ZBORNIK RADOVA
PROCEEDINGS

11. SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
11th NATURAL GAS, HEAT AND WATER CONFERENCE

4. MEĐUNARODNI SKUP O PRIRODNOM PLINU, TOPLINI I VODI
4th 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

PLIN2013

www.konferencija-plin.com

Uz potporu
Supported by

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

Osijek, 25.- 27.09.2013.

VODITELJI KONFERENCIJE:

Pero RAOS, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, HEP-Plin d.o.o., Osijek, Hrvatska

POČASNI ODBOR:

Bálint BACHMANN, Mađarska
Zvonko ERCEGOVAC, Hrvatska
Ivan JUKIĆ, Hrvatska
Tomislav JUREKOVIĆ, Hrvatska
Gordana KRALIK, Hrvatska
Nikola LIOVIĆ, Hrvatska
Ivica MIHALJEVIĆ, Hrvatska
Nikola RUKAVINA, Hrvatska
Ivan SAMARDŽIĆ, Hrvatska
Tomislav ŠERIĆ, Hrvatska
Božo UDOVIČIĆ, Hrvatska

ORGANIZACIJSKI ODBOR:

Marija SOMOLANJI, Hrvatska
Nada FLANJAK, Hrvatska
Tomislav GALETA, Hrvatska
Mirela GRNJA, Hrvatska
Pero RAOS, Hrvatska
Josip STOJŠIĆ, Hrvatska
Zlatko TONKOVIĆ, Hrvatska

UREDNICI ZBORNIKA:

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

ISSN 1849-0638

PROGRAMSKI ODBOR:

Dražan KOZAK, predsjednik, Hrvatska
Gjorgji ADŽIEV, Makedonija
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
Damir MILJAČKI, Hrvatska
Ferenc ORBÁN, Mađarska
Branimir PAVKOVIĆ, Hrvatska
Denis PELIN, Hrvatska
Antun PINTARIĆ, Hrvatska
Miroslav PLANČAK, Srbija
Marko RAKIN, Srbija
Pero RAOS, Hrvatska
Aleksandar SEDMAK, Srbija
Antun STOIĆ, Hrvatska
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

Ekskluzivni sponzor

HYPO ALPE ADRIA

Sponzori

INA

Xagent d.o.o.

PIPID Prvo plinarsko društvo vaša prirodna energija

11th Natural Gas, Heat and Water Conference and 4th International Natural Gas, Heat and Water Conference; Publisher: Mechanical Engineering Faculty in Slavonski Brod

PLIN2013

www.konferencija-plin.com

ZBORNIK RADOVA

PROCEEDINGS

ISSN: 1849-0638

Supported by Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia

Popis radova
Conference Papers

Stranica	Naslov rada
	Pozvana predavanja / *Key lectures*
1	**Držislav Vidaković:** Mjere zaštite na radu kod izgradnje vodovoda i plinovoda *Safety measures in the construction of water- and pipelines*
11	**Damir Šljivac, Marko Vukobratović, Marinko Stojkov, Branka Nakomčić, Zvonimir Klaić, Predrag Marić:** Tehničke i ekonomske karakteristike bioplinske elektrane i utjecaj na elektroenergetsku mrežu *Technical and economic characteristics of the biogas power plant and the impact on the electrical grid*
	Radovi / *Papers*
31	**Željko Krklec, Hrvoje Pešut:** Praktična primjena mjera za dokazivanje zadovoljavajuće opskrbe zrakom za izgaranje plinskih trošila vrste „B“ *Practical implementation of proving methods for adequate supply with combustion air for gas appliances type “B”*
39	**Božidar Soldo, Primož Potočnik, Goran Šimunović, Tomislav Šarić, Edvard Govekar:** *The influence of solar radiation on the natural gas consumption forecasting*
49	**Anto Ravlić, Vjekoslav Galzina, Roberto Lujić:** Analiza doprinosa solarnih kolektora u toplovodnom sustavu u Slavonskom Brodu *Analysis of thermal solar collector hot water systems contribution in Slavonski Brod*
57	**Jasmina Hrnjica Bajramović, Tomislav Grizelj:** Otpad - OIE/EE *Waste - OIE/EE*
65	**Predrag Viduka:** Primjena GIS-a u području infrastrukturnih objekata - plinovoda *Application of GIS in the field of infrastructure objects - pipeline*
75	**Tomislav Grizelj, Jasmina Hrnjica Bajramović** CNG u ekspoataciji *CNG in Service*
83	**Ibrahim Karahodžić:** Naknadno povećanje tlaka u plinovodima od polietilena *Subsequent increase in pressure in the pipelines of polyethylene*
95	**Denis Pelin, Jadran Pavlić, Hrvoje Glavaš:** Izmjenične karakteristike prijenosnog računala za različite načine rada *AC characteristics of laptop for different mode of operation*
104	**Željka Jurković, Zlata Dolaček-Alduk, Sanja Lončar-Vicković:** Arhitektura i energija *Architecture and energy*
115	**Krunoslav Hornung, Marinko Stojkov, Emil Hnatko, Milan Kljajin:** Sunčeva energija – rezervni energent i smanjenje potrošnje prirodnog plina *Solar energy – spare energy source and reduction od natural gas consumption*
124	**Milan Ivanović, Hrvoje Glavaš, Zlatko Tonković:** Korištenje obnovljivih izvora energije i plinski konzum u regiji Slavonija i Baranja *The Use of Renewable Energy and Gas Consumption in the Region of Slavonia and Baranja*
134	**Franjo Ambroš, Milan Ivanović, Dalibor Mesarić:** Izgradnja komunalne infrastrukture i razvoj optičke mreže na području Slavonije i Baranje *Construction of Municipal Infrastructure and Development of Optical Networks in Slavonia and Baranja*
143	**Zoran Harambašić, Marinko Stojkov, Emil Hnatko, Mario Holik, Damir Šljivac, Vladimir Medica:** Tehnologije za pročišćavanje dimnih plinova *Technology for flue gas purification*
153	**Mario Holik, Zvonimir Janković, Antun Galović:** Teorijska analiza optimalnog režima rada Braytonova ciklusa *Theoretical Analysis of optimum*
164	**Dragan Vulin, Matija Štefok, Denis Pelin:** Pregledni prikaz algoritama za praćenje točke maksimalne snage u fotonaponskim sustavima *Overview of the Algorithms for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems*

172	**Antun Pintarić, Goran Rozing:** Aktivno rastavljanje *Active Disassembly*
183	**Emir Trožić, Enver Trožić, Edin Smajić:** Koncept kontinuiranog monitoringa strateških i zonski mjerača protoka centralnog vodovodnog sistema *The concept of continuous monitoring strategic and zone flow meter central water supply system*
192	**Edin Smajić, Emir Trožić, Enver Trožić:** Izračun protoka vode modeliranjem poprečnog profila senzorom na pokretnom plovilu za potrebe projektiranja hidro elektrane *Calculation of the flow stream modelling cross section sensor on a mobile vessel for the design of hydro power plants*
198	**Enver Trožić, Emir Trožić, Edin Smajić:** Prilog uspostavi automatskog monitoringa utjecaja voda kraškog ponora na izvor vode za piće *Contribution to establishing an automatic monitoring of the impact of karst abyss to the source of drinking water*
209	**Ruzica Končić, Ante Čikić, Marija Živić:** Analiza ekonomičnosti grijanja građevina korištenjem toplovoda iz termoenergetskog postrojenja s različitim gorivom *Cost-effectiveness analysis of heating of buildings using hot water pipeline from the thermal power plant with different fuel*
219	**Zoran Horvatović, Marinko Stojkov, Zvonimir Janković, Danijel Topić, Vjekoslava Golob:** Bioplin i bioplinsko postrojenje *Biogas and Biogas Power Plant*
229	**Siniša Maričić:** Razvoj i značaj sustava odvodnje osječkog kraja *Development and the importance of the drainage system of the Osijek region*
241	**Zlatko Tonković, Pero Raos, Igor Skeledžija:** Usporedba polietilenskih i čeličnih cijevi za plinovode *Comparison of polyethylene and steel pipes for gas pipelines*
251	**Branko Grizelj, Josip Cumin, Marija Stoić, Branimir Vujčić:** Proračun sile prešanja podnica za tlačne posude *Pressing force calculation of the floor for pressure vessels*
260	**Dražen Dorić, Marinko Šlezak:** Kako odabrati i raditi s integratorima sustava nadzora i upravljanja u distribuciji komunalnih dobara *How to select and work with integrator of control supervisory system in utility distribution*
269	**Balazs Baptiszta, Janos Rittinger, Szabolcs Szavai:** *Testing and qualification of welds in natural gas transmission systems*
279	**Szabolcs Szavai, Robert Belezna, Szabolcs Jonas:** *Conservative or Reliable; Overview of Pipeline Assessment Procedures of Corrosion Defect in the View of the Cost Effective Operation*
287	**Ilija Svalina, Goran Šimunović, Katica Šimunović, Božidar Soldo:** Predviđanje potrošnje prirodnog plina pomoću metode prilagodljivog neuro-neizrazitog sustava zaključivanja *Predicting natural gas consumption by the method adaptive neuro-fuzzy inference system*
297	**Sergej Kovbanovski, Tomislav Barić, Hrvoje Glavaš:** Grafički prikaz energetske bilance upotrebom Sankey dijagrama *Graphical presentation of the energy balance with Sankey diagrams*
307	**Jasmina Dizdarevic:** Integrirani sustav za geoprostorno upravljanje imovinom i infrastrukturom plinske mreže: KJKP Sarajevogas d.o.o. *A Integrated system for geospatial asset management of gas network infrastructure: KJKP Sarajevogas Ltd.*
319	**Pero Knežević, Marija Stoić, Antun Stoić, Janez Kopač:** Servisiranje i održavanje regulatora tlaka u mjerno-regulacijskim stanicama *Servicing and maintenance of the pressure regulator placed in metering and regulating stations*

Mjere zaštite na radu kod izgradnje vodovoda i plinovoda
Safety measures in construction of water and gas installation systems

D. Vidaković*

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

*Autor za korespodenciju. E-mail: pbrana@gfos.hr

Sažetak
Članak ukazuje na najučestalije uzroke ozljeda pri izvedbi plinskih, vodovodnih i drugih instalacijskih sustava, kao i na negativne posljedice tih ozljeda po izvođača radova i širu društvenu zajednicu. Navedni su postojeći propisi koji direktno i indirektno reguliraju zaštitu kod ovih vrsta radova, te ukazano na njihove nedostatke i potrebu njihovog konstantnog unapređenja. Preporučuje se postupanje koje umanjuje rizike od ozljeda na radu i konkretne preventivne mjere za povećanje sigurnosti koje su se pokazale uspješnima u praksi.

Abstract
The article points out to the most common causes of injury in construction of gas, water and other installation system, as well as negative consequences of these injuries for contractors and community. Existing regulations that directly or indirectly determine protection for these types of work are mentioned as well as their deficiencies and the need to constantly annul them. It is recommended that treatment reduces the risk of injuries and specific preventive measures to increase security that have proven successful in domestic and foreign practice.

Ključne riječi: izvori opasnosti, rizik, mjere zaštite na radu, propisi, organizacija, troškovi

1. Uvod
Građevinarstvo, u kojem izvedba cjevovoda, komunikacijskih i energetskih vodova ima udio blizu 14% (oko 28% zaposlenih u građevinarstvu je u specijaliziranim djelatnostima), već se dugi niz godina prema broju i težini ozljeda na radu nalazi među najugroženijim djelatnostima, kako u Hrvatskoj tako i drugdje u svijetu. 2012. godine u hrvatskom građevinarstvu bilo je 12,8 ozljeda na 1000 zaposlenih (24% ozljeda je bilo u specijaliziranim građevinskim djelatnostima) [1], što se čini jako dobrim u odnosu na prosjek EU. No, obzirom da je broj poginulih na radu u građevinarstvu u Hrvatskoj (10 smrtno stradalo - najviše od svih djelatnosti [2]) više nego duplo veći od prosjeka EU, a

dosta sličan kao u većini drugih država primljenih u EU u prethodnom krugu proširenja [3, 4, 5], realno je za pretpostaviti da se kod nas niti ne prijavljuju sve ozljede kao u razvijenijim državama. Uz to treba imati na umu da se smatra da se od 30 slučajeva poremećaja sigurnosti na radu koji su mogli dovesti do ozljede, ali srećom nije bilo težih posljedica, dogodi samo jedna ozljeda koja iziskuje odsutnost s posla [6].
Dosadašnja, dosta oskudna ispitivanja stanja zaštite na radu (ZNR) na našim gradilištima ukazuju na svakako nedovoljno dobro stanje (ocjenjeno s 2,0 do 3,8 od mogućih ocjena između 1 i 5 [7]). Razlog tome vjerovatno je i u restrukturiranju građevinske djelatnosti koje je od 1991. više nego udeseterostručilo broj malih tvrtki i znatno smanjilo broj velikih tvrtki.

Ozljede na radu i profesionalne bolesti mogu uništiti živote nastradalih i njihovih obitelji, te na više načina, direktno i indirektno, loše utjecati na cijelu tvrtku. Veći dio troškova do kojih dolazi zbog ozljeda na radu je zapravo indirektan (npr. izgubljeno radno vrijeme ne samo ozlijeđenog zaposlenika, troškovi zapošljavanja zamjene za ozlijeđenoga, negativno djelovanje na ugled tvrtke), ali njih je teže precizno izračunati. Naravno, ozljede na radu i profesionalne bolesti imaju negativan utjecaj i na širu društvenu zajednicu (opterećuju zdravstvene i mirovinske fondove), pa je jasan i njen interes za uključivanje u podizanje razine ZNR. Uočljivo je da zdravstvena sigurnost zaposlenika na radnom mjestu nesumnjivo raste s većim gospodarskim i demokratskim stupnjem razvoja država.
Razina sigurnosti na radnom mjestu dio je politike kvalitete tvrtki, kako je naznačeno i u normama ISO 9000. Poboljšanje sigurnosti uobičajeno rezultira boljom motivacijom i kvalitetom rada i usluga i većom produktivnošću (manji gubitci vremena) i profitabilnošću (izbjegavanje tzv. troškova nekvalitete). Sigurnost zaposlenika neosporno je povezana s osnovnim ciljevima realizacije svakog projekta, i s pozicije investitora i izvođača.

2. Izvori opasnosti i procjena rizka od ozljeda

Višegodišnja praćenja pokazuju da su ozljede na radu kod nas najviše uzrokovane neprimjerenom ZNR, odnosno izvođenjem operacija protivno pravilima ZNR (u prvom desetljeću 21. stoljeća u Hrvatskoj to je uzrok 50 - 70% svih ozljeda u svim djelatnostima [8]).
Građevinarstvo i s njim povezane djelatnosti sadrže radne operacije koje se ne mogu učiniti sigurnim samo primjenom osnovnih pravila ZNR, pa se zato smatraju posebno opasnima. Kod izgradnje plinskih, vodovodnih i sličnih sustava javljaju se različite opasnosti, ovisno dali je to novogradnja ili radovi na postojećim građevinama (rekonstrukcije, održavanja). Također, bitna razlika koja utječe na opasnosti na radu je dali je to samostalno izvođenje plinskog ili vodovodnog sustava (gdje su ostali građevinski radovi malo zastupljeni i izvodi se sve pretežito na otvorenom, nerijetko izvan naseljenih područja) ili se instalacije izvode u sklopu kompleksnijih građevinskih projekata, u pravilu s učešćem velikog broja izvođača. Moguće opasnosti po zdravlje zaposlenih ovise i od konfiguracija terena, karakteristika zemljišta, korištenoj radnoj opremi (vrsti, starosti i ispravnosti), iskustvu zaposlenika itd. U tablici 1. navedeni su pojedini dijelovi radnih procesa kod ovih radova i za njih vezane potencijalne opasnosti.

Tablica 1. Opasnosti kod izvedbe radova na instalacijskim sustavima

Dijelovi tehnološkog procesa	Moguće opasnosti
Rušenja, demontaže i bušenja	- prašina i druge nečistoće, padovi radnika i padanje materijala na ljude, udari stroja, buka, vibracije
Iskopi (strojni i ručni)	- padovi u dubinu, zatrpavanje radnika, udari stroja, opasnost od postojećih, aktivnih instalacija (struje, plina)
Utovari, transporti i istovari	- udari stroja i priklještenja, pad materijala na radnike
Skladištenja	- padanje materijala na radnike
Izrada postelj. i polaganje vodova	- udari stroja, padanje materijala na radnike
Zavarivanja	- štetni dim (postane para), požar
Ostali montažni radovi	- udari stroja i priklještenja, padovi materijala na radnike
A.B. radovi na radilištu	- udari, ubodi, nagrizanje kože cementom
Tlačne probe	- pucanje cjevovoda (opasnost po radnike i prolaznike)
Zatrpavanja sa zbijanjima i vađenjima zaštitnih oplata	- udari stroja i priklještenja

Pri rušenjima, zamjeni materijala (npr. cijevi), a čak i kod iskopa, može se naići na različite opasne tvari (azbest, olovo). Opasna mogu biti i isparavanja kod zavarivanja (čestice nikla, kroma, mangana, CO, CO_2) i premazivanja. Teška oprema uvijek je potencijalna opasnost za radnike u njenoj blizini, a ovdje se radi s dosta strojeva koji se prema *Pravilniku o listi strojeva i uređaja s povećanom opasnosti* ubrajaju u one s povećanom opasnošću [9].

