i potrebu uzimanja u obzir zakonskih i administrativnih ograničenja, poput Prostornog plana Županije i Studije utjecaja na okoliš te tehničkih uvjeta, poput zadovoljavanja uvjeta priključka na elektrodistribucijsku mrežu. Analiza županijskih prostornih planova u Tablici 1 pokazuje da hrvatski prostor nije aktivno spreman da odgovori na potrebe koje proizlaze iz strateških dokumenata energetskog sektora. Prema podacima, niti jedan prostorni plan županijske razine ne predviđa lokaciju za postrojenje biogoriva ili bioplina, a koja bi se temeljila na principima cjelovitog upravljanja prostorom.

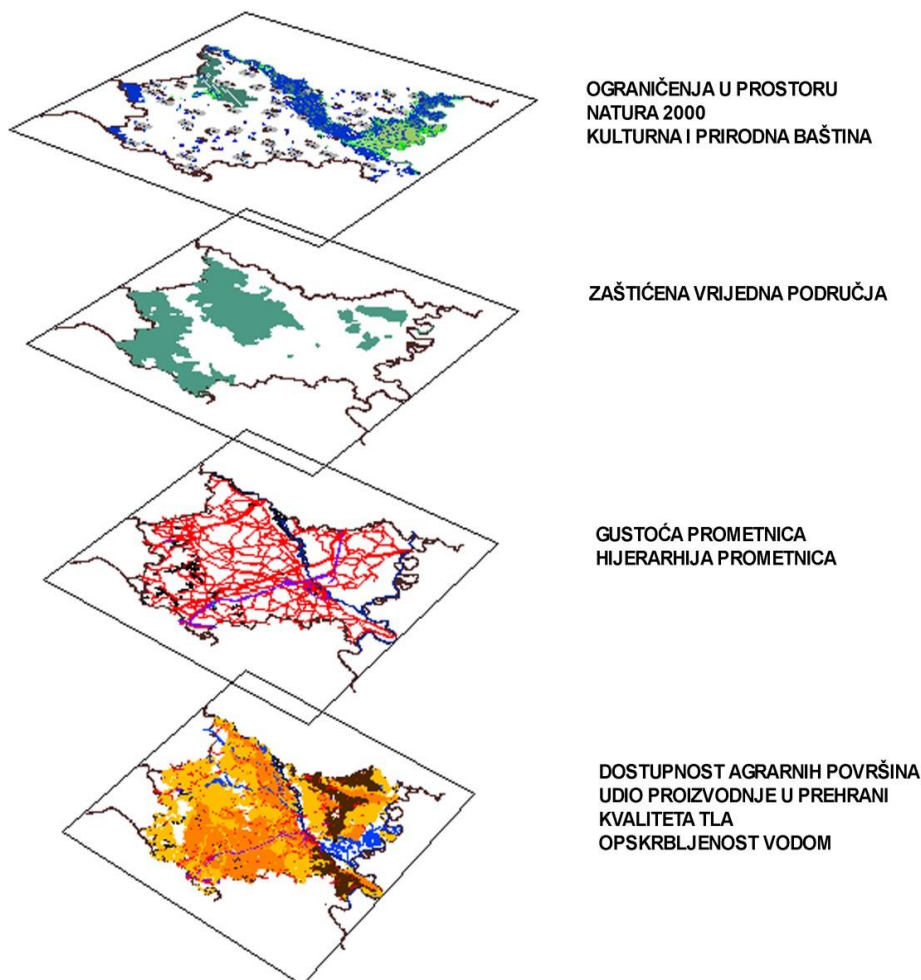
Tablica 1. OIE zahvati u županijskim prostornim planovima

| Skupovi županija | Prostorni plan županije | OIE zahvati u tekstualnom dijelu plana / određene lokacije | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|---|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|----------------------|-----------|---|--|--------------|---|
| | | Općenito spominjanje korištenja OIE / omogućuje se rješavanje kroz PPUG/O | Energija vjetra (vjetroelektrane) | Energija sunca (sunčeve elektrane) | Energija vode (male hidroelektrane) | Biomasa (iz šumarstva poljoprivredne i drvno-prerađivačke industrije) | Geotermalna energija | Biogorivo | Bioplin (elektrane iz poljoprivrednih nasada) | Deponijski plin (s deponija i uređaja za pročišćavanje voda) | Kogeneracija | Ostalo (elektrane koriste plinu i oseku, morski valovi i) |
| Središnja Hrvatska | Zagrebačka | ++ | - | - | +/- | - | - | - | - | - | +/- | - |
| | Krapinsko-zagorska | -+ | - | - | +/-, o | - | +/-, o | - | - | - | - | - |
| | Sisačko-moslavačka | +/- | +/- | +/- | - | +/- | +/- | - | - | - | - | - |
| | Karlovačka | - | - | - | +/-, o | - | - | - | - | - | +/-, o | - |
| | Varaždinska | -+ | - | - | +/-, o | - | - | - | - | ++ | - | - |
| | Koprivničko-križevačka | -+ | - | - | +/- | - | +/-, o | - | - | - | - | - |
| | Bjelovarsko-bilogorska | - | - | - | - | - | +/-, o | - | - | - | - | - |
| | Međimurska | - | - | - | - | - | +/-, o | - | - | - | - | - |
| | Grad Zagreb | +/- | - | - | - | - | - | - | - | - | +/-, o | - |
| Istočna Hrvatska | Požeško-slavonska | ++ | - | - | ++ | +/-, o | +/-, o | - | - | - | +/-, o | - |
| | Brodsko-posavska | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Virovitičko-podravska | -+ | - | +/- | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Osječko-baranjska | ++ | +/- | +/- | +/- | +/- | +/- | - | - | - | - | - |
| | Vukovarsko-srijemska | +/- | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Jadranska Hrvatska | Primorsko-goranska | ++ | - | +/- | - | - | +/- | - | - | - | +/- | - |
| | Ličko-senjska | ++ | ++/o | +/- | +/- | - | - | - | - | - | +/- | - |
| | Zadarska | ++ | ++ | - | ++ | - | - | - | - | - | - | - |
| | Šibensko-kninska | - | ++ | +/- | ++ | - | - | - | - | - | - | - |
| | Splitsko-dalmatinska | - | ++ | ++ | ++ | - | - | - | - | - | - | - |
| | Istarska | ++ | - | - | ++ | - | +/-, o | - | - | - | - | - |
| | Dubrovačko-neretvanska | - | ++ | - | ++ | - | - | - | - | - | - | - |
| Broja planova koji se određuju prema OIE zahvatima | 10/11 | 7/5,1 | 7/1 | 13/6,3 | 1/0,1 | 9/0,6 | 0/0 | 0/0 | 1/1 | 6/0,3 | 0/0 | |

Izvor: <http://oie.mingorp.hr/default.aspx?id=67>

Superponiranjem relevantnih prostornih ograničenja dostupnih na kartografskim prikazima te primjenom modela za određivanje optimalnog razmještaja moguće je na brz i jednostavan način odrediti optimalnu lokaciju uvažavajući ograničenja u prostoru koja definiraju

zaštićena kulturna dobra, zahtjeve iz NATURA 2000, zaštićena vrijedna područja (šume), prometnu mrežu i poljoprivredna zemljišta različite vrijednosti.