Ovisno o radnom prostoru i stupnju mehaniziranosti radova ponekad je potreban fizički težak rad i rad u neprirodnim položajima od kojih se, ako se ne pazi na njegovo trajanje, u organizmu kumuliraju negativne posljedice. Pri obavljanju ovih radova na otvorenom znaju biti vrlo visoke temperature, a opasnosti dolaze i od prometa ako se odvija blizu mjesta rada.

Najčešće su teške nesreće pri iskopima koji nisu bili osigurani na pravilan način. Pogrešno je dosta uvriježeno mišljenje, koje zna opasno utjecati na izvođenje radnih postupaka kod ovih poslova, da nesreće prijete samo kod loših zemljišta, mada se zapravo u svijetu 74% falatnih nesreća kod iskopa dogodilo kod dobrih, glinenih zemljišta [10]. Isto tako, skoro tri četvrtine nezgoda kod iskopa događa se u prvih nekoliko sati rada [10], pa je potpuno besmisleno uvjerenje da zaštita iskopa nije potrebna kod kratkotrajnih radova .

Posebno su opasne razne improvizacije kojima se zna pribjegavati u nedostatku stručnih znanja i naročito kada izvođača ¨pritisnu¨ rokovi.

Ozljedama su više izloženi zaposleni u manjim poduzećima gdje sustav ZNR češće nije organiziran na zadovoljavajućoj razini. Inače se najugroženim smatraju zaposlenici na određeno vrijeme (sezonci) i praktikanti, odnosno oni koji ne poznaju dobro gradilište i nemaju iskustva. Kod sagledavanja opasnosti na gradilištima nikako se ne smije zanemariti ni posjetitelje (nadzorni inženjer, projektant, revident i dr.), radnike na održavanju i druge osobe koje nisu cijelo vrijeme na radnom mjestu, pa i ljude izvan gradilišta (prolaznike) ako postoji šansa da budu ozljeđeni gradilišnim aktivnostima.

Procjena opasnosti je niz postupaka kojima se utvrđuju stupnjevi rizika od mogućnosti ozljeđivanja na radu i profesionalnih oboljenja, a u njoj se određuju i mjere kako bi se

opasnosti, tj. rizici smanjili na prihvatljivu razinu. Detektiranje opasnosti na radu i procjena njihovog rizika po zdravlje glavna je podloga za program obučavanja zaposlenih, za osiguranje potrebnih zaštitnih sredstava i za kvalitetnu provedbu ZNR. Zakon obvezuje poslodavce da naprave procjenu opasnosti [11], a prema tumačenju *Pravilnika o izradi procjene opasnosti* od Ministarstva rada i socijalne skrbi ova obveza se uz izvođače građevinskih radova posebno odnosi i na njima bliske, tj. povezane djelatnosti, kao što je izvođenje radova na instalacijama (kanalizacije, plina, centralnog grijanja) i neki završni radovi [8].

Statistički podaci o načinima i uzrocima ozljeđivanja ukazuju na rizike i njihovu veličinu. Iako u Hrvatskoj javno dostupni podaci o tome nisu najprikladnije razvrstani, iz više izvora može se doći do pokazatelja koji ukazuju da se načini ozljeđivanja i njihova učestalost uvelike poklapaju s drugim državama. U tablici 2. je napravljena usporedba s načinom nastanka teških i smrtnih ozljeda na radu u građevinarstvu u Njemačkoj, kao razvijenoj zemlji EU, i Litvom, kao novijoj zemlji EU, te Ontariom, najnaprednijom pokrajinom Kanade na području sigurnosti na radu.

Tablica 2. Komparativni pregled načina ozljeđivanja u RH i drugim državama [1, 4, 12, 13]

Način nastanka ozljeda u građevinarst.	**R H** 2006.god.	2012. god.	**Litva** 2007.god.	**Njemačka** 2008. god.	**Ontario**, Kan. 1995-2005.god.
Padovi radnika	40%	35%	38%	36%	41%
Uklještenja - strojevi i alati	18%	9%	19%	14%	12%
Sudari i udari	17%	23%	14%	12%	16%
Padovi materij. na radnike	15%	13%	10%	28%	15%
Struja	2%	1%	8%	3%	11%
Štetne tvari	2%	1%	4%	3%	2%

Najčešći uzrok ozljeda na radu u hrvatskom građevinarstvu (prema propisanoj klasifikaciji) u prošloj godini su bile neispravnost, klizavost i zakrčenost radnih površina i prolaza (18,9%) i ostala neprimjenjena posebna pravila ZNR (16,3%). No, nažalost, čak za oko 45% registriranih ozljeda ne zna se uzrok, odnosno svrstani su pod ostalo. Gledajući samo specijalizirane građevinske djelatnosti identificirani su isti najučestaliji uzroci ozljeda na radnom mjestu (nedostaci radnih površina 18,2%, neprimjenjena posebna pravila ZNR 16,5%, a oko 50% uzroka je nedefinirano) [1].

3. Zakonski okvir i problemi s propisima

Već i Ustav RH ističe da se poduzetnička sloboda i vlasnička prava mogu ograničiti radi zaštite zdravlja ljudi. Zakonski okvir određuje minimalne mjere postizanja sigurnosti na radu, u prvom redu kroz dužnosti poslodavca i zaposlenika u tom pogledu, te poslove inspektora rada. *Zakon o zaštiti na radu* definira osnove ZNR za sve djelatnosti, a velik broj pravilnika, tehničkih propisa i normi detaljnije obrađuje pojedina područja. Problem je što su svi ti važeći propisi donošeni tijekom dugog niza godina i nisu potpuno usklađeni. Iako je građevinarstvo jedna od djelatnosti koja je najugroženija ozljedama na radu, i iako

je prema Zakonu o jedno od općih načela zaštite prilagođavanje tehnološkom napretku, na snazi je još uvijek *Pravilnik o zaštiti na radu u građevinarstvu* iz 1968. godine.
Veći dio propisa je općenit, a upravo na građevinarstvo, odnosno izgradnju vodovodnih i plinskih sustava, osim spomenutog pravilnika u najvećoj mjeri se odnosi *Pravilnik o zaštiti na radu na privremenim ili pokretnim gradilištima* [14]. On je kao i *Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri uporabi radne opreme* donešen 2008. godine zbog usvajanja EU direktiva. *Pravilnik o zaštiti na radu na privremenim ili pokretnim gradilištima* ima za cilj povećati sigurnost radnika propisujući i investitoru obveze za provođenje mjera ZNR pri realizaciji građevinskih projekata kroz imenovanje i plaćanje koordinatora zaštite na radu I i II.
U praksi se od početka nametao problem s formalizacijom njihove funkcije, a i danas još postoje neke nedoumice oko zaduženja koja ovaj pravilnik nalaže. Upitna je mogućnost kordinatora ZNR I da u fazi izrade projektne dokumentacije, uobičajeno prije izbora izvođača radova (kada se još ne poznaju resursi s kojima raspolaže i svi detalji tehnologije izvođenja radova) i kada se rijetko pouzdano zna termin početka, a onda i vrijeme izvođenja radova (vremenski utjecaji bitni su za sigurnost radova na otvorenom), izradi kvalitetni plan za izvedbu radova na siguran način. Također, upitno je i tko bi trebao kontrolirati rad koordinatora ZNR. Logično je da je to investitior koji ih imenuje, ali dvojbeno je koliko u stvarnosti on ima motiva i sposobnosti za to. Koordinator ZNR II u fazi izvođenja radova ima dosta ograničene ovlasti u odnosu na nadzornog inženjera, što može doći do izražaja ako bi imali različita mišljenja. Propisi čak daju mogućnost da on bude zaposlenik izvođača radova (npr. voditelj građenja), mada u tom slučaju to očito da može doći u sukob interesa.
Navedeni nedostaci bi trebali u većem dijelu biti otklonjeni usvajanjem novog *Zakona o radu* i niza novih pravilnika. Uvidom u nacrt prijedloga ovog zakona vidi se da je predviđeno potpuno usklađivanje s postojećim EU direktivama i stavljanje izvan snage brojnih, starijih pravilnika, između ostalih i *Pravilnika o ZNR u građevinarstvu* [15].

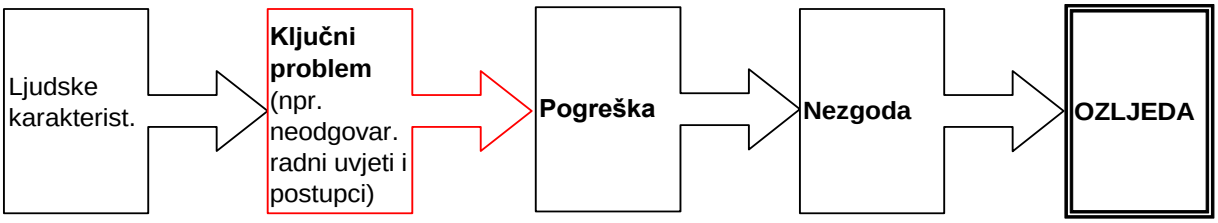
4. Obvezno potrebno za izbjegavanje ozljeda

Sigurnost na radu iziskuje multidisciplinarni pristup jer mora biti rezultat djelovanja s tehničkih, zdravstvenih, pravnih, psiholoških, pedagoških i drugih područja.
Zakon ZNR definira kao sastavni dio organizacije rada i izvođenja radnih procesa, te navodi da se ostvaruje obavljanjem poslova ZNR i primjenom propisanih, ugovorenih i priznatih pravila ZNR, te nadređenih mjera i uputa poslodavca [11].
Najbolje je ako se može rizik od ozljeda spriječiti na njegovom izvoru (npr. osiguravanjem da nema iskopa i otvora na putevima, postavljanjem radnih mjesta u razini tla itd.). To je, ako se pravovremeno isplanira, u pravilu najjeftinije rješenje, ali kod ovdje razmatranih poslova ne mogu se sve opasnosti tako izbjeći. Zato je potrebno poduzimanje mjera sigurnosti pri izvedbi radova koje mogu biti:
- tehničke (vezane na osnovna pravila ZNR),
- organizacijske (vezane na posebna pravila ZNR) i
- dodatne (npr. razgovori sa svima na gradilištu u svezi posebnih pravila ZNR, kao što je uporaba osobnih zaštitnih sredstava).

U načelu ako se opasnosti za sigurnost i zdravlje zaposlenika ne mogu ukloniti primjenom osnovnih pravila, primjenjuju se posebna pravila ZNR koja se odnose na zaposlenike i na način obavljanja radnog postupka. Uporaba osobnih zaštitnih sredstava propisana je tek kada se nikako ne može ostvariti odgovarajući stupanj zaštite od opasnosti s drugim mjerama [11].

Izvođači građevinskih ili montažnih radova dužni su prije početka radova na privremenom radilištu da ga urede na odgovarajući način, prema elaboratu ZNR. Zbog čestih padova (s visine, u dubinu ili na istoj razini) i sudara obvezno treba na propisan način osigurati površine za kretanje radnika i takvima ih održavati sve dok se koriste.
Ako više izvođača radi na zajedničkom gradilištu, svaki od njih dužan je provoditi ZNR radi zaštite svojih zaposlenika, te organizirati rad i osigurati izvođenje radova tako da njegovi zaposlenici pri izvođenju radova ne ugrožavaju sigurnost i zdravlje zaposlenika iz drugih tvrtki. Koordinator ZNR u fazi izvođenja radova uz usklađivanje plana izvođenja radova sa stvarnim stanjem na gradilištu i kontrolu primjene načela ZNR, zadužen je i za koordinaciju i organiziranje suradnje svih zaduženih za sigurnost na gradilištu [13].
Zakon obvezno zahtjeva odgovarajuću osposobljenost i fizičku i psihičku zdravstvenu sposobnost zaposlenika, a isto tako potreban je pravilan izbor radne opreme i redovita povjera njene ispravnosti. Radna oprema mora odgovarati vrsti i načinu izvođenja radnih zadataka. Osim provedbe organizacijskih i tehničkih mjera za sprečavanje opasnosti pri njenoj uporabi, mora se i educirati radnike za poštivanju tehničkih uputa, pravilno rukovanje i uz tu opremu potrebnu uporabu osobnih zaštitnih sredstava [16].
Kod radova na izvedbi plinskih i vodovodnih sustava propisi nalažu nošenje osnovnih osobnih zaštitnih sredstava (zaštine kacige, naočale, cipele/čizme, rukavice, odijelo), a kod nekih poslova i uporabu posebnih zaštitnih sredstava (zaštitne maske, oprema za zaštitu sluha, oprema za rad na visini i dr.).
Rušenja, bila strojna ili ručna, moraju se uvijek obavljati prema prethodno izrađenom planu i programu radova. Uvijek se mora rušiti odozgo na niže i uz dovoljnu udaljenost stroja od objekta, tj. njegovog dijela kojeg ruši. Zabranjeno je izvlačenje elemenata dok nisu potpuno oslobođeni od ostalog materijala i izvlačenje se ne smije obavljati strojevima na točkovima. Za ručna rušenja na visini potrebno je postaviti sigurne radne skele.
Iskopi se smiju obavljati isključivo po uputama i pod nadzorom stručne osobe, naročito kada su na mjestima gdje već postoje instalacije plina, struje, vode i sl. Ako se ne kopa pod kutom prirodnog nagiba terena za sve dubine veće od 1 m obvezno je napraviti statički proračun (uzeti u obzir bočni pritisak tla i svega ostaloga što postoji, kao npr. prometno opterćenje, i opterećenje obližnjih zgrada) i na osnovu toga izvesti potrebnu zaštitu stranica iskopa (najčešće zaštitna oplata s razuporama). Potrebni su redoviti pregledi mjesta rada i još dodatni u slučaju izvanrednih događaja (oluja, neke izmjene, premještanja, udarci i sl.). Kod ručnih iskopa strogo je zabranjeno potkopavanje i nikada radnici ne smiju zalaziti u djelokrug rada stroja.

Prema teoriji domina da se izbjegne ozljeda mora se prekinuti slijed događaja koji vode k nezgodi na radu, što je najbolje eliminiranjem ključnog problema (slika 1.)



Slika 1. Domino efekt u lancu uzroka ozljeda

Procjena koliko je vjerojatno da bi neka opasnost mogla završiti s ozljedom određuje da li se mora napraviti više da bi se smanjio rizik. Zato se za svaku pojedinu identificiranu opasnost mora definirati da li je rizik koji je preostao visok, srednji ili nizak. (Npr. kod određivanja rizika od padova treba uzeti u obzir razliku visine između ruba površine na kojoj se radi i niže razine, udaljenost mjesta rada od ruba, udaljenost od površine koja ne može podnijeti opterećenje i dr.) Na poduzimanje potrebnih mjera utječe i koliko se uopće može ugroziti zdravlje, a to se sve sagledava u matrici rizika kakvu pokazuje tablica 3.

Tablica 3. Potreba mjera ZNR u odnosu na rizik od lošeg utjecaja na zdravlje zaposlenika

Vjerojatnost lošeg utjecaja na zdravlje	S t u p a n j o š t e ć e n j a				
	Nema radne nesposobnosti	Privremena radna nesposobnost	Lakše trajno oštećenje zdravlja	Teško trajno oštećenje zdravlja	Smrt
- učestalo	Mjere ZNR nisu potrebne	**Potrebne su mjere ZNR**	Mjere ZNR su neophodne	Mjere ZNR su neophodne	Mjere ZNR su neophodne
- povremeno	Mjere ZNR nisu potrebne	**Potrebne su mjere ZNR**	Mjere ZNR su neophodne	Mjere ZNR su neophodne	Mjere ZNR su neophodne
- rijetko	Mjere ZNR nisu potrebne	**Potrebne su mjere ZNR**	**Potrebne su mjere ZNR**	Mjere ZNR su neophodne	Mjere ZNR su neophodne
- malo vjerojatno	Mjere ZNR nisu potrebne	**Potrebne su mjere ZNR**	**Potrebne su mjere ZNR**	**Potrebne su mjere ZNR**	Mjere ZNR su neophodne
- gotovo nemoguće	Mjere ZNR nisu potrebne	Mjere ZNR nisu potrebne	Mjere ZNR nisu potrebne	**Potrebne su mjere ZNR**	**Potrebne su mjere ZNR**

5. Preporuke za povećanje razine sigurnosti na radu

Na gradilištima ne može biti cilj sve rizike po zdravlje svesti na nulu, nego mjere predostrožnosti trebaju biti razumne, a preostali rizik prihvatljivo nizak. Uz formalne aktivnosti ZNR, koje su su zakonske, obvezujuće i u njih su uključena tijela državne uprave i pravni subjekti, za dodatno snižavanje opasnosti na radu mogu se primjenjivati neformalne aktivnosti (mogu biti primjerice usmjerene na postizanje socijalno dijaloga, podizanje razine informiranosti i motivacije za očuvanje zdravlja i radne sigurnosti) [17]. Poželjno je da poslodavac, uz ispunjavanje zakonom propisanih obveza, teži što većoj razini zaštite zdravlja na radu.