Slika 4. Superponiranje prostornih ograničenja i datosti kod određivanja optimalnih lokacija elektrana
(izvor: autori)

5. Zaključak

Republika Hrvatska se prihvaćajući različite međunarodne ugovore, obvezala povećati proizvodnju energije iz biomase što znači angažiranje svih prirodnih resursa države, uključivo i poljoprivrednih, tzv. energetske usjeva, prije svega kukuruza. U radu se željelo ukazati na mogući prostorni konflikt zaštite krajobraznih vrijednosti i ostvarivanja postavljenog cilja u proizvodnji energije iz obnovljivih izvora - biomase - na području Osječko-baranjske županije te postaviti platformu za razvoj kriterija pri odabiru optimalnih lokacija za postrojenja na biomasu. Iz predstavljenih kategorija očekuje se daljnji razvoj modela te kriterija i pokazatelja o njegovoj održivosti, a na koje bi prostorni planovi trebali odgovoriti što žurnije. Kroz pregled istraživanja [8,9,10] sublimira se da hrvatska populacija preferira prirodni krajolik, umjerenog ljudskog utjecaja tzv. kontrolirani prirodni krajolik. Krajolik postaje u nedavnoj diversifikaciji gospodarstva ruralnih krajeva i bitna turistička komponenta. Prostor je konačan, ograničen, potrošiv, a istovremeno i djeljiv resurs u kome

su često prisutni zahtjevi različitih korisnika u prostoru za njegovim suprotnim načinima korištenja. Planiranje i uređenje prostora izraz je socijalne, gospodarske i ekološke politike društva. U situaciji gdje je istočna Hrvatska ocijenjena kao prostor velikog potencijala za proizvodnju energije iz biomase za očekivati je da će se prostorni planovi uskladiti sa strateškim ciljevima energetskeg sektora i pomoći u njihovoj realizaciji.

6. Literatura

- [1] Statistički ljetopisi Republike Hrvatske, Državni zavod za statistiku, <http://www.dzs.hr/>
- [2] Statistički portret Hrvatske u Europskoj uniji, 2013
- [3] Informacija o stanju i problematici biljne proizvodnje na području Osječko-baranjske županije, 2013
- [4] Program ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014.-2020., 2014
- [5] Lovrinčević, Ž., Vizek, M.: Poljoprivredno zemljište u novim zemljama članicama EU, *Ekonomski pregled*, 60 (1-2) (2009) 28-49
- [6] Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske, NN 130/09
- [7] vanDam, Jinke, Junginger, Martinm Faaij, Andre, Jurgens, Ingmar, Best, Gustavo, Fritsche, Uwe, Overview of recent developments in sustainable biomass certificationm, *Biomass and Bioenergy* 32(2008) pp. 749–780
- [8] Cifrić, I.; Trako, T. Kultivirani i tehnički krajobraza. Usporedba percepcije dvaju krajobraza, *Socijalna ekologija*, 17, 3(2008), pp.215-237.
- [9] Butula, S. Planning for sustainable development: the significance of different social interests in landscape, *Društvena istraživanja*. 12, 3-4(2003), pp.427-441.
- [10] Stober, D.; Nagy, I.: Visual Corss-Border Research on common Croatian and Hungarian Riparian Landscapes, *Tehnički vjesnik*, 21(2014), 2, pp. 323-331.

Comparison of liquid nitrogen and carbon dioxide as a cooling fluid in machining processes

F. Pusavec^{1,*}, A. Stoić² and J. Kopac¹

¹Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod, Croatia

* Corresponding Author. E-mail: franci.pusavec@fs.uni-lj.si

Abstract

Sustainable manufacturing trends dictate the need for cleaner processes that are environmentally benign and with no adverse health effects. Cryogenic machining in recent times has emerged as such an effective and clean manufacturing process. In this field, two different liquefied gases are normally used: liquefied nitrogen (LN₂) and liquefied carbon dioxide (LCO₂). Prior research has proven that cooling effect in such sustainable machining operation is significant, while different gases and their phases play a major role in this. Therefore, the objective of this work is to analyze the difference/advantages of proposed gases in machining processes and evaluate their phase influence. Based on the results, it is concluded that liquid phase of nitrogen has the most dominant capability for heat evacuation and so machining performance.

Keywords: Machining, Cooling, Nitrogen, CO₂

1. Introduction

From the practical perspective, in industry, various cutting oils/emulsions are still used as cutting fluids, even though they cause environmental pollution and health hazards, in addition to high costs involved. Conventional cutting fluids are considered to be one of the top five health hazards at the workplace [1]. In recent times, the EU Lisbon Agenda, the EU Sustainable Development Strategy (EU SDS) and the EU Environmental Technology Action Plan have defined objectives in this direction. The EU SDS's objective for environmental protection promotes sustainable production, to reduce environmental pollution, and promotes research for sustainable development. Another key challenge refers to limiting the climate change. For this purpose, targets known as the "20-20-20" targets that determined three key objectives for 2020, have been set: (1) a 20% reduction in the EU's greenhouse gas emissions from 1990 levels; (2) raising the share of EU's energy consumption that is produced from renewable resources to 20%; (3) a 20% improvement in the EU's energy efficiency. In recent times, sustainable production has been investigated (researched) by many authors. Most of them were conducted on the emphasizes of the need for application of sustainable principles on manufacturing, the sustainable supply chain and available standards [2, 3], and a few on the machining processes [4]. In machining processes the sustainability can mainly be increased by cutting tool utilization [5] and by saving energy in production management [6]. However, the way of integrating sustainability considerations into existing engineering practices remains a challenge [7]. Additionally, the Life Cycle Assessment methodologies have to be applied in machining processes to evaluate their broad influence on the environment and health. One has recently been presented by [8],

showing than near-dry machining (MQL) can improve the sustainability of the process. All this work concluded that machining methods as well as environmental management of processes are fundamental principles that have to be synergistically combined. Besides the aggravating environmental regulations and growing health concerns, the machining industry focuses the R&D into alternative machining methods that have the potential to enhance the machining process performance and overall decrease manufacturing as well as production costs. However, the increased awareness of sustainability issues in machining inevitably identifies flood cooling as a major non-sustainable element in the machining process.

This has, in recent times, led to research on alternate methods of cooling/lubricating mechanisms: ionic liquids as lubricants can improve machining performance and exhibit extremely low volatility [9], MQL can improve energy efficiency [8], MQL's method of using a vegetable-based lubricant presents a way of improving environmental and health footprints [10], refrigerated air cooling can improve cooling capability as well as machining process parameters [11], or cooling lubrication fluids can be even eliminated in some light machining applications [12]. With the sustainability principles in mind it can thus be claimed that dry, near-dry and cryogenic machining processes are emerging as viable alternatives to flood cooling in machining [4, 13, 14, 15]. Dry, near-dry (MQL), cryogenic, and cryogenic-lubrication (cryo+MQL) machining processes are special forms of traditional machining process that were analyzed in [16]. Related to those initiatives, an extensive review on cryogenic machining has recently been published and determines cryogenic machining as one of the most favorable future methods for material cutting operations [17]. From the review of most recent applications, it can be seen that cryogenic machining presents a sustainable alternative to machine hardened materials [18], composites [19], and shape memory alloys [20]. Therefore, the investigations in this paper are related to different cryogenic fluids as well as to their phase at the delivery.

In general, the cooling/lubrication fluid provides cooling as well as lubrication and flushes away the chips from the cutting region. The effects of C/L characteristics depend on the method and the amount of their delivery. The use of alternatives to oil-based flood cooling emulsions is growing also due to its resulting improved machining performance in terms of dimensional accuracy, surface integrity, material removal rate, chip breakability, etc., in addition to enhanced process sustainability. In some cases, these alternatives also present the only possible solution for machining of exotic and hard-to-machine materials such as Nickel alloys, Titanium, Tungsten, etc. With the widespread use of hard-to machine materials, particularly in the aerospace industry, and due to relatively unknown influences of alternatives to machining processes, reliable models for accurately predicting the machining performance are required [21]. And this is not dependent just on the machining process, but also to the cooling lubrication fluid and its state, what is analyzed in the next section.

2. Cooling/lubrication in machining processes

The purpose of cutting fluids in a machining operation is to cool the workpiece, reduce friction, and wash away the chips. The conventional system of applying the coolant is the flood coolant system, in which a large quantity of the coolant is continuously impinged on the rake face of the tool. This system is very problematic from the perspective of environmental awareness and cost pressure in industry. Consequently, situation has led to a critical consideration of the use of conventional cooling lubricants in machining processes. As reported [16], the analyses carried out by the German Automotive industry show that

workpiece related manufacturing costs, incurred with the deployment of cutting fluids, range from 7-17% of the total machined workpiece cost [22]. In comparison to this, the tooling costs can account for only approximately 2-4% [23, 24]. Therefore, the environmental and cost impact can be improved by significant reduction of fluid usage and elimination of the need for coolant treatment and disposal. Thus, it is understandable why there have been attempts to minimize the amount of cutting fluid in machining. In most of the cases this is realized with the use of dry or near-dry machining. In addition to cost-efficiency, using dry or near-dry alternatives, nowadays, demands are also focused on the improvement of the machined surface's integrity characteristics. However, with the decrease of the cooling capacity, the thermal loads on the machined surface increases and the machined surface degradation process becomes dominant. Therefore, alternatives like cryogenic machining with a more effective cooling capability are needed. These facts further stress the need for comprehensive understanding of the entire machining process parameters such as machining fluid, material, cutting tool, etc. [25, 26]. A key issue for sustainable machining process is to analyze and understand the effects of cooling/lubrication mechanisms on the machining process.

2.1. Near-dry (MQL) machining

These days, "going green" is a concern for many manufacturers. One step in this direction presents the implementation of Minimum Quantity Lubrication (MQL) machining technology or the so called "near-dry machining". MQL is the process of applying minimum amounts of high-quality lubricant directly onto the cutting tool/workpiece interface instead of using traditional flood coolants. It presents a method with the application of mist lubrication, in which a mixture of air and cutting oil, called aerosol (compressed air that atomized the cutting oil), is produced and supplied to the cutting zone. Tiny quantities of oil (30–120 ml/h) are then conveyed by the air in a low-pressure distribution system to the machining zone. These tiny quantities provide a good lubrication media, which, due to the small size of droplets, can come close to the machining zone. Improved lubrication is seen via reduction of friction and adhesion between the chip-tool and tool-workpiece interfaces. However, the cooling effect in this technology is limited, oils are still used and the mist can pose a health hazard. The summary of different C/L fluids and their characteristics is listed in Table 1. From the presented specifics of MQL, it is apparent that MQL systems can also possess advantages over flood coolant systems, in the sense of lubrication. However, MQL gives only a slight cooling effect in comparison to flood cooling, where water-based emulsions are used. Therefore, in this work, MQL has been combined with cryogenic performances, and thus synergetic benefits of significant cooling and lubrication are expected.

Table 1. C/L fluid cooling, lubrication and chip evacuation capabilities [22].

| Medium | Cooling | Lubrication |
|---|-----------|-------------|
| Emulsion ($C_{p,oil} + C_{p,water} = 1.92 + 4.18$ kJ/kg/K) | Excellent | Good |
| Oil ($C_{p,oil} = 1.92$ kJ/kgK) | Good | Excellent |
| Compressed air $C_{p,air} = 1.04$ kJ/kgK | Little | No |

2.2. Cryogenic machining

A step further in machining processes are alternative cooling lubrication methods. One of these that nowadays appear to be interesting is cryogenic machining, where one of the cryogenic fluids (liquefied nitrogen, liquefied oxygen, liquefied CO₂, etc.) is used as a C/L fluid. Cryogenic fluids can be delivered in various/different ways to the machining zone: rake, flank, both faces simultaneously, or even just to the workpiece itself. In the last specific case, the workpiece is cooled down in order to beneficially influence the material machining performances (lowering the ploughing effect, smearing prevention, etc.). Example of simultaneous delivery of liquefied nitrogen on rake and flank face is shown in Figure 1.

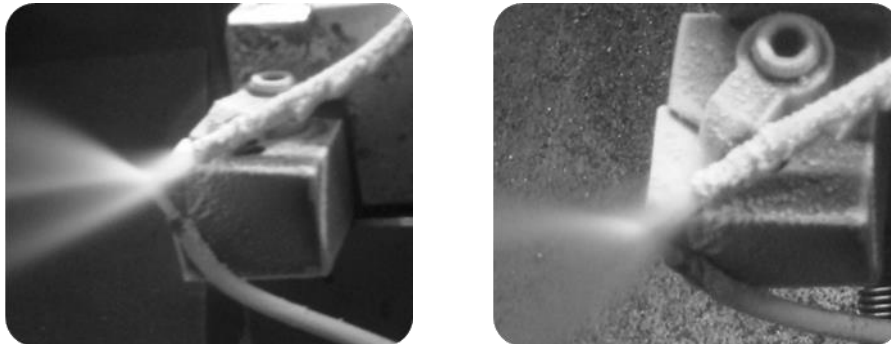


Figure 1. The delivery of liquefied nitrogen simultaneously on the rake and the flank face of the cutting insert

Cryogenic machining, with evaporation of the delivered cryogenic fluid, is a type of dry machining technology that results in dry and clean products undergoing the process. Since realizing the emerging market of clean technologies in 2007, the worldwide market for clean technology has increased on average for 11.8% per year, with a total worth of more than €2 trillion (EUROSTAT). Furthermore, in the extensive review work “The Future of Finishing” [27], issues concerning technology trends and potential future technology challenges have been raised. The survey reports that adaptation of existing technologies is the key direction, where changes should be expressed through: the pursuit of sustainable manufacturing, change from “wet” to “dry” processes, change to “green” processes and improving process monitoring and control systems.

3. Comparison study between Liquefied Nitrogen (LN₂) and Liquefied Carbon Dioxide (LCO₂)

In most cases, under the term cryogenic machining, liquefied nitrogen (LN₂) and liquid carbon dioxide (LCO₂) are proposed as C/L fluids. In both cases the C/L fluid is a refrigerant that changes phase by absorbing latent heat and cools down the zone where delivered to. In both cases, the gases or liquids are widely available. Both are stored as a liquid and both are delivered to the cutting zone. The first obvious difference is the evaporation temperature, in $T_{e_LN2} = -195.8 \text{ °C}$ and $T_{e_LCO2} = -78.5 \text{ °C}$. However, the difference is much more significant.