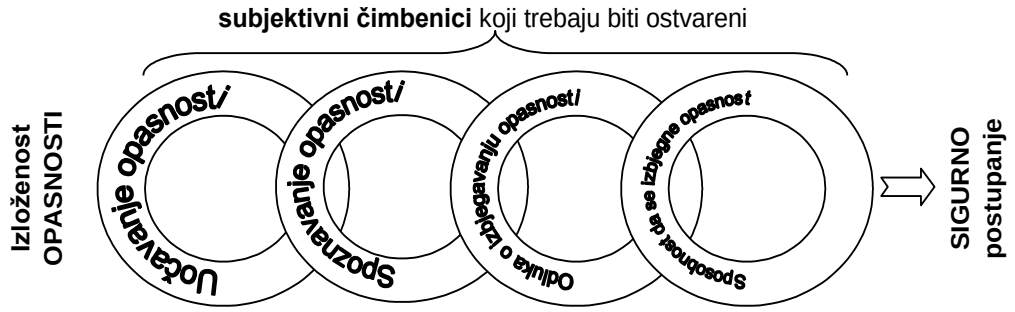
Izvođačima opasnih radova preporučuje se:

- Kontinuirano obučavanje zaposlenika u pogledu ZNR, naročito u svezi novih tehnologija.

- Redovito održavanje vježbi za moguće opasne situacije, te slučajeve ozljeda kada sami zaposlenici trebaju pružiti prvu pomoć na gradilištu.
- Zamjena ljudskog rada koji može biti opasan za zdravlje s odgovarajućom mehanizacijom.
- Održavanje sastanaka prije početka izvođenja rizičnih operacija koji sadrže analizu mogućih opasnosti, upozorenja na potrebne zaštitne mjere i sigurno ponašanje, a mogu uključivati i izdavanje dozvola za rad [18].
- Osiguravanje odgovarajućih odmora i mjesta za odmor tijekom rada, ovisno o vrsti i uvjetima rada.
- Provođenje učestalih internih kontrola opasnosti i provođenih mjera sigurnosti (između ostaloga i provjeravanje dali se raspoloživa zaštitna sredstva koriste na pravilan tj. svrhovit način).
- Postizanje što bolje komunikacije između radnika međusobno i s rukovoditeljima, te s osobama zaduženim za ZNR.
- Rukovoditelji svojim primjerom trebaju uvijek poticati ostale zaposlenike na primjenu mjera ZNR, tj. rad na siguran način. Obučavanje za siguran rad svakako treba obuhvatiti, pa čak i polaziti od rukovodećih struktura, jer bez njihove upućenosti u tu problematiku zaštita nikada neće biti dobro provedena.

Nečija kompetetnost više je od same titule ili funkcije. Occupational Safety and Health Administration (OSHA) kompetentnom osobom smatra onu koja je sposobna identificirati opasnosti na radnim mjestima, procjeniti rizike po sigurnost zaposlenih i pravovremeno naložiti mjere zaštite kojima se rizik izbjegava ili snižava na prihvatljivu razinu [10].

Obzirom da se nezgode na radu ne događaju slučajno, nego su u većini slučajeva uzrokovane cijelim nizom okolnosti, gotovo uvijek postoji mogućnost da se to na neki način spriječi. Uz situacijske uzroke, odnosno postojanje neke opasne situacije (npr. smanjena vidljivost, nepogodna temperatura, prašina i dr.), za (ne)ozljeđivanje na radu presudni mogu biti i individualni čimbenici. Na slici 2. je sekvencijski model koji pokazuje što sve mora biti ostvareno da se izbjegne ozljeđivanje.



Slika 2. Lanac povezanih subjektivnih čimbenika

Suprotno od prikaza na slici 1, da ne bi došlo do ozljede ovaj lanac se ne smije prekinuti. Od individualnih čimbenika bitno je da postoji budnosti i senzorna sposobnost, spretnost i

sl., a na odlučivanje o izbjegavanju opasnosti, uz obučenost i iskustvo, djeluju i razne druge osobne karakteristike (motivacija, spremnost na prihvaćanje rizika, samouvjerenost i itd.). To je još jedan od razloga zbog kojih je za određena radna mjesta poželjna profesionalna selekcija zaposlenika.

6. Zaključak

Hrvatska je uskladila svoju zakonsku regulativu o ZNR s EU, ali samo uz formalno prihvaćanje tih propisa, bez dublje i opsežnije analize opasnosti pojedinih djelatnosti (najprije onih s najviše i najtežim ozljedama) i sagledavanja svih njihovih specifičnih problema, teško da će se znatnije unaprijediti stanje sigurnosti na radu. Da bi se to postiglo treba napraviti dugoročnu strategiju djelovanja, a za to je potrebna ozbiljna namjera svih sudionika u ostvarivanju sigurnosti. Do toga će doći tek kada i izvođači radova i investitori shvate vlastiti interes u povećanju zdravstvene sigurnosti na radu.
Praksa nesumnjivo pokazuje da postoje mogućnosti još boljih rezultata po pitanju sigurnosti na radu, što onda doprinosi povećanju zadovoljstva zaposlenika, njihovog poslodavca i naručitelja radova [18]. Ulaganje u sustav ZNR može donijeti i relativno brze uštede smanjenjem drugih troškova, ali te iznose je teško točnije kvantificirati. Ulaganje u zaštitu na radu svakako predstavlja dobro uloženi novac, jer obično samo jedna teža nesreća može donijeti veće troškove nego što bi bila cijena za sve potrebne preventivne mjere, a ni propisane kazne za utvrđeno nepoštivanje zakonskih obveza nisu zanemarive.

Upravljanje sigurnošću zaposlenika je proces, u kojem je pesimizam poželjan stav. Najčešće je većina rizičnih radnih mjesta i operacija dobro poznata i baš zato ih je potrebno učestalo provjeravati (koliko je opasnost značajna i dali se provode sve potrebne mjere zaštite za smanjenje rizika na prihvatljivu razinu).
Najveću pozornost treba posvetiti najugroženijim zaposlenicima.
ZNR treba biti orijentirana na prevencijsko djelovanje i predviđeno je da novi *Zakon o zaštiti na radu* na to više potakne inspekcijske službe [15]. No, još je značajniji unutarnji nadzor. Sustav ZNR u tvrtki uvijek treba sadržavati planiranje, kontrolu, te kontinuirano prikupljanje podataka (stvaranje baza za sigurnost relevantnih podataka) i razmjenu informacija u koju treba uključiti što više sudionika (npr. tvrtke koje se bave istom vrstom poslova).

7. Literatura

[1] Analiza ozljeda na radu 2012. Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu, Zagreb, 2013. http://www.hzzzsr.hr
[2] Izvješće o radu državnog inspektorata u 2012. godini, Državni inspektorat RH, Zagreb, 2013. http://www.inspektorat.hr/Upload/Documents/Izvjesca/20130527_Izvjesce.pdf
[3] Eurostat. Accidents at work – Construction, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/TableAction.do?tab=table&plugin=1%pcode=tps00042%language=en

[4] Apanavičiene, R.; Liaudanskiene, R. Health Protection and Safety Management in Lithuanian Construction Sector // *Proceedings of International conference Quality, Environment, Health Protection and Safety Management Development Trends*. (ISBN 978-807-3994-79-8). Neum : Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Civil Engineering, 02-06.09.2008. s.13 -18.

[5] Construction – Work related injuries and ill helth. Health and Safety Executive, 2013, http://www.hse.gov.uk/statistic/industry/construction/index.htm

[6] Takala, Jukka. Inductory Report: Decent Work – Safe Work // XVIIth world Cogress on Safety and Health at Work, International Labour Organization, Orlando, 2005. http://www.ilo.org/safework

[7] Palačić, Darko. Istraživanje upravljanja sustavom zaštite na radu // Sigurnost, 48(2006), 4; .s. 341-356. (ISSN 1848-6347)

[8] Vidaković, Držislav; Piljić, Ivana. Održavanje sigurnosti na gradilištima // *Zbornik 21. Znanstveno stručnog skupa Organizacija i tehnologija održavanja OTO 2012* / Lacković, Zlatko (ur.). (ISBN 978-953-6032-77-8). Županja : Društvo održavatelja Osijek, Elektrotehnički fakultet Osijek i Sladorana Županja, 20.04.2012. s. 51-59.

[9] Pravilnik o listi strojeva i uređaja s povećanim opasnostima, Narodne novine 47/02

[10] Trenching is a Dangerous and Dirty Busines. OSHA Office of Construction & Engineering. 1999. http//www.elcosh.org/document/1972d000168/Trenching%Bis% Ba2Bdangerous&2Band%2Bdirty%2Bbusiness.html?show_text=1

[11] Zakon o ZNR (s izmjenama i dopunama), Narodne novine 59/96, 14/03, 86/08

[12] The Construction Safety Association of Ontario (2006 -2008), "Annual Report", www.csao.org/t.tools/t6.news/archives.cfm?featureSectorid=5

[13] Vidaković, Držislav; Brana, Petar; Španić, Martina. Risk and Cost of Injury in Construction Company // *Proceedings of CIB Joint International Symposium 2009, Construction Facing Worldwide Challenges* / Cerić, Anita; Radujković, Mladen (ur.). (ISBN 978-953-6272-34-1). Dubrovnik : Građevinski fakultet u Zagrebu, 27-30.09.2009. s. 612-621.

[14] Pravilnik o ZNR na privremenim ili pokretnim gradilištima, Narodne novine 51/08

[15] Prijedlog nacrta Zakona o zaštiti na radu. Ministarstvo rada i mirovinskog sustava, Zagreb, 2013. www.rasprava.mrms.hr/bill/zakon-o-zastiit-na-radu/

[16] Alerić, Srećko. Radna oprema – Komentar pravilnika o sigurnosti i zdravlju pri uporabi radne opreme. Zagreb: ZIRS, 2009. (ISBN 978-953-6412-83-9)

[17] Dodatak općem priručniku za unutarnji nadzor zaštite na radu, *The Europian Union's IPA 2007 programme for Croatia, Twinning projekt: Zdravlje i zaštita na radu*, (Pružanje pomoći u razvoju i pripremi smjernica za provođenje praćenja, nadzora, statistike i analiza vezanih uz Direktive EU), 2007. http://www.mrms.hr/wp-content/uploads/2013/03/dodatak-opcem-prirucniku.pdf

[18] Rehorović, Ninoslav; Babić, Slavko. Zaštita na radu, zaštita zdravlja i okoliša u tvrtki Crosco te primjena u praksi tijekom bušenja na kopnu // Nafta 61(2010), 3; 133-135. (ISSN 978-953-6272-34-1)

Tehničke i ekonomske karakteristike bioplinske elektrane i utjecaj na elektroenergetsku mrežu
Technical and economic characteristics of the biogas power plant and the impact on the electrical grid

D. Šljivac[1,*], M. Vukobratović[1] , M. Stojkov[2], B. Nakomčić[3], Z. Klaić[1], P. Marić[1]

[1]Elektrotehnički fakultet u Osijeku, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska
[2]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska
[3]Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: sljivac@etfos.hr

Sažetak

Uvjeti za isplativo korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije u Republici Hrvatskoj postoje od 2007. godine. Sustav poticajnih otkupnih cijena definiranih *Tarifnim sustavom za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije* omogućio je opće prihvatljivu isplativost ovakvih, najčešće privatnih, investicija.

Zaokruženim prikazom od ideje do realizacije preko planiranja, projektiranja, izgradnje, montaže, ispitivanja, puštanja u probni rad i puštanja u pogon, ovaj rad detaljno i sistematično prikazuje cjelokupan proces realizacije nekoliko bioplinskih elektrana nazivne snage 1 MW i 2 MW u različitim vremenskim periodima i tehničkim okolnostima. Realizacija investicije u bioplinsku elektranu započinje izradom Analize opravdanosti izgradnje elektrane pa je u radu posebna pozornost usmjerena ka tehničkim i ekonomskim karakteristikama takvih postrojenja. Tehničke i ekonomske karakteristike bioplinskih elektrana ovise o planiranoj lokaciji i blizini ulazne sirovine, vrsti tehnologije za proizvodnju bioplina, ali i o smještaju u elektroenergetskom sustavu.

Elektrana na bioplin u pravilu se priključuje na distributivnu elektroenergetsku mrežu te kao takva mijenja uobičajenu prirodu distributivnih mreža iz pasivne u aktivnu. Iz tog razloga svaka elektrana prije konačnog odobrenja za rad mora proći proces ispitivanja i analize utjecaja generatora elektrane na mrežu, provjeru ugrađenih zaštitinih uređaja te ispitivanje kvalitete električne energije prema normi HRN EN 50160.

Ključne riječi: realizacija bioplinske elektrane, tehno-ekonomska analiza isplativosti, utjecaj na mrežu

Abstract
Conditions for cost-effective use of renewable energy sources and cogeneration in Croatia are established in 2007. The system of incentive purchase price defined by *Feed-in Tariff system for electricity production from renewable energy sources and cogeneration* enabled generally acceptable cost-effectiveness of these, mostly private, investment.

By all-around perspective from idea to realization through planning, design, construction, installation, testing, commissioning and trial operation this paper thoroughly and systematically presents the process of realization of several biogas plants of rated power of 1MW and 2MW in different time periods and technical circumstances. Realization of investment in a biogas power plant begins by making of Feasibility study of power plant construction so in this paper, special attention is focused on the technical and economic characteristics of such systems. Technical and economic characteristics of biogas plants depend on the planned location and close input of raw material, type of technology for the production of biogas, but also location in the electric power system.

Biogas power plant is typically connected to the distribution grid, and as such, altering the nature of distribution networks from passive to active. For this reason, each plant before final authorization must undergo a process of testing and analysis of the impact of generator to the network, checking and computing the installed protective devices and power quality testing according to HRN EN 50160.

Key words: biogas power plant realisation, cost/benefit analysis, grid influence

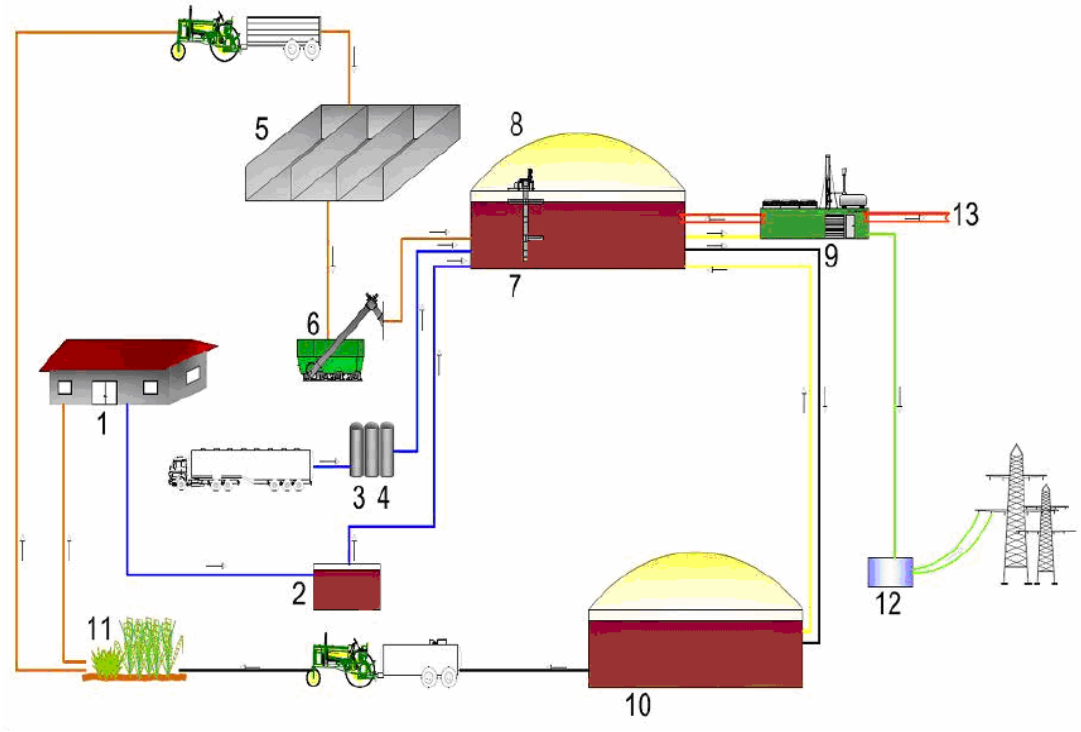
1 Uvodno o bioplinskim postrojenjima

Bioplinsko postrojenje je složena instalacija koja se sastoji od širokog spektra glavnih elemenata. Izgled postrojenja jako ovisi o vrsti i količini sirovine koja će se koristiti za proizvodnju bioplina. Budući da sirovina prikladna za digestiju u bioplinskim postrojenjima dolazi u mnoštvu različitih oblika različitog porijekla, samim time postoje različite tehnike i tehnologije za preradu pojedinih vrsta sirovina i različite konstrukcije fermentera i različiti sustavi radnog procesa, odnosno funkcioniranja sustava. Pored toga, ovisno o tipu, veličini i radnim uvjetima procesa pojedinog bioplinskog postrojenja moguće je implementirati i različite tehnologije za kondicioniranje, skladištenje i korištenje bioplina. Skladištenje i korištenje digestata prvenstveno je orijentirano na korištenje digestata kao gnojiva i neophodne su mjere zaštite okoliša koje se odnose na digestat, [1]. Proces proizvodnje bioplina u poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima obično se odvija u četiri faze, [2]:

- Transport, isporuka, skladištenje i prethodna obrada sirovine
- Proizvodnja bioplina (AD)
- Skladištenje digestata, eventualno kondicioniranje i primjena
- Skladištenje bioplina, kondicioniranje i korištenje

Prva faza procesa uključuje spremnik za skladištenje stajskog gnoja, posude za sakupljanje organskog otpada, spremnik za sanitaciju, prostor za skladištenje uz pomoć

vozila, sustav za punjenje digestora krutom sirovinom. Druga faza procesa uključuje proizvodnju bioplina u reaktoru za bioplin (fermentatoru ili digestoru). Treća faza procesa sadrži spremnik za skladištenje digestata i primjenu digestata kao gnojiva na polju. Četvrta faza procesa odvija se u spremniku za skladištenje plina i kogeneracijskoj jedinici. Navedeni dijelovi bioplinskog postrojenja prikazani su slikom 1, [3]:



1. objekti za uzgoj životinja
2. spremišta za tekući gnoj
3. kontejneri za sakupljanje biootpada
4. spremnik za sanitaciju
5. spremnici za silažu na otvorenom
6. sustav za unošenje krute sirovine
7. digestor (bioplinski reaktor)
8. spremnik za bioplin
9. kogeneracijska jedinica
10. skladište za digestat
11. poljoprivredne površine
12. transformatorska stanica
13. korištenje toplinske energije

Slika 1. Dijelovi bioplinskog postrojenja

Kogeneracijski uređaj ili set sastoji se od dva glavna dijela: pogonskog motora i na njega vezanog generatora električne energije. Motor je klasični motor sa unutarnjim izgaranjem, prilagođen zahtjevima bioplina kao pogonskog goriva i dimenzioniran na snagu generatora. Generator, stimuliran pogonskim motorom, proizvodi električnu energiju i pomoću transformatorske stanice istu distribuira u elektroenergetsku mrežu.