CO₂ has one interesting characteristic that it can exist as a liquid at room temperature, but only under high pressure. Thus, there is no problem with the insulation and CO₂ is actually delivered to the nozzle through pipes in the liquid state, at room temperature and at a pressure above 6.7 MPa (Figure 2). When liquid CO₂ is then sprayed through the nozzle to the machining zone, there is an instantaneous drop in the pressure of the liquid to the level of the atmospheric pressure. This massive pressure reduction causes the liquid CO₂ phase

to change into a mixture of a solid (dry ice) and gaseous state [28], at a ratio of approximately 45% of dry ice and 55% of gas [29, 30]. The gas portion of this mixture has a very low cooling capacity, so most of the cooling capacity can be expected from the solid CO₂, commonly known as “dry ice”. However, dry ice can be very problematic since it can cause blocking of the delivery nozzles and, due to its size, has limited capabilities for reaching the close proximity of the machining zone. CO₂ is also problematical because it is one of the greenhouse gasses. Such gases have a negative influence on the environment since they absorb and emit infrared radiation. What is more, CO₂ has a slightly irritating odor, is colorless and heavier than air. In shop floor (at the workplace), higher density than air and the fact that CO₂ does not sustain life can cause serious problems to workers unless proper air exchange is assured.

The alternative is LN₂. It is a chemically inert, reaction inhibiting gas, which is produced in its liquid form through cryogenic air separation. N₂ is the main component of the air that we breathe (78%). Cryogenic liquefied nitrogen boils at -195.8°C under atmospheric pressure. Thus, the storage of it is problematic due to the need of good insulation. This is normally assured with vacuum insulated vessels (Dewars). However, with LN₂ we can have lower cooling temperatures or wider cooling temperature possibilities in comparison to CO₂. Comparing both gases (CO₂ and N₂) from the operator’s safety point of view, there are regulations that OSHA’s carbon dioxide exposure limit in the breathing atmosphere is 0.5%. In the case of nitrogen, the limit is higher. The increase of N₂ levels in the air should not cross the 2%. Additionally, as an opposite of carbon dioxide, which is 1.5 times as heavy as air, nitrogen is lighter than air and is not so concentrated at low elevations (floor of the working environment).

When comparing the LN₂ and LCO₂ in machining process application, the most important characteristic is cooling capacity. The lower freezing temperatures of LN₂ mean quicker freezing, and so the amount of equipment needed to produce the same amount of product is smaller. The cooling capacity of both cryogenic fluids can be directly compared with the comparison of latent heat of vaporization and sensible heat to heat up the gas [29, 30]. LCO₂ at -78°C removes 280 kJ/kg latent heat with evaporation, while liquid nitrogen at -196°C removes 200 kJ/kg latent heat at evaporation. The gas also absorbs sensible heat as it warms from -78°C (CO₂) or from -196°C (LN) to the room temperature. This portion of heat for N₂ equals 228 kJ/kg and 67 kJ/kg for CO₂. Summing this together, we get a total refrigerant effect of 428 kJ/kg for LN₂ and 347 kJ/kg for LCO₂. LN₂ has so about 20% higher refrigeration value than LCO₂. Therefore, comparing the consumption, the freezing process would use about 20% less LN₂ than LCO₂. Additionally, if costs are considered, the small difference in bulk cost of CO₂ compared to LN₂ (LN₂ per kg can be cheaper than LCO₂) can hardly make up for the higher CO₂ pressurization and flow rates.

Based on the pros and cons of the presented cryogenic fluids (LCO₂ and LN₂), usually for stronger cooling effect, liquefied nitrogen has been used as the cooling lubrication fluid.

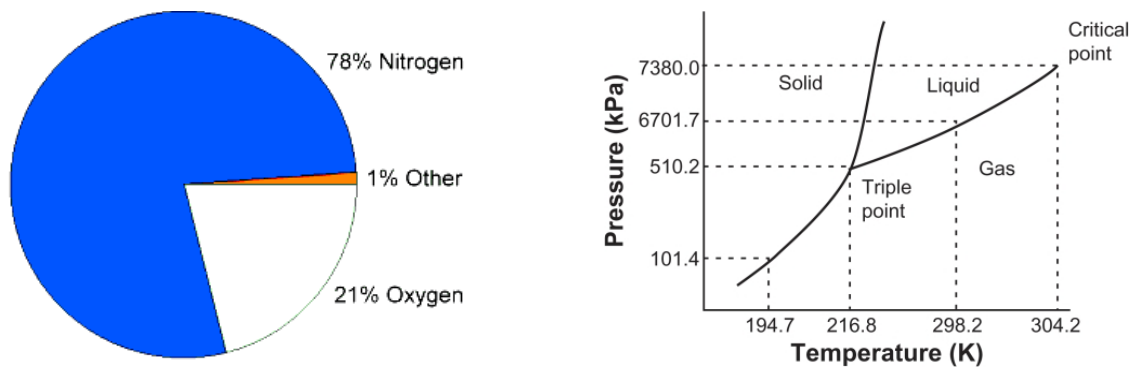


Figure 2. Air composition (left) and the CO₂ phase diagram (right).

4. Cryogenic fluid and importance of its phase

When delivering liquid nitrogen from a storage container, such as Dewar vessel, to a machine tool, due to the large temperature difference between the cooling fluid and the ambient air, and due to incomplete (less than ideal) insulation, significant thermal losses are likely to occur. The thermal losses lead to an increase of the cooling fluid temperature upon transport, which tends to evaporate the cryogenic fluid within the conduit through which it is transported. Depending on the extent, all or only parts thereof may evaporate. This often leads to the delivery of the cryogenic fluid in a mixed phase (e.g., liquid nitrogen with gas bubbles, or gaseous nitrogen with liquid droplets) or in pulsing delivery, sequentially exchanging gas and liquid phase of nitrogen. While the delivery of the cryogenic fluid in the form of a mixed gas/liquid fluid phase is sometimes acceptable, generally delivery in liquid form is preferred due to the lower temperature with a greater cooling capacity and better lubrication than the gas phase. Liquid cryogenic fluids can thus lead to reduced tool-wear, and ultimately contribute to more economic machining processes. Also, the pulsing phase delivery can lead to large periodic thermal gradients causing critical thermo shocks, thus requiring the ability to control the relative amount of the gas in the cryogenic fluid delivery.

The most important characteristics affecting the cooling and lubrication performance in cryogenic machining are: temperature, heat capacity, and viscosity. Temperature and heat capacity determine the cooling capability. Being close to the evaporation point, gas and liquid nitrogen would not really have drastic differences in temperature. However, there is a significant difference in their specific heat and viscosity, when the phase is changed from liquid to gas [31, 32]. This can be seen in Figures 3.

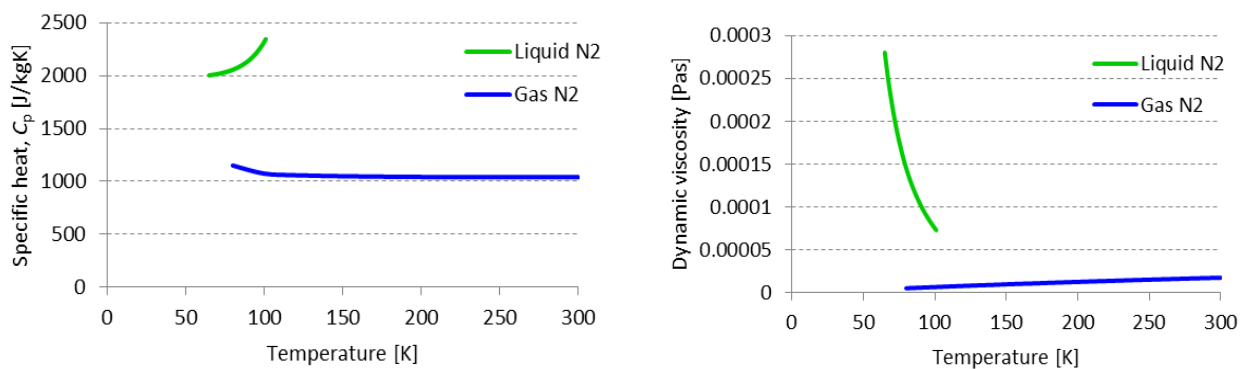


Figure 3. Specific heat and dynamic viscosity of gas and liquid nitrogen vs. temperature.

Based on the data presented in Figure 3, it can be seen that from the cooling performance point of view, the use of liquid nitrogen is preferred as it absorbs and moves away the heat with doubled power. Additionally, it can be seen that besides the temperature, the nitrogen fluid phase itself has a dramatic influence on viscosity. Close to nitrogen evaporation point, the viscosity of liquid nitrogen is for approximate 25 times higher than that of gas phase nitrogen viscosity.

5. Conclusion

The general benefits that can be expected with cryogenic machining are:

- Oil emulsions that are problematic for health and the environment can be replaced with one of sustainable alternatives (liquefied nitrogen).
- Cryogenic fluids have a significantly higher cooling capacity than conventional C/L fluids. This leads to lower temperatures in the machining zone, lower abrasion and chemical wear of cutting tools, slower wear rates and therefore longer tool-life.
- When cryogenic fluids are delivered to the machining zone, they act as a heat sink. After the delivery, they evaporate, leaving the machined workpiece dry and clean. This eliminates costs related to the cleaning of machined parts as well as costs related to maintenance of C/L fluids, as is the case in the usage of oil emulsions.
- Benefits can also be expected in tool-life prolongation. However, this can also be used as a mechanism to increase material removal rate (MRR).
- In hard to machine operations, due to the cryogenic machining beneficial performances, the expensive grinding operations can be omitted.
- Nowadays a more and more important role plays the surface integrity of the machined surface, the characteristics of which are deteriorated with high thermal loads. Cryogenic machining, with a significant cooling capacity, can therefore also improve the quality of machined parts.

Correlating those benefits with the literature review, it can be seen that this work shows a step forward and also analyses the importance of the liquid nitrogen delivery properties. More than this, the results prove that when talking about cryogenic machining, it is not enough just the information about used cryogenic fluid, but it is also important to know how, in what phase it was delivered and where it was delivered to. For some applications, cryogenic machining can be beneficial only if the continuous liquid nitrogen phase is assured at the delivery. However, in practice, this depends on the case.

In spite of the advantages, cryogenic machining is still not used in real industrial applications, therefore further development is a must. The reasons for it not being used are a still low level of developed solutions and, on the other side, the high complexity of the process. The basic questions that remain open are: how, where, what and in what quantity the cooling/lubrication fluid has to be applied to achieve the optimal machining performance.

6. References

- [1] Dubzinski D., Devillez A., Moufki A., Larrouquere D., Zerrouki V., Vigneau J., A Review of Developments Towards Dry and High Speed Machining of Inconel 718 Alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 44, p. 439-456, 2004.
- [2] Chiarini A., Designing an environmental sustainable supply chain through ISO 14001 standard. *Management of Environmental Quality: an International Journal*, vol. 24, no. 1, p. 16-33, 2012.

-
- [3] Chiarini A., Strategies for Developing an Environmentally Sustainable Supply Chain: Differences Between Manufacturing and Service Sectors. Business strategy and the environment, vol., p. 2013.
- [4] Pusavec F., Krajnik P., Kopac J., Transitioning to sustainable production – Part I: application on machining technologies. Journal of Cleaner Production, vol. 18, no. 2, p. 174-184, 2010.
- [5] Schultheiss F., Zhou J., Grontoft E., Stahl J.E., Sustainable machining through increasing the cutting tool utilization. Journal of Cleaner Production, vol. 59, p. 298-307, 2013.
- [6] He Y., Liu B., Zhang X., Gao H., Liu X., A modeling method of task-oriented energy consumption for machining manufacturing system. Journal of Cleaner Production, vol. 23, p. 167-174, 2012.
- [7] Gremyr I., Siva V., Raharjo H., Ngee G.T., Adapting the robust design methodology to support sustainable product development. Journal of Cleaner Production, vol. In press, DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.018, p. 1-13, 2014.
- [8] Domnita F., Macro-level environmental comparison of near-dry machining and flood machining. Journal of Cleaner Production, vol. 18, no. 10–11, p. 1031-1039, 2010.
- [9] Pham M.Q., Yoon H.S., Khare V., Ahn S.H., Evaluation of ionic liquids as lubricants in micro milling - process capability and sustainability. Journal of Cleaner Production, vol. In press, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.055>, p. 2014.
- [10] Lawal S.A., Choudhury I.A., Nukman Y., A critical assessment of lubrication techniques in machining processes: a case for minimum quantity lubrication using vegetable oil-based lubricant. Journal of Cleaner Production, vol. 41, p. 210-221, 2013.
- [11] Su Y., He N., Li L., Iqbal A., Xiao M.H., Xu S., Qiu B.G., Refrigerated Cooling Air Cutting of Difficult-to-Cut Materials. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 47, p. 927-933, 2007.
- [12] Davoodi B., Tazehkandi A.H., Experimental investigation and optimization of cutting parameters in dry and wet machining of aluminum alloy 5083 in order to remove cutting fluids. Journal of Cleaner Production, vol. 68, p. 234-242, 2014.
- [13] Jawahir I.S., Dillon O.W., Sustainable Manufacturing Process: New Challenges for Developing Predictive Models and Optimization Techniques. Proceedings of the International Conference on Sustainable Manufacturing SM1, Montreal, Canada, p. 1-19, 2007.
- [14] Jawahir I.S., Dillon O.W., Chen S., Jaafar I.H., Deshpande A., Sustainable Machining: New Challenges in Developing Predictive Models for Dry, Near-Dry and Cryogenic Machining. Proceedings of the International Conference on Manufacturing Science and Technology (ICOMAST2006), Melaka, Malaysia, p. 13-22, 2006.
- [15] Pusavec F., Krajnik P., Kopac J., High-Speed Cutting of Soft Materials. Journal of Mechanical Engineering, vol. 52, no. 11, p. 706-722, 2006.
- [16] Kopac J., Achievements of sustainable manufacturing by machining. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 34, no. 2, p. 180-187, 2009.
- [17] Yildiz Y., Nalbant M., A review of cryogenic cooling in machining processes. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 48, p. 947-964, 2008.
- [18] Bicek M., Dumont F., Courbon C., Pusavec F., Rech J., Kopac J., Cryogenic machining as an alternative turning process of normalized and hardened AISI 52100 bearing steel. Journal of Material Processing Technology, vol. 212, p. 2609-2618, 2012.
- [19] Yildiz Y., Cryogenic machining of composites. Machining Technology for Composite Materials: Principles and Practice, vol., p. 365-393, 2012.
-