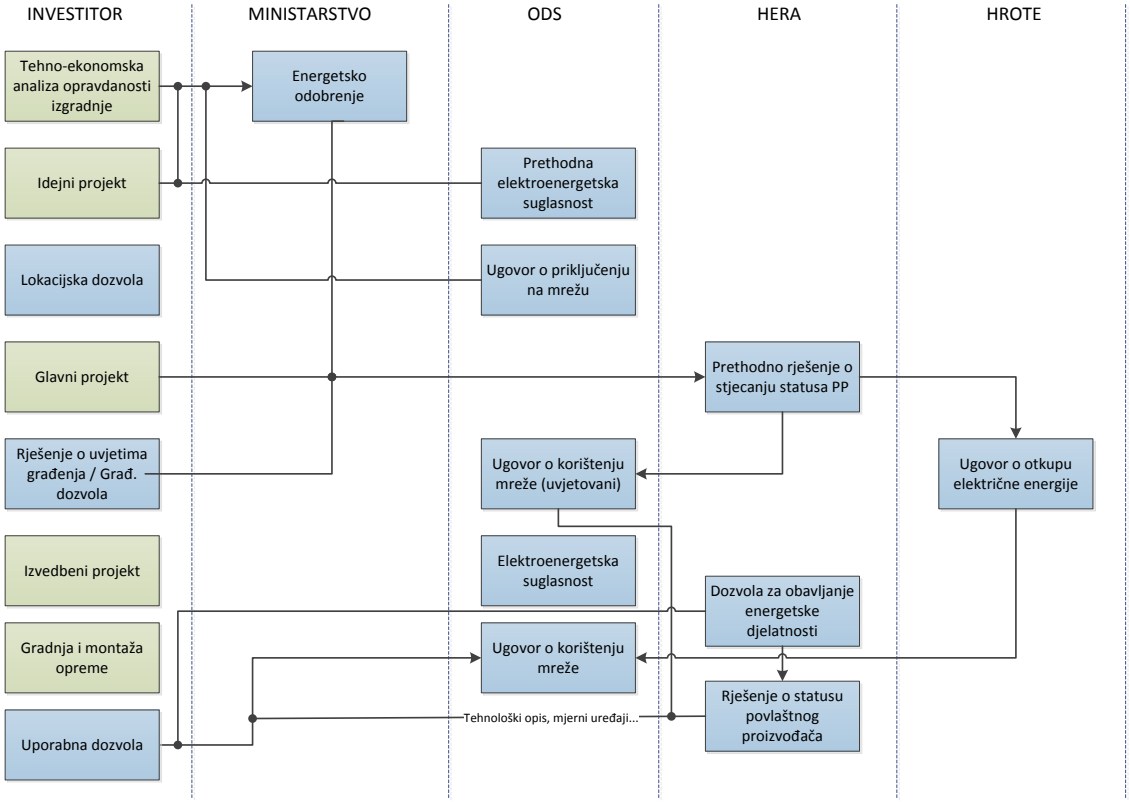
Obzirom da je ideja ovog rada dati zaokruženi prikaz proces realizacije nekoliko bioplinskih kogeneracijskih postrojenja, od ideje, planiranja, projektiranja, izgradnje, montaže, ispitivanja, puštanja u pogon te probnog rada, u nastavku će se pozornost dati

na one tehničke i ekonomske karakteristike bitne pri realizaciji i pogonu ovih elektrana i njihovom utjecaju na okolnu elektroenergetsku (u pravilu distributivnu) mrežu.

2 Proces realizacije bioplinskog postrojenja

Pravilnik o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača električne energije (NN 88/12) propisuje način na koji određeni pravni subjekt može prodavati električnu energiju proizvedenu u bioplinskoj elektrani po cijeni iz Tarifnog sustava za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 63/2012). Povlašteni proizvođač je energetski subjekt koji u pojedinačnom proizvodnom objektu istodobno proizvodi električnu i toplinsku energiju, koristi otpad ili obnovljive izvore energije na gospodarski primjeren način koji je usklađen sa zaštitom okoliša, [4].

Postupak ishođenja potrebne dokumentacije zakonodavnog okvira, planiranja, projektiranja i realizacije postrojenja prikazan je slikom 2.



Slika 2. Procedura zakonodavnog okvira RH za stjecanje statusa povlaštenog proizvođača

2.1 Prethodno energetsko odobrenje

Prema Pravilniku o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 88/12), izrada preliminarne analize opravdanosti izgradnje postrojenja i priključka na elektroenergetsku mrežu s tehno-ekonomskim podacima i podacima prostornog uređenja je preduvjet za

podnošenje zahtjeva za ishođenje prethodnog energetskog odobrenja. Ishođenjem prethodnog energetskog odobrenja stječe se pravo upisa projekta u Registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača (OIEKPP), čime se stječe status nositelja projekta i uređenje imovinsko pravnih odnosa na zemljištu u vlasništvu Republike Hrvatske. Prethodno energetsko odobrenje se ukida i nositelj projekta briše iz Registra OIEKPP ako nositelj projekta nije započeo ispitivanje potencijala u roku od 6 mjeseci od dana konačnosti prethodnog odobrenja ili ako nije podnio zahtjev za izdavanje lokacijske dozvole u roku od 36 mjeseci od dana konačnosti prethodnog odobrenja, [5]. Nositelj projekta je dužan Ministarstvu podnijeti odgovarajući dokaz da je započeo ispitivanje potencijala, odnosno da je podnio zahtjev za izdavanje lokacijske dozvole. Prema Zakonu o prostornom uređenju i gradnji (NN 76/07, NN 38/09), idejni projekt se prilaže zahtjevu za izdavanje lokacijske dozvole.

2.2 Idejni projekt i lokacijska dozvola

Idejni projekt je skup međusobno usklađenih nacrta i dokumenata kojima se daju osnovna oblikovno – funkcionalna i tehnička rješenja građevine (idejno – tehničko rješenje) te smještaj građevine na građevnoj čestici na odgovarajućoj posebnoj geodetskoj podlozi. Također, idejni projekt mora sadržavati podatke o priključnoj snazi elektrane i pripadajućeg postrojenja, kategoriju potrošnje, rok priključenja, nazivnu snagu i karaktersitike značajnijih trošila tehnološkog procesa, način korištenja snage i energije, predvidivu godišnju potrošnju te druge podatke poput podataka o obračunskom mjernom mjestu ili o vlastitom izvoru napajanja, [5]. Lokacijska dozvola je upravni akt koji se izdaje na temelju Zakona o prostornom uređenju i gradnji i propisa donesenih na temelju toga Zakona te u skladu s dokumentima prostornog uređenja i posebnim propisima. Lokacijska dozvola prilaže se zahtjevu za ishođenje energetskog odobrenja i zahtjevu za izdavanje potvrde glavnog projekta.

2.3 Prethodna elektroenergetska suglasnost

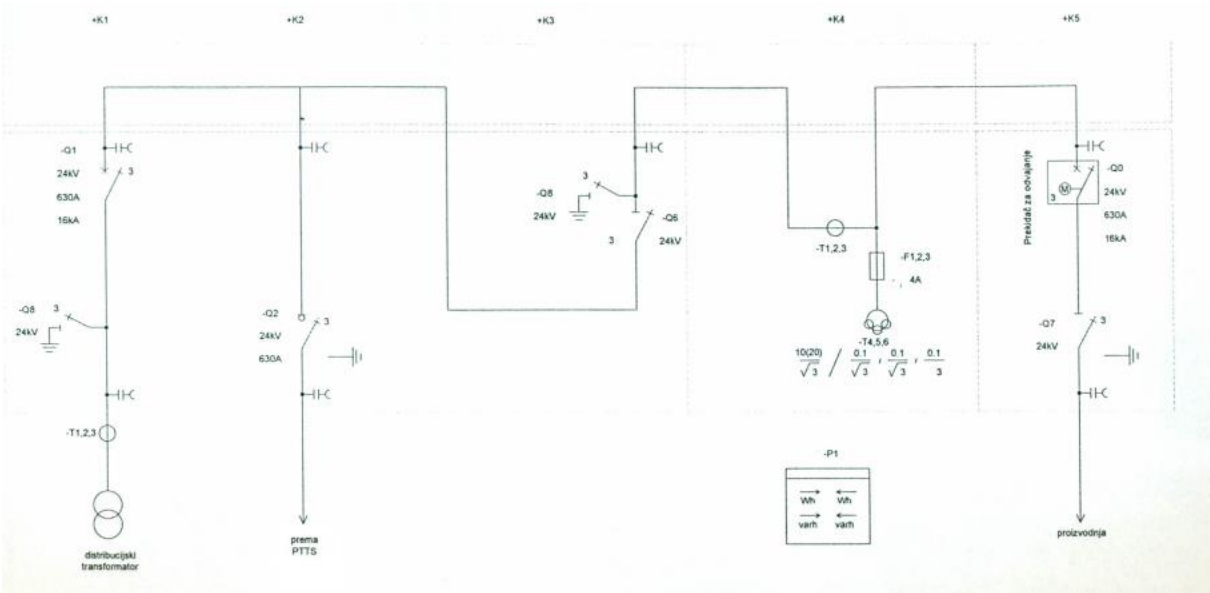
Prema Zakonu o prostornom uređenju i gradnji, prethodna elektroenergetska suglasnost izdaje se u postupku ishođenja lokacijske dozvole na traženje tijela nadležnog za izdavanje te dozvole. Prema Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom (NN 14/06), u slučaju kada se ne izdaje lokacijska dozvola (u slučaju ishođenja rješenja za građenje), prethodna elektroenergetska suglasnost izdaje se na zahtjev proizvođača prije izrade glavnog projekta. Sukladno Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava (NN 36/2006), na niskonaponsku mrežu priključuje se elektrana ukupne snage do uključujući 500 kW. Priključak elektrane u tom slučaju može biti ostvaren na niskonaponski vod ili na niskonaponske sabirnice transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV. Na niskonaponski vod se mogu priključiti elektrane ukupne snage do uključujući 100 kW. Elektrane snage do 500 kW mogu se priključiti i na srednjonaponsku mrežu. Elektrane ukupne snage veće od 500 kW do uključujući 10 MW priključuju se na srednjonaponsku mrežu (10 kV, 20 kV, 30 kV i 35 kV), [5]. Za priključenje na elektroenergetski sustav svih elektrana snage do 1 MW

nadležan je operator distribucijskog sustava koji izdaje prethodnu elektroenergetsku suglasnost.

U svrhu dobivanja elektroenergetske suglasnosti za bioplinska postrojenja snaga 1 - 2 MW izrađuje se Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja elektrane na distribucijsku elektroenergetsku mrežu – EOTRP čija izrada je u nadležnosti lokalnog distributera električne energije.

Postojeći korisnici električne energije u okruženju promatranog područja napajaju se električnom energijom iz postojeće TS 110/35/10 kV 10 kV izvoda. Stanje u sustavu je zadovoljavajuće ukoliko su iznosi napona unutar granica propisanih Mrežnim pravilima te ukoliko su iznosi strujnog opterećenja svakog elementa sustava manji od maksimalno dozvoljenih vrijednosti. Priključak elektrane na elektroenergetsku mrežu se ostvaruje radijalnim priključkom susretnog postrojenja, smještenog na lokaciji elektrane, jednim energetskim podzemnim kabelom KB 10(20) kV (u pravilu tipa XHE 49-A 3x1x150/25 mm^2), od susretnog postrojenja do glavne nadležne TS. Za tu svrhu često je nadležnu TS potrebno opremiti novim sklopnim blokom 10(20) kV sa dva vodna polja i jednim transformatorskim poljem, [1].

Usporedbom tehničkih gubitaka prije priključenja i tehničkih gubitaka nakon priključenja elektrane obično se može zaključiti da su tehnički gubici nakon priključenja veći za slučaj minimalnog opterećenja u sustav, ali manji za slučaj maksimalnog opterećenja u sustavu. Pregledna shema postrojenja kojim se priključuje jedna tipična bioplinska elektrana na mrežu prikazana je na slici 3.



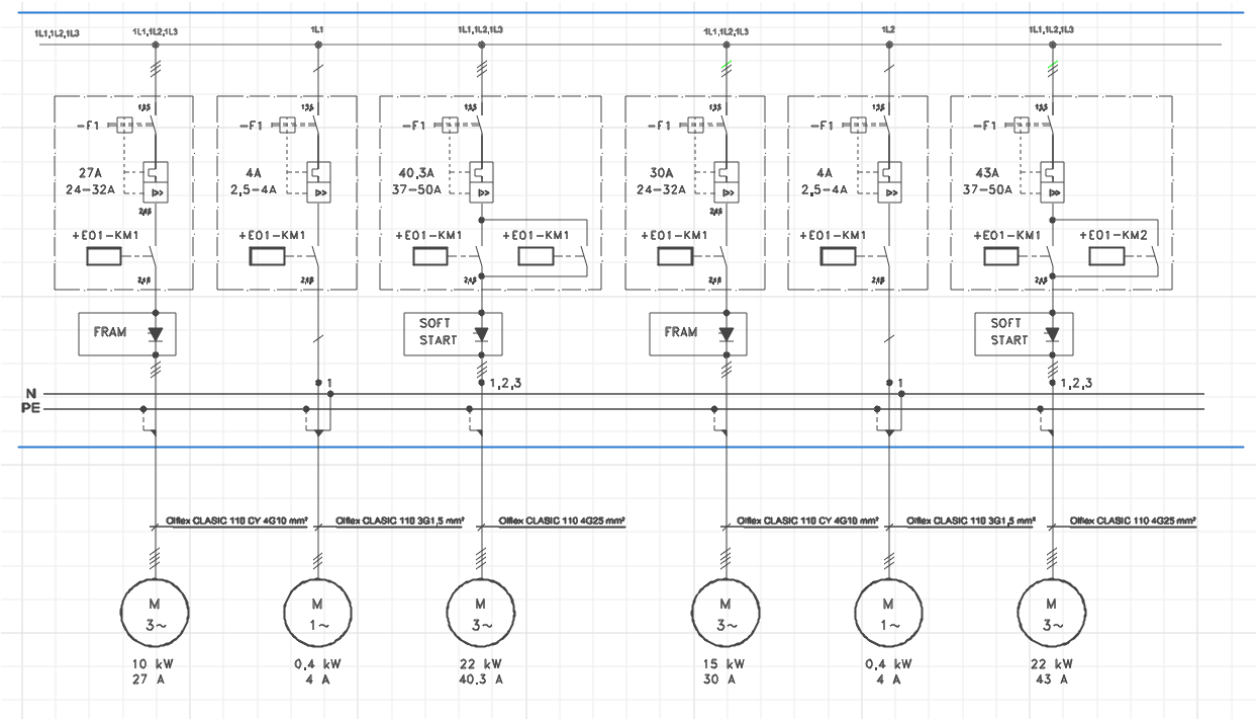
Slika 3. Pregledna shema postrojenja priključenja bioplinske elektrane na mrežu

2.4 Ugovor o priključenju na elektroenergetsku mrežu

Ugovor o priključenju zaključuju operator distribucijskog sustava i proizvođač u postupku priključenja na mrežu na temelju prethodne elektroenergetske suglasnosti, a sukladno Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom. Ugovorom se uređuju uvjeti priključenja na distribucijsku mrežu, uređuju se sve pojedinosti izgradnje priključka te se utvrđuje iznos naknade za priključenje. Temeljem prethodne elektroenergetske suglasnosti ugovorne strane mogu zaključiti predugovor o priključenju kojim se uređuju međusobni odnosi na pripremi stvaranja uvjeta u mreži i priključka za priključenje građevine do uključivo građevinske dozvole, [4]. Tehničke uvjete i troškove priključenja građevine proizvođača na srednjonaponsku mrežu operator distribucijskog sustava utvrđuje na temelju elaborata optimalnoga tehničkog rješenja priključenja. Izrada elaborata u nadležnosti je operatora distribucijskog sustava.

2.5 Glavni projekt i potvrda glavnog projekta

Glavni projekt se prilaže zahtjevu za izdavanje potvrde glavnog projekta ili zahtjevu za donošenje rješenja za građenje. Glavni projekt je skup međusobno usklađenih projekata kojima se daje tehničko rješenje građevine i dokazuje ispunjavanje bitnih zahtjeva za građevinu, kao i drugih zahtjeva prema Zakonu o prostornom uređenju i gradnji i posebnih propisa te tehničkih specifikacija. U pogledu lokacijskih uvjeta, glavni projekt ne smije biti u suprotnosti s idejnim projektom, [5]. Primjer nacrta glavnog elektrotehničkog projekta prikazan je slikom 4.



Slika 4. Primjer nacrta glavnog elektrotehničkog projekta

Građenju elektrana na bioplin instalirane snage do uključivo 1 MW može se pristupiti na temelju potvrde glavnog projekta. Potvrdu glavnog projekta za građevine izvan područja velikog grada te za građevine na području dviju ili više jedinica lokalne samouprave izdaje nadležno upravno tijelo županije, a nadležno upravno tijelo Grada Zagreba ili velikog grada izdaje potvrdu glavnog projekta za građevine na svom području. Potvrda glavnog projekta nije upravni akt. Zahtjev za izdavanje potvrde glavnog projekta u pisanom obliku podnosi investitor [4,5].

2.6 Prethodno rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača

Zahtjev za izdavanje prethodnog rješenja o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača podnosi se Hrvatskoj energetskoj regulatornoj agenciji. Prethodno rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača donosi se na rok važenja od dvije godine. U roku od dvije godine od dana konačnosti prethodnog rješenja nositelj projekta dužan je izgraditi postrojenje za proizvodnju električne energije te podnijeti zahtjev za izdavanje rješenja o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača. Rok od dvije godine može se na zahtjev nositelja projekta produžiti za još 12 mjeseci, [4,5]. Ukoliko nositelj projekta u zadanim rokovima ne podnese zahtjev za izdavanje rješenja, niti zahtjev za produženje prethodnog rješenja, prethodno rješenje prestaje važiti istekom roka na koji je doneseno [5].

2.7 Ugovor o otkupu električne energije

Zahtjev za sklapanje ugovora o otkupu električne energije podnosi se Hrvatskom operatoru tržišta energije. Ugovor o otkupu električne energije se sklapa u roku od 60 dana od dana primitka potpunog zahtjeva, a primjenjuje se od dana pravomoćnosti rješenja o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača. Ugovor se sklapa na određeno vrijeme od 14 godina. Operator tržišta sklapa ugovore o otkupu električne energije uz poticajnu cijenu s povlaštenim proizvođačima električne energije dok ukupna planirana proizvodnja električne energije iz postrojenja ne ispuni minimalni udjel električne energije utvrđen Uredbom o minimalnom udjelu električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije čija se proizvodnja potiče, [6].

2.8 Izvedbeni projekt

Izvedbenim projektom razrađuje se tehničko rješenje dano glavnim projektom. Izvedbeni projekt mora biti izrađen u skladu s glavnim projektom. Građevina se gradi na temelju izvedbenog projekta. Investitor elektrane dužan je najkasnije do dana početka radova imati potvrdu glavnog projekta i elaborat iskolčenja građevine. Investitor koji ishodi rješenje za građenje do dana početka građenja mora imati elaborat iskolčenja građevine i parcelacijski elaborat kojim se formira građevna čestica s potvrdom nadležnog tijela i potvrdom tijela nadležnog za poslove državne izmjere i katastar nekretnina ako građevna čestica u katastru nekretnina, odnosno katastru zemljišta nije osnovana, te izvedbeni projekt [5,6].

2.9 Elektroenergetska suglasnost

Elektroenergetska suglasnost je isprava kojom operator distribucijskog sustava utvrđuje tehničke parametre priključenja i korištenja mreže, a ishodi se nakon izgradnje postrojenja. Elektroenergetska suglasnost prestaje važiti danom raskida ugovora o korištenju mreže. Također, elektroenergetska suglasnost prestaje važiti kada je priključak kupca ili proizvođača isključen s mreže duže od tri godine. Priključnu snagu u prethodnoj elektroenergetskoj suglasnosti ili elektroenergetskoj suglasnosti odobrava operator distribucijskog sustava temeljem zahtjeva kupca ili proizvođača, i tehničkih, odnosno pogonskih uvjeta u mreži, a korištenje se uvjetuje ugradnjom uređaja za mjerenje snage. Odobrena priključna snaga važi samo za obračunsko mjerno mjesto definirano u pripadajućoj elektroenergetskoj suglasnosti i neprenosiva je na drugu lokaciju [5,6].

2.10 Ugovor o korištenju mreže

Ugovor o korištenju mreže zaključuju na neodređeno vrijeme operator distribucijskog sustava i proizvođač, sukladno Općim uvjetima za opskrbu električnom energijom. Nakon uplate cjelokupnog iznosa financijskih obveza i izvršenja u cijelosti svih obveza iz ugovora o priključenju, izdane elektroenergetske suglasnosti te zaključenog ugovora o korištenju mreže, operator distribucijskog sustava dužan je staviti priključak u funkciju u skladu s rokom iz ugovora o priključenju [5,6].

2.11 Pokusni rad i pripadajuća ispitivanja

Prema odredbama Zakona o prostornom uređenju i gradnji, ako postoji potreba ispitivanja ispunjavanja bitnih zahtjeva za građevinu pokusnim radom, investitor je obvezan početak pokusnog rada prijaviti nadležnom upravnom tijelu, te tijelima i/ili osobama koje izdaju potvrde sukladno posebnim propisima. Ovo ispitivanje investitor je dužan povjeriti osobi koja ispunjava uvjete za obavljanje tih djelatnosti. Prijavi pokusnog rada prilaže se:

- plan i program ispitivanja bitnih zahtjeva za građevinu u tijeku pokusnog rada,
- usporedne vrijednosti parametara koji se ispituju u pokusnom radu i vrijednosti tolerancije: elaborat utjecaja elektrane na mrežu s mjerenjem kvalitete električne energije i elaborat podešenja zaštite,
- predviđeni završetak pokusnog rada.

Sukladno Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava, proizvođač je dužan podnijeti pisani zahtjev operatoru distribucijskog sustava za prvo uključenje elektrane u paralelni pogon s mrežom, radi ispitivanja u stvarnim pogonskim uvjetima. Uz zahtjev, proizvođač mora priložiti izvješća o provedenim funkcionalnim ispitivanjima s dokazima o ispravnosti svih funkcija vođenja pogona i zaštite, te prethodno usuglašeni program ispitivanja u probnom pogonu. Nakon provedbe ispitivanja u probnom pogonu mora se načiniti izvješće o ispitivanjima s navedenim uočenim nedostacima ili ograničenjima za vođenje pogona, te obvezi njihova otklanjanja. Pokusni rad, bitni zahtjevi koji se ispituju, vrijeme trajanja pokusnog rada i mjere osiguranja za vrijeme trajanja pokusnog rada moraju biti predviđeni i obrazloženi glavnim projektom [5,6].

2.12 Uporabna dozvola

Elektrana se može početi koristiti, odnosno staviti u pogon nakon što nadležno upravno tijelo, koje je izdalo potvrdu glavnog projekta ili rješenje za građenje, izda za tu građevinu uporabnu dozvolu. Sukladno Zakonu o prostornom uređenju i gradnji, uporabna dozvola se izdaje nakon što se tehničkim pregledom utvrdi da je građevina izgrađena u skladu s potvrđenim glavnim projektom ili rješenjem za građenje, a osobito glede ispunjavanja bitnih zahtjeva za građevinu. Zahtjev za izdavanje uporabne dozvole podnosi investitor, odnosno vlasnik građevine [4,5,6].

2.13 Rješenje o statusu povlaštenog proizvođača

Zahtjev za izdavanje rješenja o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača podnosi se Hrvatskoj energetskoj regulatornoj agenciji. Rješenje o stjecanju statusa povlaštenog proizvođača se donosi na rok od 14 godina. Od dana pravomoćnosti rješenja primjenjuje se Ugovor o otkupu električne energije. Hrvatska energetska regulatorna agencija je dužna dostaviti rješenje Ministarstvu gospodarstva, rada i poduzetništva, operatoru tržišta, operatoru prijenosnog sustava i operatoru distribucijskog sustava u roku od 8 dana od dana pravomoćnosti. Status povlaštenog proizvođača prestaje istekom roka važenja ili ukidanjem rješenja [5,6].

3 Tehno-ekonomska analiza opravdanosti izgradnje bioplinskog potrojenja

Kako je navedeno u poglavlju 2.1. prema Pravilniku o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 88/12), izrada preliminarne analize opravdanosti izgradnje postrojenja i priključka na elektroenergetsku mrežu s tehno-ekonomskim podacima zajedno s podacima prostornog uređenja osnovni je preduvjet za podnošenje zahtjeva za ishođenje prethodnog energetskog odobrenja kojim zapravo započinje postupak realizacije statusa povlaštenog proizvođača električne energije.

Tehno-ekonomska analiza opravdanosti izgradnje, odnosno ocjena ulaganja temelji se na podacima iz tehničkih i tržišnih podataka, a radi se o podacima o visini ulaganja (investicijama), strukturi ulaganja, proizvedenoj električnoj energiji, vijeku trajanja i drugim bitnim podacima za ocjenu projekta.

Slijedi primjer preliminarne (osnovne) analize opravdanosti izgradnje jednog tipičnog bioplinskog postrojenja instalirane snage 1 MW, s očekivanim trajanjem iskorištenja te instalirane snage od 7790 h/godišnje (odnosno za očekivanu godišnju proizvodnju od 7.790.000 kWh_{el}. Izračun prihoda formira se na osnovu otkupne cijene prema Tarifnom sustavu za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije ("Narodne novine", br. 63/12) korigirane prema članku 5. Tarifnog sustava, a za kategoriju 1.f. elektrane na bioplin za 2011. godinu iznosi 1,20 kn/kWh. Slijedi:

$$7.790.000{,}00\frac{kWh}{god} \times 1{,}20\frac{HRK}{kWh} = 9.348.000{,}00\frac{HRK}{god} \quad (1)$$

To čini ukupni godišnji prihod od 10.557.008,00 kn. Kako je bioplinsko postrojenje vrsta elektrane koja ne ovisi o vanjskim čimbenicima (suncu, vjetru…) raspodjela prihoda tijekom godine je jednakomjerna i ne odstupa značajno po mjesecima.

Prema opisu tehnološko-tehničkih potreba provedbe projekta, za takvo tipično postrojenje instalirane snage 1 MW očekuje se okvirna struktura troškova prikazana u tablici 1, dok su ulazni tehno-ekonomske podaci (i pretpostavke) prikazani u tablici 2 [1,2].

Tablica 1. Pregledni troškovnik bioplinske eletrane

Investicija		Količina	Cijena [€]
1	Građevinska oprema	1	700.000,00
2	Strojarsko tehnološka oprema	1	1.500.000,00
3	Elektrotehnička oprema	1	1.000.000,00
4	Troškovi priključka na mrežu	1	150.000,00
			UKUPNO: 3.350.000 €

Tablica 2. Podaci tehno-ekonomske ocijene projekta

Iznos investicije (HRK)	25.125.000,00
Radna snaga postrojenja (kW)	1000
Radnih sati godišnje	7.790
Otkupna cijena HRK/kWh	1,20
Količina gnojnice (t/god.)	7.300
Količina silaže (t/god.)	18.500
Troškovi pogona (HRK)	750.000
Vlastita sredstva (%)	25%
Kamatna stopa (%)	4,00%
Troškovi i naknade (%)	2,00%
Rok otplate	12 godina
Poček	2 godine
Predviđena inflacija	2,4%

U dinamičkoj ocjeni utvrđuju se rentabilnost (IRR) i likvidnost projekta uz korištenje metode neto sadašnje vrijednosti (NPV), čiji se izračun temelji na metodologiji utvrđenoj od strane Međunarodne energetske agencije (IEA) i Nuklearne energetske agencije (NEA) opisanoj detaljno u [9], pri čemu se općenito za sva kogeneracijska postrojenja neto sadašnja vrijednost u novčanim jedinicama (n.j.) računa kao:

$$NPV = \sum_{k=-j}^{n} I_k \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^{n} TP_k \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^{n} TG_k \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^{n} TE_k \cdot (1+i)^{-k} + \sum_{k=1}^{n} TD_k \cdot (1+i)^{-k} \quad (2)$$

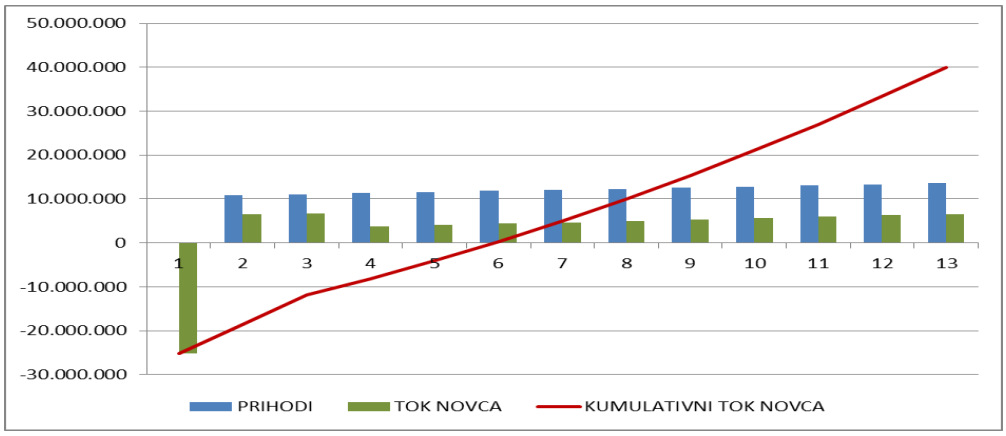
gdje je: I_k – investicija izvršena u k-toj godini (n.j.); TP_k – troškovi pogona (rada i održavanja), TG_k – nabavni troškovi za gorivo, TE_k – (eksterni) troškovi emisije (CO_2) (n.j.), TD_k – troškovi dekomisije postrojenjau k-toj godini u (n.j.); i – diskontna stopa (ili stopa aktualizacije); j – godine protekle između početka davanja i puštanja postrojenja u pogon; n – životni ili ekonomski vijek projekta (elektrane).
Na temelju izračunate neto sadašnje vrijednosti interna stopa rentabilnosti računa se kao ona pri kojoj se investicije u postrojenje jednake dobiti koju će elektrana ostvariti u promatranom ekonomskom vijeku projekta. Polazne informacije za tu ocjenu sadržane su u izrađenom financijskom i ekonomskom tijeku projekta, čija se izrada temelji na slijedećim postavkama [1,2]:

- ekonomski vijek projekta utvrđen je u trajanju od 12 godina, a temelj je razdoblje otplate kredita u trajanju od deset godina uz 2 godine perioda počeka
- svi podaci su svedeni na godišnju razinu
- u utvrđenom vijeku projekta nema reinvestiranja dobiti
- za diskontnu stopu (aktualizacije) uzima se 10 % prema [9]

Tablica 3. Rezultati dinamičke ocijene projekta

IRR	29%
NPV (HRK)	36.556,543,85
Godina povrata	7

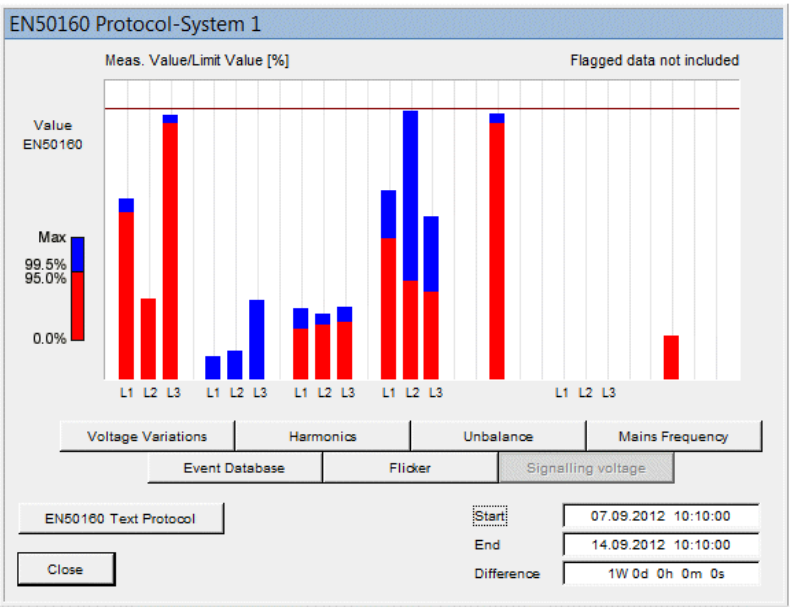
Ocjena likvidnosti investicijskog projekta prikazuje se kroz financijski tok (tok novca) koji u vijeku projekta pokazuje sve primitke i izdatke (slika 5). U financijskom toku, u okviru primitaka sadržani su i izvori financiranja, a u okviru izdataka ulaganja i obveze prema izvorima financiranja. Pozitivni neto primici, kao razlika između primitaka i izdataka, u financijskom toku ovoga projekta ukazuju da je projekt u svim godinama likvidan, odnosno da u svakoj godini vijeka projekta uspijeva pokriti sve obveze prema dobavljačima, djelatnicima, kreditnim institucijama i državi.