-
- [20] Kaynak Y., Karaca H.E., Noebe R.D., Jawahir I.S., Tool-wear analysis in cryogenic machining of NiTi shape memory alloys: A comparison of tool-wear performance with dry and MQL machining. *Wear*, vol. 306, p. 51-63, 2013.
- [21] Arrazola P.J., Ozel T., Umbrello D., Davies M., Jawahir I.S., Recent advances in modelling of metal machining processes. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 62, p. 695-718, 2013.
- [22] Weinert K., Inasaki I., Sutherland J.W., Wakabayashi T., Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 53, no. 2, p. 511-537, 2004.
- [23] Byrne G., Dornfeld D., Denkena B., Advancing Cutting Technology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol. 52, no. 2, p. 483-507, 2003.
- [24] Schultheiss F., Zhou J., Grøntoft E., Ståhl F.E., Sustainable machining through increasing the cutting tool utilization. *Journal of Cleaner Production*, vol. 59, p. 298-307, 2013.
- [25] Sarıkaya M., Güllü A., Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL. *Journal of Cleaner Production*, vol. 65, p. 604-616, 2014.
- [26] Sharma J., Sidhu B.S., Investigation of effects of dry and near dry machining on AISI D2 steel using vegetable oil. *Journal of Cleaner Production*, vol. 66, p. 619-623, 2014.
- [27] Chalmer P.D. (2008) *Future of finishing*.
- [28] Supekar S.D., Clarens A.F., Stephenson D.A., Skerlos S.J., Performance of supercritical carbon dioxide sprays as coolants and lubricants in representative metalworking operations. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 212, p. 2652-2658, 2012.
- [29] Cryogenic-Systems-Equipment (2005) *Nitrogen vs. Carbon Dioxide*.
- [30] Fellows P.J., *Food processing technology; Principles and practice*, r. edition, Vol. Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2009.
- [31] Bryson W.E., *Cryogenics*, Hanser Gardner Publications, Cincinnati, 1999.
- [32] Weisend J.G., *The handbook of cryogenic engineering*, Taylor & Francis, Philadelphia, 1998.

Application of water jet for cutting heat sensitive products

M. Duspara^{1,*}, A. Stoić¹, J.Kopač²

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

²Fakulteta za Strojništvo, Univerza u Ljubljani, Aškerčeva 6, Ljubljana

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

Abstract

Water jet cutting is nowadays widely used technology in industry. Some main advantages of this technology and comparison with other competitive processes is shown in this paper. Experiments are performed on heat sensitive materials to evaluate its applicability for heat sensitive products.. Results of experiments confirms reality of several specific application of this process and acceptable results achieved with this process.

Keywords: water jet, cutting, specific application

1. Introduction

With the developing technology, deficiencies like quality, precision, repeatability and duration of process in conventional cutting processes are becoming more obvious. Consequently, new technologies are introduced continuously in order to get fastest, best quality and least surface deformation with minimum costs, such as water jet cutting technology.

Water jet (WJ) is perceived as wide range and special application competing technology for production 2D or 3D products. Comparing with other non-conventional technologies like laser, plasma, and EDM (which heat up the workpiece for cutting) or with conventional technologies like milling, sawing or punching. The main difference of this process compared with other conventional chip removal processes is absence of large cutting forces. This results with easy procedure of workpieces fixturing and no deformation due to cutting process. The main difference with other non-conventional technologies is absence of workpiece overheating. This is especially useful for cutting tool steel and other metals where excessive heat may change the properties of material. Also it is applicable on heat sensitive non-metals like paper, wood, polymer, etc. Unlike machining or grinding, water jet cutting does not produce any dust or particles that are harmful if inhaled. Water jets machines are much lighter than equivalent laser cutters, and can be successfully mounted on an automated robot. This reduces the problems of accelerating and decelerating the robot head, as well as taking less energy [1]. These advantages ensure both wide range and special application.

2. Development of WJ cutting process

In the period 1853 to 1886, pressurized water was used for excavating soft gold rocks. The pressurized water for coal mining was also used in Prussia in the early 1900s and then in Russia in the 1930s [2].

In the middle of 20 century, Norman Franz, a forestry engineer, was the first who studied the use of a waterjet as a cutting tool for wood processing [3]. However, the first patent of a waterjet cutting system was granted for the staff of McCartney Manufacturing Company, a division of the Ingersoll-Rand Corp. [4].

In 1971, the first commercial waterjet machine was introduced into the market by this company [4].

In 1979, Dr. Mohamed Hashish, who has worked for Flow International Cooperation, invented the abrasive waterjet cutting method by adding abrasives into the pure waterjet [3]. Soon after this, in 1980, abrasive waterjet was first used to cut glass, steel, and concrete [3]. The invention of AWJ led to a huge expansion of applications of cutting with high-pressure water. Since then, AWJ has been widely used in various industries such as cutting of a wide variety of sheet metals.

3. Some performances of WJ cutting process

Water jets use cold supersonic erosion to cut almost any material, both metals and non-metals. It can cut metals ranging from thin shim stock to more than 250 mm thick with accuracies of ± 0.007 mm to ± 0.4 mm. Seventy-five percent of water jets are used to cut material less than 100 mm thick. Repeatability is ± 0.025 mm. Thick cutting (more than 100 mm) with a water jet loosens tolerances by at least two times. [6]

The same parameter set (water pressure, abrasive flow rate, cutting nozzle, etc.) is used for nearly all cutting; only the cut speed varies from material to material. The fact that the parameters usually do not change from one material to another means that setup is fast, and the opportunity for operators to select improper parameters for a particular job is greatly reduced.

The productivity of this machine can be improved by cutting stacked material and running with multiple water jet heads when cutting sheet metal. For materials 25 mm or more thick, users typically put all the power through one head and do not stack layers.

Materials most often cut with water jet are aluminium, stainless steel, and high-strength metals such as titanium, Hastelloy®, INCONEL alloys, nickel alloys, composites, and metal laminates.

Water jets often are used to cut short-run prototypes that require minimum tooling or fixturing. They are also used for net-shape cutting, in which the final part is produced without the need for secondary operations to achieve required tolerance or surface finish; or for hogging out, in which the abrasive water jet rough-cuts a part to within about 0.4 mm tolerance and it is finished on a milling machine to achieve a tighter tolerance and smoother surface.

The kerf width in waterjet cutting is very narrow, and very small amount of material is wasted. In Figure 1 we can see the comparison of cross sections and heat affected zone for some non conventional cutting technologies. One can see that water jet cutting does not generate heat affected zone. The highest temperature is 50-70 °C.

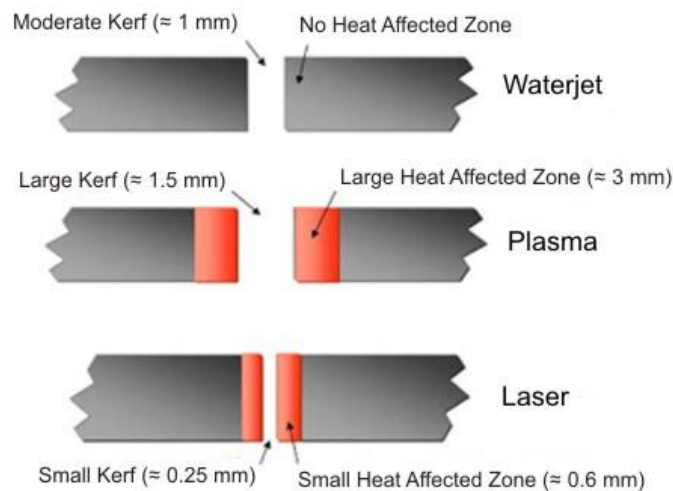


Figure 1. Comparison kerf water jet, plasma and laser cutting [7]

Because of the small heat development and small increments of temperature only 50 - 70 °C water jet cutting process has proven to be a good choice for cutting heat sensitive workpieces (e.g. wide range of polymer materials, paper, textile, explode sensitive materials like munition).

For making a high-pressure beam of water, the water is forced to pass through a small hole called an orifice. At the downstream, the diameter of the water beam is not equal to the orifice diameter (Figure 2). As the convergence of the streamline, the cross section of the water beam slightly decreases until a point called vena contracta and the cross section area A_{wj} .

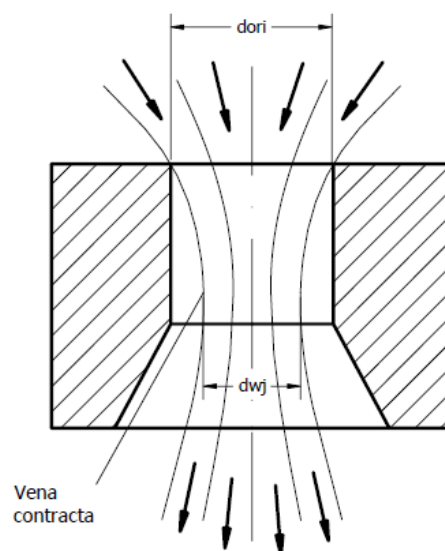


Figure 2 Orifice diameter

Reaction force during water jet cutting is very low (Figure 3.). One can see in figure 3 that the smaller the diameter of orifice and the smaller the water pressure the smaller the reaction force .

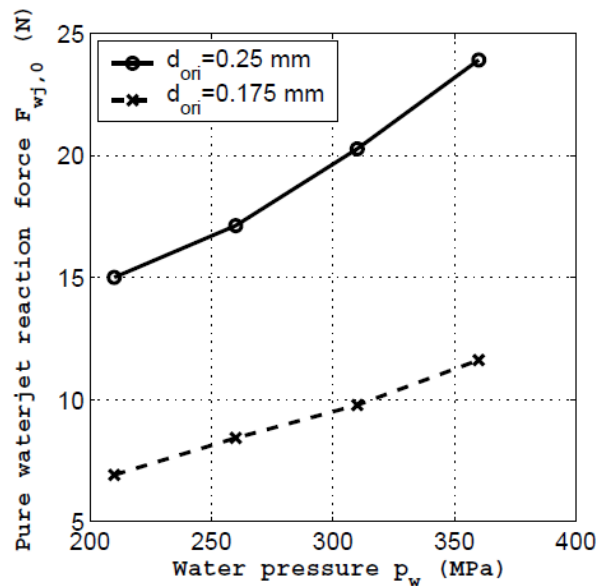


Figure 3. Reaction force appeared in WJ cutting [8]

During cutting of difficult to cut materials and when feeding speed needs to be increased, abrasives can be added to WJ forming abrasive water jet (AWJ). Mixing ratio of water and abrasives is called abrasive load ratio $R = m_a/m_w$ which can be optimised aimed to achieved best cutting performance (Figure 4).

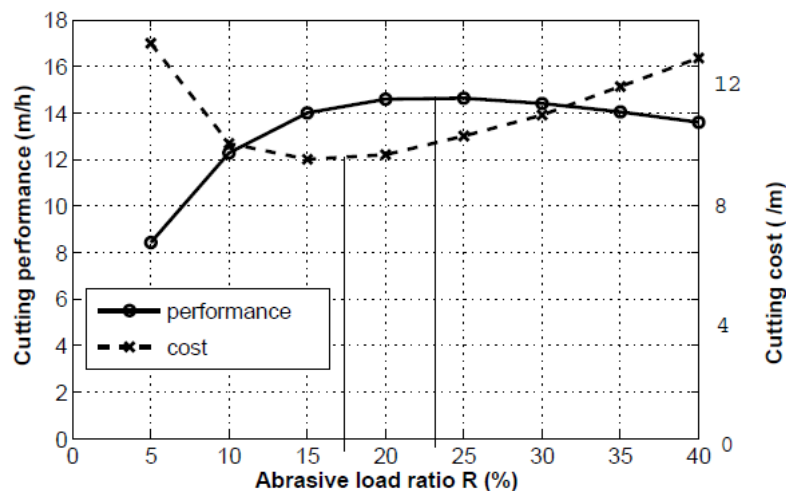


Figure 4. Optimal abrasive load ratio [9]

4. Machine tool used for experimental work

In AWJ machining, the workpiece material is removed by the action of high-speed water mixed with abrasive particles. A high-speed waterjet transfers kinetic energy to the abrasive particles and the mixture impinges on to the workpiece. On Figure 5 one can see machine tool which is used to cut heat sensitive material SIPAS 60. Working area is 3 000 x 2 000 mm. The maximum oil pressure in the cylinder is 21 MPa. Maximum pressure of water is 420 MPa. Table 1 shows maximal recommended thickness (for this cutting machine) of material for cutting, for different material.



Figure 5. Used machine for waterjet cutting - TENKING 23020

Table 1 Maximum thickness of material

| Cutting material | | Thickness of material / mm |
|------------------|-----------|----------------------------|
| 1 | Inox | 70 |
| 2 | Wood | 150 |
| 3 | Glass | 50 |
| 4 | Ceramics | 30 |
| 5 | Polimer | 130 |
| 6 | Stone | 90 |
| 7 | Copper | 80 |
| 8 | Aluminium | 100 |
| 9 | Steel | 100 |

5. Results of application WJ in cutting SIPAS 60

Tested material SIPAS 60 is sensitive to heat influence. The material has excellent resistance to abrasion and impact load. It is used for making gears, coupling elements for eccentricity, sealing rings, screw elements, sliding elements and other elements exposed to impact loads. Because of its uses, specific materials, and due to demand accuracy and product quality, selection of parameters and regimes of machining was essential for the proper and undisturbed work of the product and manufacturing process.

During experimental work [10], no significant dimensional inaccuracies were found. There were no drops or burrs on products. Results of tests indicate that thickness of material has a very big impact on the surface roughness. In lower zones of cutted surface (Rough zone), water stream does not have enough strength for good cutting of material. The reason for this is insufficient amount of kinetic energy of water stream. Because of this recommends was to increase water pressure or decrease velocity of cutting head. Investigation was afterward oriented toward roughness tests (Figure 6).