Slika 5. Prikaz financijskog toka projekta

4 Elaborat o utjecaju elektrane na bioplin na elektroenergetsku mrežu

Elaborat o utjecaju elektrane na bioplin na elektroenergetsku mrežu izvodi se kao rezultat analize mjerenja kvalitete električne energije prije i nakon priključenja same elektrane na elektroenergetsku mrežu. Kvaliteta električne energije mjeri se prema normi HRN EN 50160:2012, *Naponske karakteristike električne energije iz javnog distribucijskog sustava* (EN 50160:2010), što znači da mjerenja i prije i nakon priključenja elektrane traju po 7 dana. Mjerni instrumenti za analizu kvalitete mreže trebaju biti u klasi točnosti "A" prema zahtjevima norme IEC 61000-4-30, a općenito se mjere tri napona i četiri struje. Izmjerene vrijednosti spremaju se u programiranim vremenskim razmacima, a nakon mjerenja se snimljeni podaci prenose na računalo, gdje se mogu prikazivati u grafičkom ili numeričkom obliku. Slika 6 prikazuje rezultate mjerenja kvalitete električne energije nakon priključka bioplinske elektrane na elektroenergetsku mrežu.



Slika 6. Sumarni prikaz pokazatelja kvalitete opskrbnog napona u odnosu na ograničenja norme HRN EN 50160, nakon priključenja bioplinske elektrane

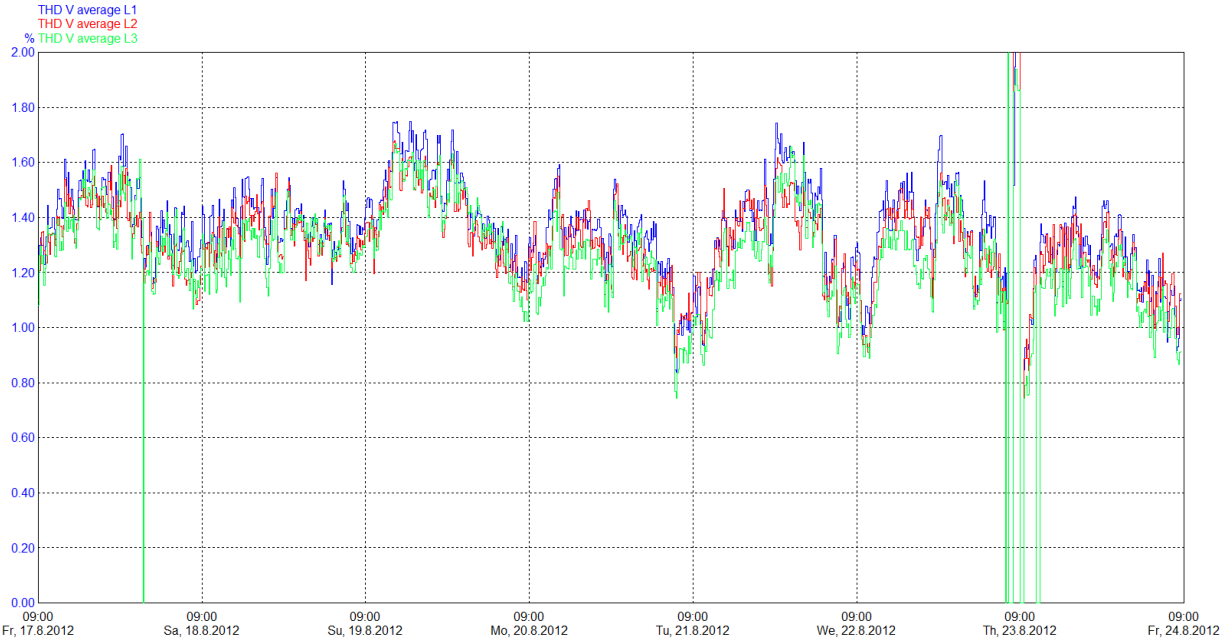
Rezultati mjerenja kvalitete električne energije prije i nakon priključka bioplinske elektrane na elektroenergetsku mrežu razmatraju se s obzirom na ograničenja navedena u normi EN 50160, [10] te prema vrijedećim Mrežnim pravilima u Republici Hrvatskoj, [11].

U normi EN 50160 dana su ograničenja za pokazatelje kvalitete kao što su pogonska frekvencija, naponsko kolebanje, naponski događaji, prekidi opskrbe (dugotrajni i kratkotrajni), naponi viših harmonika, flikeri (naponsko treperenje), nesimetrija napona te signalni naponi, slika 6. Na slici 7 se tako može vidjeti ukupno harmoničko izobličenje napona - THD_U, tijekom 7 dana, prije priključenja bioplinske elektrane. Prema EN 50160 najviša dozvoljena vrijednost je 8 %, a na slici se vidi da su sve vrijednosti unutar ograničenja.

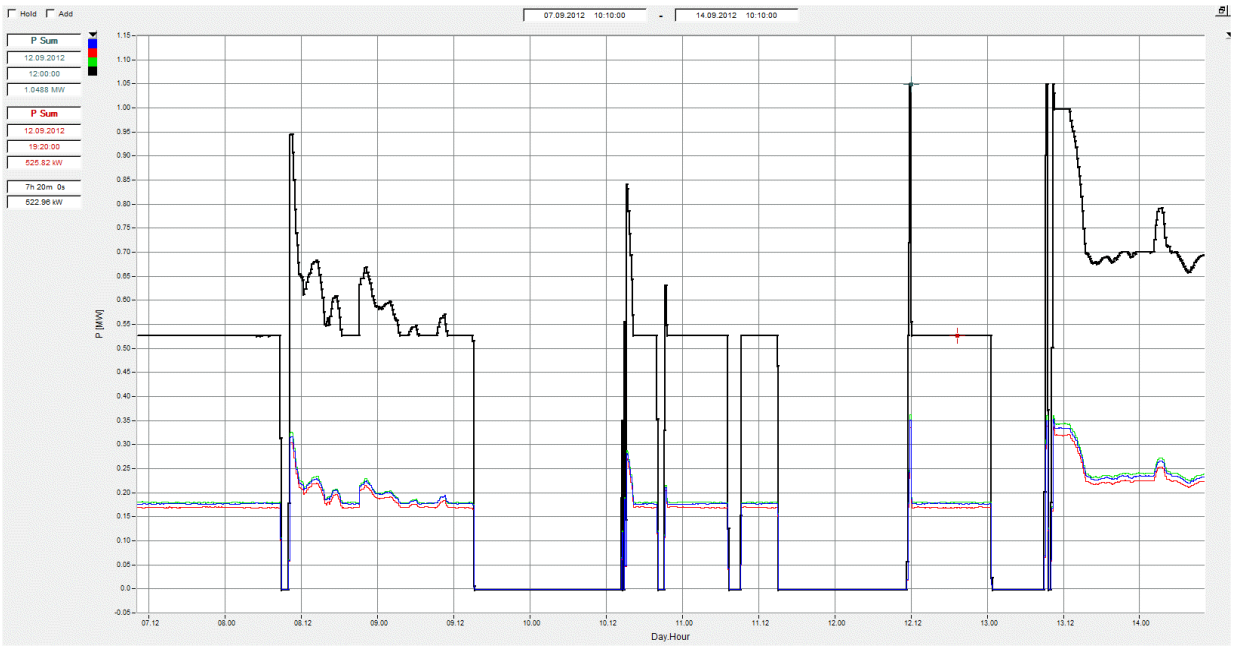
U Mrežnim pravilima navedene su također granične vrijednosti za pogonsku frekvenciju i naponsko kolebanje (vrlo slične vrijednosti onima EN 50160), dok se za pokazatelje ukupnog harmoničkog izobličenja napona - THD_U, flikere (naponsko treperenje) te

nesimetriju napona propisuje dozvoljeni doprinos elektrane u elektroenergetsku mrežu. Zato se za ova tri pokazatelja kvalitete u Elaboratu uspoređuju snimljene vrijednosti prije i nakon priključenja elektrane.

Nakon što su u Elaboratu o utjecaju elektrane na bioplin na elektroenergetsku mrežu proanaliziraju svi pokazatelji kvalitete električne energije, prikaže se i isporučena snaga elektrane u mjernom tjednu (slika 8). Temeljem izvedene analize rezultata mjerenja, zaključno se daje pozitivna ili negativna preporuka za trajni pogon elektrane na bioplin.



Slika 7. Ukupno harmonično izobličenje napona THD_U u % U_n, prije priključenja bioplinske elektrane



Slika 8. Predana trofazna radna snaga genaratora bioplinske elektrane u elektroenergetsku mrežu

Osim obveznog mjerenja kvalitete električne energije, elaborat utjecaja na mrežu sadrži i utjecaj elektrane na tokove snaga i kratki spoj u mreži. Prema podacima koje dostavlja nadležni operater distribucijskog sustava (HEP ODS) i 'Elaborata optimalnog tehničkog rješenja priključenja na elektroenergetsku mrežu elektrane sačini se model okolne distributivne mreže za proračun tokova snaga, prikaza naponskih prilika, proračuna i analize kratkog spoja pomoću dostupnih ekspertskih programskih paketa temeljenim na numeričkom (iteracijskom) postupku.

Pri proračunima se u razmatranje uzimaju mogućnosti alternativnog napajanja mjesta priključka bioplinske elektrane kako bi se proračuni izvršili za najnepovoljnije moguće slučajeve. Podaci o opterećenju distributivnih 10(20)/0,4 kV transformatorskih stanica (TS) ukoliko nisu dostupni od strane HEP ODS pretpostavljaju se kao linearna raspodjela izmjerenih opterećenja 10(20) kV izvoda po pojedinim TS 10/0,4 kV sukladno nazivnim snagama njihovih transformatora i to uz pretpostavljeni faktor snahe cos φ = 0,95. Faktorom gubitaka uzeti su u obzir gubici u mreži i transformatorima ovisni o topologiji mreže i naponskim prilikama u mreži, a razmatraju se i eventualni zahtjevi za izdavanje prethodne elektroenergetske suglasnosti sa većim priključnim snagama.

Obzirom da distribuirane bioplinske elektrane podižu iznos napona u okolnoj mreži utjecaj na mrežu može biti pozitivan u slučaju jako opterećenog sustava i posljedično loših (niskih) naponskih prilika. Međutim, kod bioplinskih postrojenja često je slučaj da se radi o priključku u ruralnom, slabo opterećenom području u kojem takve elektrane mogu uzrokovati pojavu previsokih napona.

Ovo je ilustrirano u tablici 4 gdje je dan prikaz osnovnih rezultata proračuna tokova snaga prije i nakon priključenja jedne bioplinske elektrane snage 1 MW u slučaju priključka u jednu slabo opterećenu ruralnu mrežu, pri minimalnom opterećenju. Uz naponske prilike i provjeru dopuštenih naponskih granica od 10%, provjeravaju su (eventualna) strujna (pre)opterećenja, kao i očekivani faktor snage, koje se dramatično mijenjaju s ulaskom ovakvih snažnih elektrana u slabe ruralne mreže, pri čemu u pravilu smanjuju opterećenje na izvodu, osim u slučaju izgradnje više distribuiranih elektrana (npr. fotonaponskih i dr.) kada mogu uzrokovati i porast opterećenja izvoda.

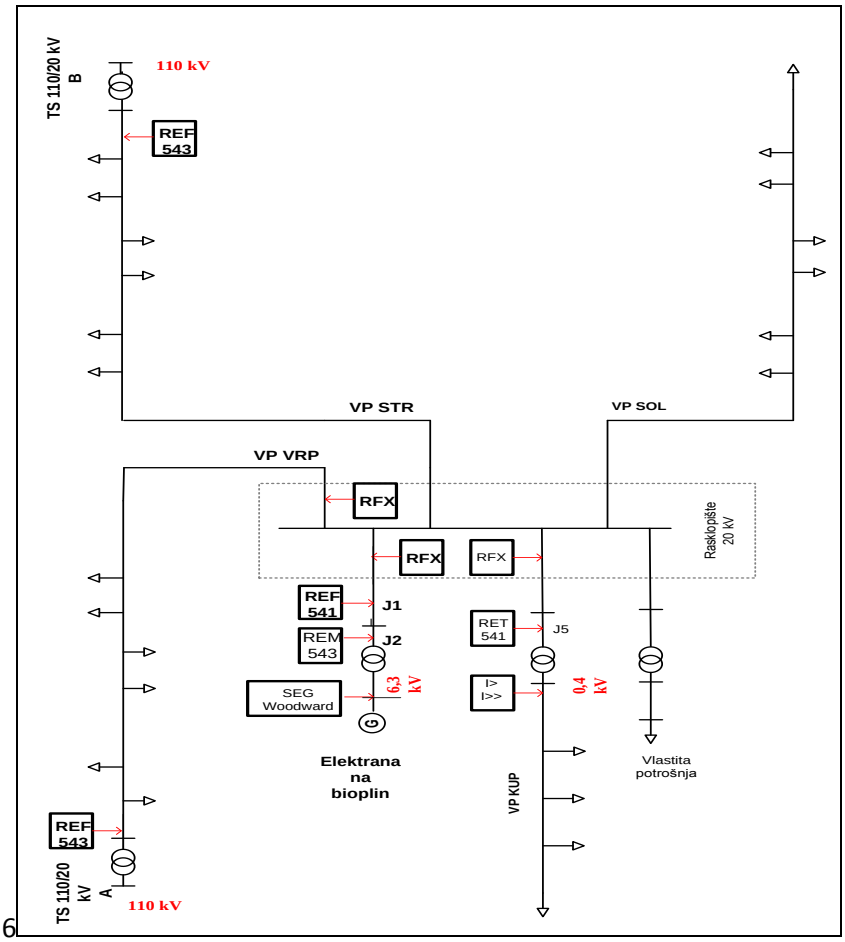
Tablica 4. Rezultati proračuna tokova snaga (strujno naponskih prilika) prije i nakon uključenja tipične bioplinske elektrane u okolnoj distributivnoj mreži

Redni broj	Mjesto	Napon	Struja	cos ϕ
		kV	A	
1	VP 10 kV prije VP 10 kV poslije	10,52 10,55	57,58 16,84	0,96 0,09
2	TS bioplin. postr. 10 kV prije TS bioplin. postr. 10 kV poslije	10,59 10,96	- 60,59	- - 0,86
3	TS bioplin. postr. 0.4 kV (generator) prije TS bioplin. postr. 0.4 kV (generator) poslije	- 0,45	- 1.509,59	- - 0,85

Bioplinska postrojenja kao i svi distribuirani generatori obvezno povećavaju (rasklopnu) struju i snagu kratkog spoja, pa se u analizi kratkih spojeva obvezno vrši i provjera mogućih prekoračenja rasklopnih snaga (moći) okolnih prekidača. Ovaj utjecaj ovisi o topologiji mreže i vrsti priključenog bioplinskog agregata (generatora).

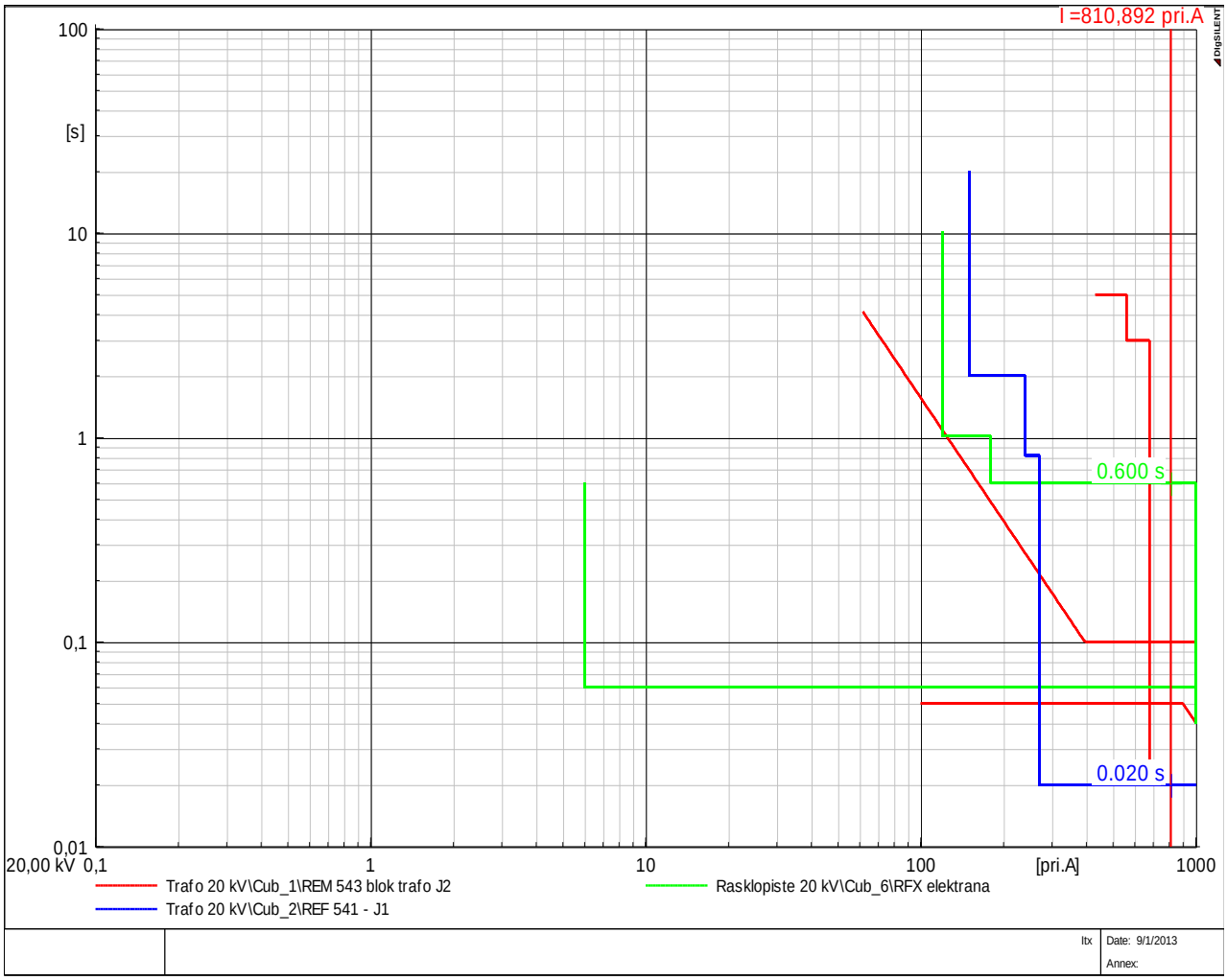
5 Elaborat podešenja zaštite elektrane na bioplin

Elaborat zaštite obuhvaća provjeru i odabir strujnih i vremenskih postavki zaštite od kratkih spojeva u elektrani, na sučelju elektrane i mreže te u neposredno priključenoj mreži, kada se mjesto kvara napaja sa strane mreže i generatora suprotnim smjerom njihovog udjela u ukupnoj struji na mjestu kvara, te istim smjerom njihovog udjela u ukupnoj struji na mjestu kvara za sva uobičajena i posebna uklopna stanja povezanosti elektrane sa svim izvodima 10(20) kV (slika 10) priključenim na sučelju elektrane i mreže (rasklopištu). Svi simulirani kvarovi započinju u t=0 s nakon početka simulacije, događaji vidljivi na oscilogramima nakon t=+0 s, rezultat su djelovanja uređaja za zaštitu i sklapanje. Za sve simulirane trofazne i dvofazne kratke spojeve daje se uobičajeno I-t karakteristika djelovanja promatranih uređaja za zaštitu.



Slika 9. Primjer sheme zaštite bioplinske elektrane s postojećom distribucijskom mrežom 20 kV

Na primjeru trofaznog kratkog spoja na stezaljkama generatora u bioplinskom potrojenju (najteži slučaj), istovremenom proradom nadstrujnog člana releja REM 543 u polju J2, te nadstrujnog člana releja REF 541 u polju J1 kvar je izoliran od ostatka mreže što potvrđuje ispravnost postavki zaštite odnosno ostvarenu dobru selektivnost. Kronološki prikaz prorade releja obzirom na mjesto kvara prikazan je na slici 10.



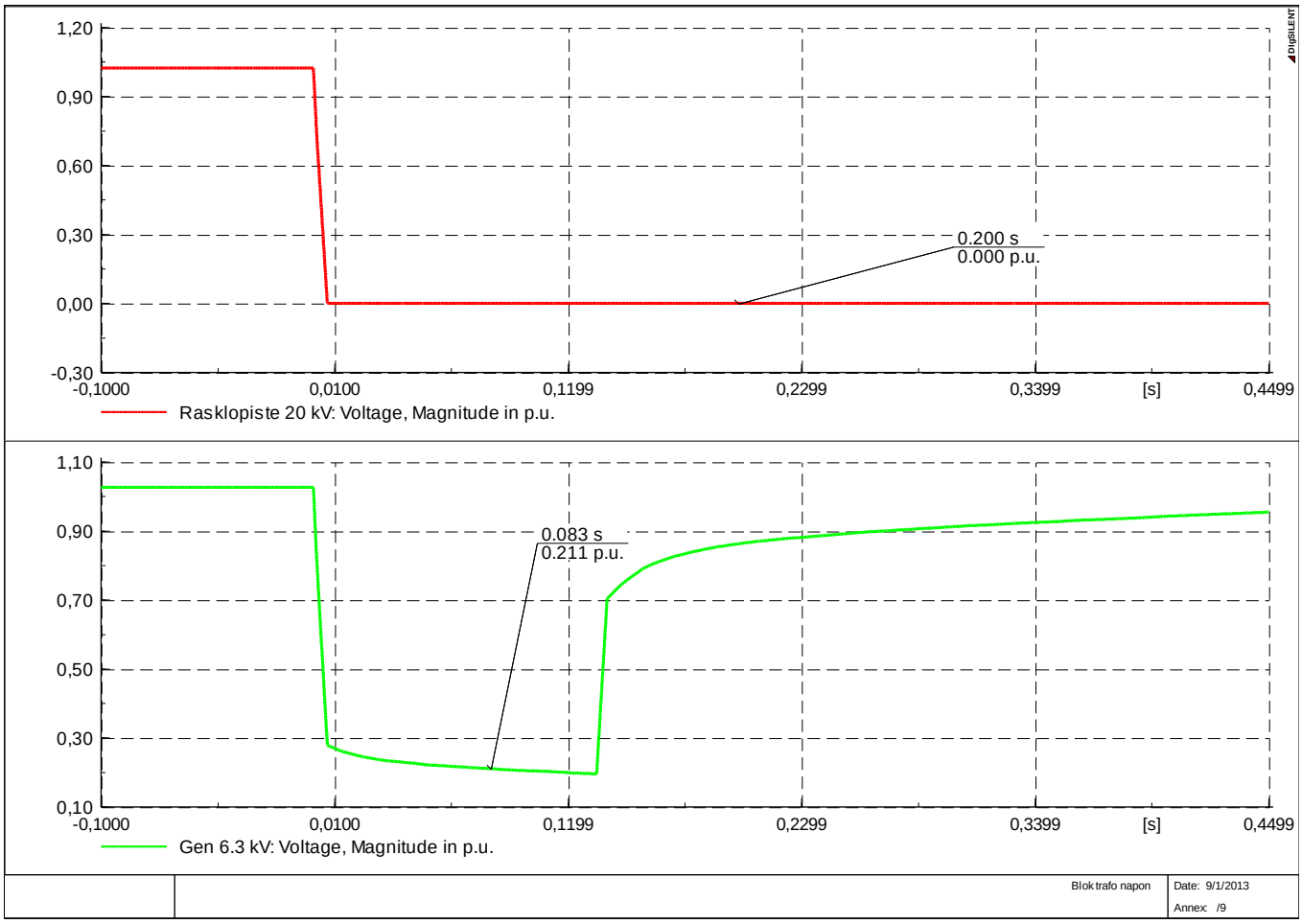
Slika 10. I-t karakteristika promatranih releja

Prema slici 10: prorada trenutnog nadstrujnog člana REM 543 *NOC3Inst ptop* koji prekidačem u polju J2 odvaja kvar od ostatka mreže.

Valja naglasiti da priključenjem bioplinske elektrane dolazi do promjene struja kratkog spoja u postojećoj distribucijskoj mreži. Značajan je faktor potiskivanja struje u slučajevima kada se mjesto kvara napaja istim smjerom udjela preko izvoda 10(20) kV iz nadređene mreže 110/10(20) kV i elektrane na bioplin. Potiskivanje struje od strane elektrane ukazuje na promjenu postavki zaštitnih uređaja izvoda 10(20) kV u nadređenim TS 110/10(20) kV.

Također, elaboratom je obuhvaćen i odabir postavki naponske zaštite kao zaštite od neprimjerenih uvjeta paralelnog pogona elektrane s mrežom pri propadu vrijednosti

napona kod udaljenih i bliskih trofaznih i dvofaznih kratkih spojeva u mreži 20 kV. Simulacije i proračuni su izrađeni prema normi IEC 60909 za izračun struja kratkog spoja s prikazom u vremenskoj domeni (RMS). Provjera i koordinacija naponske zaštite prikazana je na primjeru trofaznog kratkog spoja na sabirnicama sučelja elektrane i distributivne mreže.



Slika 11. Napon na sabirnicama sučelja elektrane i mreže – gornji oscilogram, napon na stezaljkama generatora – donji oscilogram

Tijekom simulacije dolazi do prorade trenutnog podnaponskog člana releja REF 541 u polju J1 koji odvaja generator od mreže. Ovakvom manipulacijom generator ostaje u otočnome pogonu čime dolazi do prorade zaštite od gubitka sinkronizma, te isključenja nakon promjene kuta rotora generatora od 7° u odnosu na kut referentne sabirnice ekvivalentne nadređene mreže.

Postavke zaštitnih uređaja utvrđene elaboratom zaštite podliježu provjeri protokolima ispitivanja zaštite u stvarnome sustavu.

6 Zaključak

Iz do sada opisanog postupka (procedure) dobivanja statusa povlaštenog proizvođača, postupka realizacije bioplinske elektrane od ideje, planiranja, projektiranja, ishođenja svih potrebnih dozvola, izgradnje, montaže, ispitivanja, puštanja u probni rad i puštanja u pogon – vidljivo je da se radi o intenzivnoj i složenoj interdisciplinarnoj aktivnosti (elektrotehnika, strojarstvo, građevina, arhitektura, biokemija) povezanoj s nizom rizika investiranja. Pri tome je važno odrediti optimalnu lokaciju elektrane temeljenu na često dva suprotstavljena uvjeta: obzirom na troškove priključenja na distributivnu mrežu i obzirom na troškove transporta ulazne sirovine. Pri tome cijeli tim stručnjaka sudjeluje u izradi tehno-ekonomske analize opravdanosti izgradnje elektrane, projektnih rješenja, utjecaja elektrane na mrežu, provjere udešenja zaštite i mjerenja utjecaja na kvalitetu električne energije.

7 Literatura

[1] Šljivac, D., Vukobratović, M., Analiza opravdanosti izgradnje bioplinske elektrane Landia, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2012.

[2] Šljivac, D., Vukobratović, M., A Tehno-ekonomska analiza bioplinskog postrojenja Biorad, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2010.

[3] Horvatović Z., Bioplinsko postrojenje za proizvodnju električne energije, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2013.

[4] Priručnik za investitore/nositelje projekata elektrana na bioplin instalirane električne snage do uključivo 1 MW, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2010.

[5] Zakonodavni okvir i administrativna procedura za obnovljive izvore i kogeneraciju u republici hrvatskoj, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, RELEEL, 2009.

[6] Dijagram Grupa 1 - Elektrane na bioplin iz poljoprivrednih nasada (kukuruzna silaža...) te organskih ostataka i otpada iz poljoprivrede i prehrambeno – preradivacke industrije (kukuruzna silaža, stajski gnoj, klaonicki otpad, otpad iz proizvodnje biogoriva...) instalirane snage do ukljucivo 1 MW, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Zagreb, 2010.

[7] www.hera.hr, Hrvatska energetska regulatorna agencija, pristup: 26.07.2013.

[8] www.hrote.hr, Hrvatski operator tržišta energije d.o.o., pristup: 26.07.2013.

[9] IEA/NEA/OECD: Projected Costs of Generating Electricity, 2010 Edition, http://www.iea.org, 2012

[10] HRN EN 50160:2012, *Naponske karakteristike električne energije iz javnog distribucijskog sustava* (EN 50160:2010)

[11] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava (NN 036/2006)

[12] ABB Feeder Terminal REF 54_Technical Reference Manual, General, 1MRS750527-MUM, Issued: 29.09.1997 Version: R/21.10.

[13] Nikolovski S., Marić P., Elaborat podešanja zaštite bioplinskog postrojenja Mala Branjevina 1 i 2 na mrežu HEP-a, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2012.

[14] Nikolovski S., Marić P., Elaborat podešanja zaštite elektrane na biomasu Strizivojna Hrast na mrežu HEP-a, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2012.

Praktična primjena mjera za dokazivanje zadovoljavajuće opskrbe zrakom za izgaranje plinskih trošila vrste "B"

Practical implementation of proving methods for adequate supply with combustion air for gas appliances type "B"

Ž. Krklec[1,*], H. Pešut[2]

[1]Montcogim-Plinara d.o.o., Trg A. Starčevića 2, Sveta Nedelja, Hrvatska
[2]Energonova d.o.o., Novačka 333, Zagreb, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: zeljko.krklec@montcogim.hr

Sažetak

Prilikom ispitivanja plinskih instalacija susrećemo se sa primjerima koji odstupaju od uvjeta za postavljanje plinskih trošila vrste "B".

Do odstupanja od smjernicom i projektom predviđenih uvjeta za postavljanje trošila dolazi radi:

- naknadne promjene vanjske stolarije,
- pregrađivanja i rekonstrukcije prostorije za postavljanje,
- ugradnje ventilatora koji isisavaju zrak iz prostorije za postavljanje.

Uvjeti za postavljanje plinskih trošila definirani su smjernicom Tehnička pravila za plinske instalacije, DVGW G 600, travanj 2008 (IGT izdanje srpanj 2011).

Ukoliko sumnjamo u zadovoljavajuću opskrbu zrakom za izgaranje provodimo mjerenje kojim se utvrđuje stvarno stanje opskrbe zrakom, a određeno je smjernicom Mjerno-tehnički dokaz dovoljne opskrbe zrakom za izgaranje, DVGW G 625, izdanje 1992 i 2010 (IGT izdanje 2005 i 2012).

U radu će biti prikazana praktična primjena mjerenja, odnosno "4-Pa test" proveden u dva stana gdje se sumnjalo u dovoljnu opskrbljenost zrakom za izgaranje.

Abstract

During testing gas installations, we find examples, which are different from the using requirements of gas appliance type "B".

The deviation between the guidelines and project requirements, and using gas appliances appears because:

- Changing external windows and doors,
- Rearrangements room with gas appliance,
- Installing fans (mechanical equipment for ventilation).

Setting conditions for the gas appliances are defined by Technical rules for gas installations DVGW G 600, April 2008 (IGT, published July 2011).
If there is a doubt in sufficient air supply for combustion, we conduct measurement to determine exact situation of air supply, which is specified by guideline Technically measured proof of sufficient supply with combustion air, DVGW G 625, published 1992 and 2010 (IGT published 2005 and 2012).
The aim of this paper is to describe the practical application of the measurements that are used to prove a sufficient air supply "4-Pa test" carried in two apartments where was a suspicion on sufficient air supply for combustion.