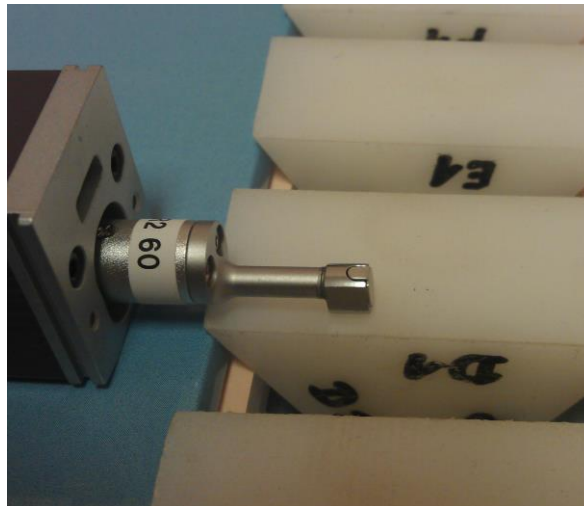


Figure 6. Evaluation of WJ cutting quality on tested samples made of SIPAS 60

If one compares results of roughness measurements in lower zone of cut with similar parameters (pressure and velocity of cutting head), but different mass flow of abrasives, it can be concluded that increase of mass flow of 75 %, get 50 % better surface roughness. For increase water pressure from 250 MPa to 350 MPa with similar mass flow and velocity of cutting head, in lower zone of cutted surface, get 20 % better surface roughness. In upper and middle zone variation of cutting parameters have impact on surface roughness only 10 %. If small thickness material has to be cutted, smaller pressure, smaller velocity of cutting head, can be applied and increase the profit.

During analysis, it was found that variation of cutting parameters (increase water pressure and mass flow of abrasive) has impact on the surface roughness.

6. Results of application WJ in cutting munition

Tested material is used for this experiment [11] was very sensitive to heat and force influence, while WJ process is used for safe disposal of aged products. Frequently, products are destroyed by selfdestroying procedure what is organisationally, timely and environment risky procedure. Alternative procedure for destroying the munition is possible by use waterjet cutting (Figure 7). This procedure can save the large amount of raw material for further production.

The occurrence of water jet cutting is the jet lag against the direction of cutting speed. What is the cutting speed is greater will be bigger jet lag. Jet lag can be reduced by increasing pressure, resulting in more expensive and more powerful machines.

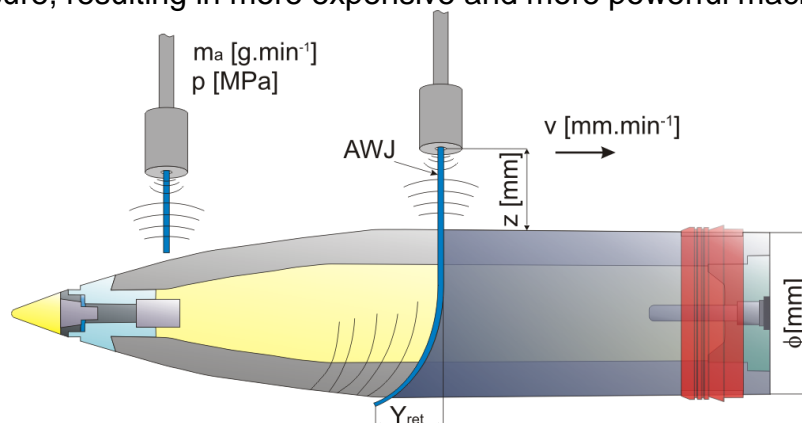


Figure 7. Cutting of 12'' artillery shrapnel shell by waterjet cutting

Figure 8 shows the result of WJ cutting procedure. Water pressure used for this application was 3000 bar.

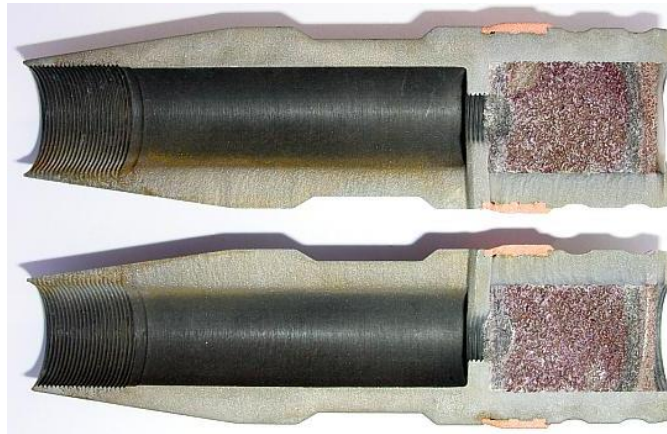


Figure 8. Bullet sliced with WJ

7. Conclusion

Water jet cutting recovers continuously and found increasing special application in production because of its above mentioned advantages. The first one is that wide range of materials can be cutted with WJ. The second great advantages is the price amount for equipment of € 10,000 / 1000 bar. Accuracy and quality of cut can be easily corrected by changing the parameters of cutting pressure, cutting speed and distance from the nozzle processed surface. Accuracy of cut can be compared with a laser, but only water jet cuts with no heat affected zone and can be used for thicker materials than lasers. The increase of workpiece temperature is very low (in some applications shown in a paper is about 50-70 ° C). Because a small impact of heat and low increase of temperature , WJ is possible to apply for manufacturing of heat sensitive materials. Application of WJ can be recognised as a safe production (because of absence of dust and chemicals which can injure operators and can have environmental impact).

ACKNOWLEDGEMENT

Authors thaks to company SIGMAT from Slavonski Brod and director Mato Sigurnjak dipl.ing. for supporting in experimental part of the work.

8. Literature

- [1] http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/machining/non_trad/waterjet/ (12.03.2012)
- [2] D.A. Summers, Waterjet Technology, Chapman & Hall, 1995.
- [3] Flow International Corporation, 2008, <http://www.flowcorp.com/about-flow.cfm>, (accessed 06/02/2008).
- [4] R.A. Tikhomirov, V.F. Babanin, E.N. Petukhov, I.D. Starikov, V.A. Kovaleb, 1992, High-Pressure Jetcutting, ASME Press.
- [5] Sergey Hloch, Jan Valiček, Dražan Kozak: Water Jet Cutting, Mech.eng. Faculty Slav Brod, 2010
- [6] <http://www.thefabricator.com/article/waterjetcutting/exploring-complementary-cutting-methods> (17.02.2010)
- [7] [http://www.fandmmag.com/print/Fabricating-and-Metalworking/Comparative-Cutting--Waterjets--Lasers--and-Plasma/1\\$3141](http://www.fandmmag.com/print/Fabricating-and-Metalworking/Comparative-Cutting--Waterjets--Lasers--and-Plasma/1$3141) (18.02.2010)
- [8] T. Susuzlu, A.M. Hoogstrate, Energy efficiency of abrasive waterjet cutting beyond 400 MPa, BHR's conferece proceedings, 2006, 13-15 September, Gdansk, Poland.

-
- [9] A. Henning, E. Westkämper, Analysis of cutting performance of high power abrasive water jets, BHR's conference 2004, 07-09 September, Mainz, Germany, 529-538.
- [10] A. Stoić, M. Duspara, B.Kosec, M.Stoić, I. Samardžić, Application of water jet for cutting polymer material, Metalurgija 2013, vol. 52, no. 2 pg. 255-258
- [11] A. Stoić, M. Duspara, Water jet cutting and its application for destruction of munition, AMO Journal 2010, vol.2, no. 1 pg. 67-71