Ključne riječi: 4-Pa test, DVGW G 625, plinska trošila (vrsta "B"), dovoljna opskrba zrakom, brtvljena stolarija, ventilacijski otvori, prisilna ventilacija
Key words:
4-Pa test, DVGW G 625, gas appliances (type B), sufficient air supply, sealed external windows and doors joints, ventilation openings, mechanical ventilation

1. Uvod

U radu je prikazana praktična primjena tehničke smjernice DVGW G 625 Mjerno– tehnički dokaz dovoljne opskrbe zrakom za izgaranje [1].
Ovom smjernicom utvrđuje se stvarno stanje opskrbe plinskih trošila zrakom za izgaranje.
Smjernica se primjenjuje za dokazivanje dovoljne opskrbe zrakom plinskih trošila vrste B instaliranih u stanovima ili prostorima slične namjene.
Prije provođenja mjera za dokazivanje dovoljne opskrbljenosti zrakom za izgaranje potrebno je zadovoljiti uvjete za postavljanje i opskrbu zrakom plinskih trošila vrste B propisane u Tehničkim pravilima za plinske instalacije, DVGW G 600 [2].
Postupak za dokazivanje dovoljne opskrbljenosti zrakom za izgaranje primjenjuje se:

- u slučaju da volumen za postavljanje plinskih trošila povezan sa ostalim prostorijama koje služe za opskrbu zrakom za izgaranje ne može zadovoljiti kriterij 4 m^3/1 kW nazivne instalirane snage,
- u svrhu određivanja uzroka smetnje za slučaj kada funkcionalno ispitivanje plinskog trošila (opisano u poglavlju 11.2. DVGW G 600) ne zadovoljava,
- u svrhu dokazivanja da mehanički uređaj za odvođenje zraka iz prostora za postavljanje ne utječe na opskrbu zrakom za izgaranje i na odvođenje dimnih plinova izgaranja,
- u slučaju da sumnjamo u dovoljnu opskrbu zrakom za izgaranje.

2. Opskrba zrakom za izgaranje plinskih trošila vrste „B“

Uvjeti postavljanja i opskrbe zrakom za izgaranje definirani su Tehničkim pravilima za plinske instalacije, DVGW G 600.
Opskrba zrakom za izgaranje je zadovoljavajuća kada u prostoriju za postavljanje plinskog trošila prirodnim ili prisilnim putem ustrujava količina zraka za izgaranje od 1,6 m^3/h po 1

kW instalirane snage, a da pri tome podtlak u prostoriji za postavljanje prema vanjskoj atmosferi nije veći od 4 Pa (0,04 mbar),
Za opskrbu zrakom za izgaranje putem fuga vrijedi:

- Plinska trošila vrste B smiju se postavljati u prostorije koje imaju najmanje jedna vrata ili prozor prema vanjskoj atmosferi i volumen najmanje 4 m^3/1 kW instalirane snage plinskog trošila.
  Pri ovom uvjetu prirodnim putem ustrujava u stan količina zraka od 1,6 m^3/h po 1 kW. Ovo je bazirano na građevnoj regulativi gdje je definirano da u prirodno ventiliranom stanu / kući mora biti osigurano minimalno 0,4 izmjene zraka na sat [3].

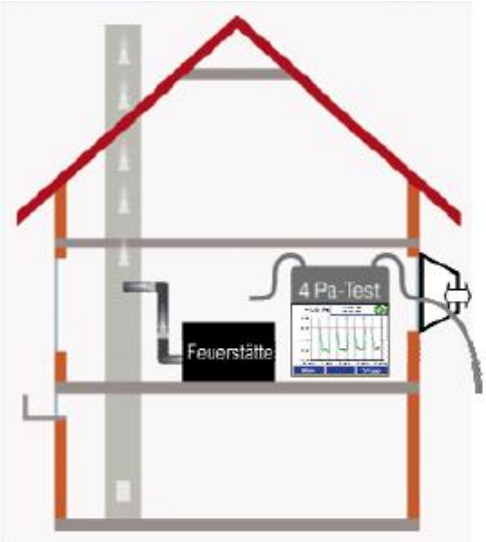
Smjernica DVGW G 625 uzima u obzir povećanu potrebu zraka za izgaranje od 1,8 m^3/h, odnosno 2 m^3/h ukoliko se mjerenje izvodi pri vanjskim temperaturama nižim od 0^oC.

3. Metodologija

Smjernica DVGW G 625 definira dva postupka mjerenja, pojednostavljeni i opširni postupak.

3.1. Pojednostavljeni postupak

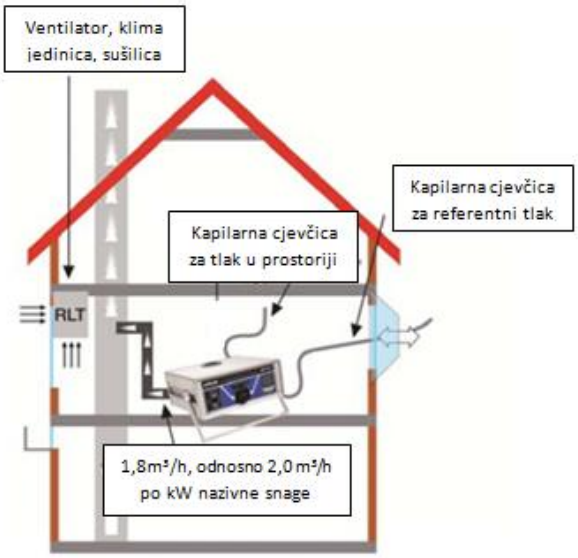
Ovaj postupak prikazan je na slici 1. i provodi se kada plinsko trošilo radi s nazivnom toplinskom snagom.
Ispituje se sigurno odvođenje dimnih plinova izgaranja i mjeri se podtlak u prostoriji postavljanja plinskog trošila koji ne smije biti veći od 4 Pa.



Slika 1. Prikaz pojednostavljenog postupka mjerenja

3.2. Opširni postupak

Ovaj postupak prikazan na slici 2. provodi se kada plinsko trošilo nije u radu i kada je otpojeno sa dimnjaka, a pri čemu je definirana količina odvedenog zraka.
Mjeri se podtlak u prostoriji nastao pri oduzimanju potrebne količine zraka za izgaranje iz prostorije putem ventilatora ugrađenog na dimnjak umjesto plinskog trošila.



Slika 2. Prikaz opširnog postupka mjerenja

Kod oba postupka mjerenje se provodi po propisanom protokolu i traje najmanje 3 minute, te se ponavlja najmanje dva puta. Rezultati mjerenja se bilježe i dokumentiraju.

3.3. Mogući izvori smetnje kod mjerenja

Ukoliko dimnjak nije ispravan mogući je povrat dimnih plinova iako podtlak u prostoriji postavljanja nije prekoračio granicu od 4 Pa.

Povremeno se može pojaviti promjena tlaka u prostoriji postavljanja plinskog trošila uslijed:

- jakog vjetra,
- meteoroloških uvjeta,
- promjene tlaka u zgradi (naglo otvaranje i zatvaranje vrata).

3.4. Važenje mjerenja

Rezultati mjerenja vrijede tako dugo dok:

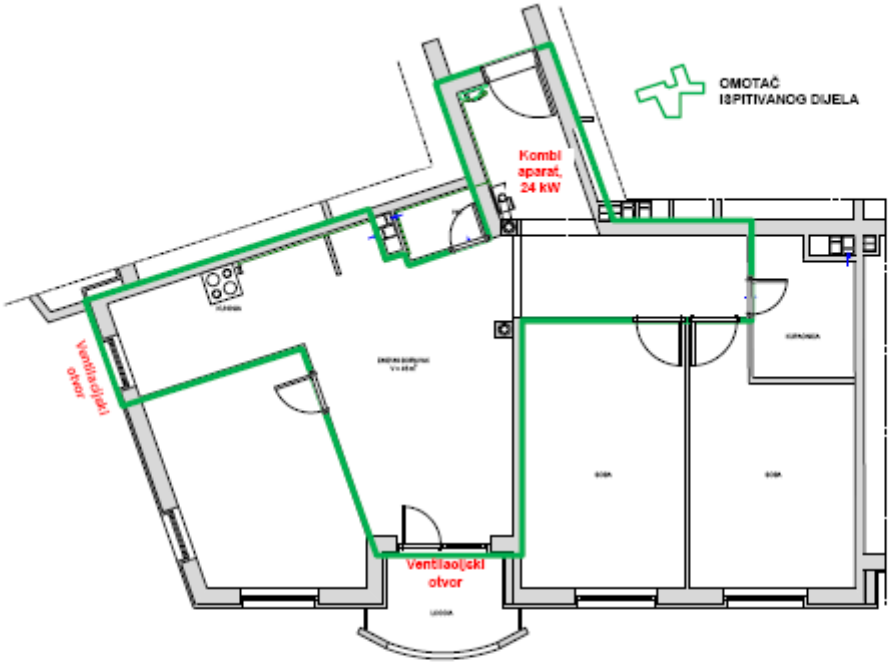
- je nepromijenjeno plinsko trošilo i dok nije zamijenjeno trošilom sa drugačijom potrebom za zrakom za izgaranje,
- ostaju nepromijenjeni ventilacijsko-tehnički utjecaji stana (prozori, vrata, rolete, otvori za ventilaciju, pregradni zidovi unutar stana, uređaji za ventilaciju i slično).

4. Mjerenja i rezultati

Razlog radi kojeg se zahtijevao mjerno-tehnički dokaz dovoljne opskrbljenosti zrakom za izgaranje je bila sumnja u dovoljnu opskrbljenost zrakom za izgaranje.Vanjska stolarija je bila brtvljena (PVC stolarija) i također nije bio zadovoljen uvjet od 4 m^3/1 kW nazivne snage plinskog trošila.

U nekim stanovima su bili ugrađeni mehanički uređaji koji odvode zrak iz stanova (nape u kuhinjama i ventilatori u kupaonama i WC-u).

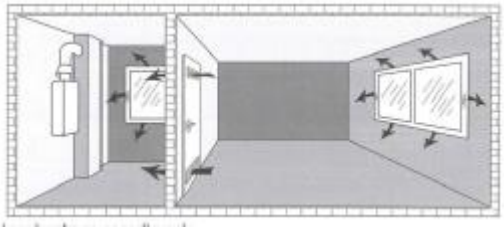
Prilikom funkcionalnog ispitivanja plinskih trošila uočen je povrat dimnih plinova pri radu napa i ventilatora.
Na slici 3. prikazan je tlocrt jednog stana u kojem se provodilo mjerenje.



Podaci o ispitivanom prostoru (Stan 09, I kat)	
Plinsko ložište	**Kombi aparat, vrsta "B", 24 kW**
Volumen ispitivanog dijela (prostorija za postavljanje plinskog ložišta vrste "B")	**85 m³**
Površina ispitivanog dijela (prostorija za postavljanje plinskog ložišta vrste "B")	34 m²
Vanjska vrata ili prozor	vrata prema lođi i vanjski prozor
Vrsta stolarije	**plastična brtvljena stolarija**

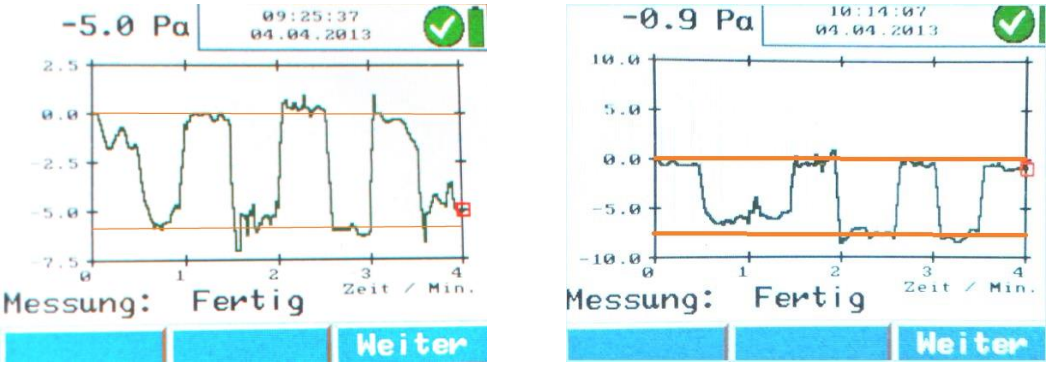
Slika 3. Prikaz stana u kojem se izvodilo mjerenje

Od korisnika plinskih instalacija tražilo se da nape i ventilatore isključe iz napajanja i da ih ne koriste, stoga nape i ventilatori nisu bili uključeni u mjerenje.
Opskrba zrakom za izgaranje plinskih trošila za koje je provedeno mjerenje je putem fuga u vanjskim prozorima i vratima kako je prikazano na slici 4.



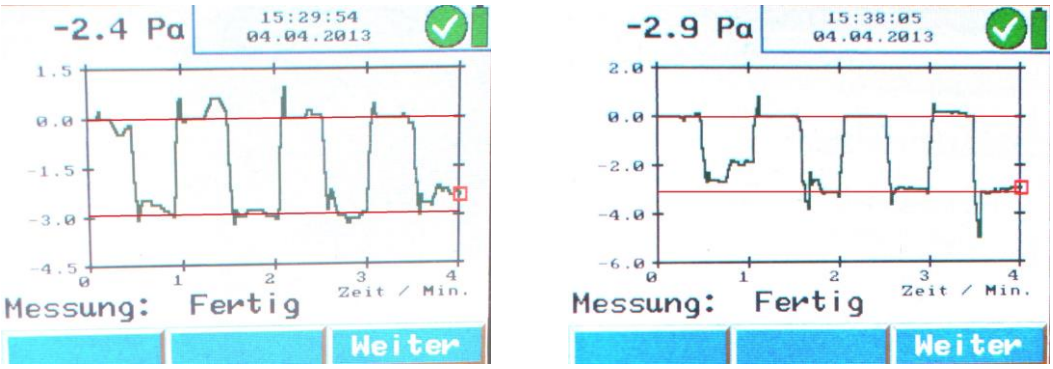
Slika 4. Dobava zraka za izgaranje putem fuga

Mjerenje je provedeno pojednostavljenim postupkom u skladu s protokolom iz smjernice DVGW G 625.
Na slici 5. prikazani su rezultati mjerenja prije osiguranja dodatne opskrbe zrakom za izgaranje i pokazuju da podtlak u prostoriji prekoračuje granicu od 4 Pa što upućuje na negativan rezultat mjerenja.



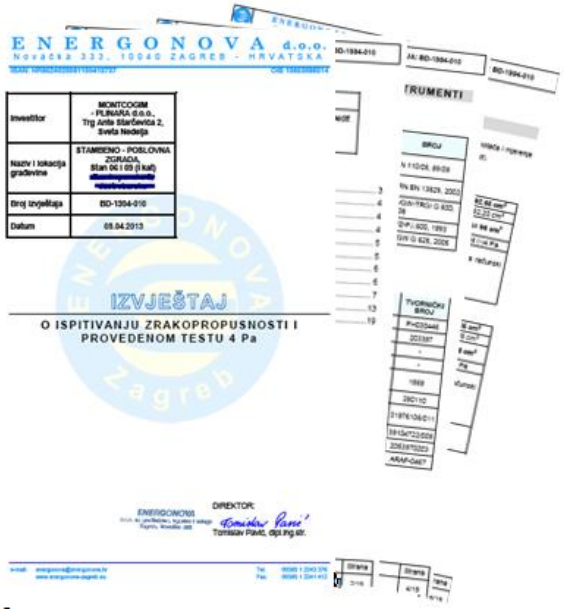
Slika 5. Negativni rezultati mjerenja

Na slici 6. prikazani su rezultati mjerenja nakon izrezivanja brtvi na vanjskoj stolariji i upućuju na pozitivan rezultat mjerenja.



Slika 6. Pozitivni rezultati mjerenja

Mjerenje je sa svim parametrima, protokolima, ograničenjima i rezultatima dokumentirano u izvještaju o ispitivanju (slika 7.).


ENERGONOVA d.o.o.
Novoska 333, 10040 ZAGREB - HRVATSKA

Investitor	MONTCOGIM - PLINARA d.o.o., Trg Ante Starčevića 2, Sveta Nedelja
Naziv i lokacija građevine	STAMBENO - POSLOVNA ZGRADA, Stan 06 i 09 (I kat)
Broj izvještaja	BD-1304-010
Datum	08.04.2013

IZVJEŠTAJ
O ISPITIVANJU ZRAKOPROPUSNOSTI I PROVEDENOM TESTU 4 Pa

DIREKTOR:
Tomislav Pavić, dipl.ing.str.

Slika 7. Izvještaj mjerenja

5. Zaključak

Mjerenja su pokazala da je sumnja u dovoljnu opskrbljenost zrakom za izgaranje plinskih trošila vrste „B“ bila opravdana.

Unatoč tomu što nije bilo povrata dimnih plinova radi prekoračenja graničnih vrijednosti od 4 Pa zahtijevalo se od korisnika da osiguraju dodatnu opskrbu zrakom za izgaranje.

Dodatna dobava zraka pokušala se osigurati ugradnjom ventilacijskih zaklopki na vanjsku stolariju kao što je prikazano na slici 8.

Slika 8. Ugradnja ventilacijskih zaklopki

Mjerenje je pokazalo da bi bilo potrebno više ventilacijskih rešetki što iziskuje povećane troškove. U dogovoru s korisnicima plinskih instalacija dobava zraka izvela se izrezivanjem brtvi na vanjskoj stolariji.

Za kraj treba naglasiti da svi sudionici od projektanata do onih u izvođenju, kontroli i održavanju plinske instalacije moraju voditi računa o dovoljnoj opskrbi zrakom za izgaranje i moraju znati tehničke uvjete koji moraju biti osigurani.

Stalno educiranje projektanata, plinoinstalatera, servisera, dimnjačara i korisnika plinskih instalacija mora biti praksa, a ne samo preporuka smjernica koje se bave plinskom strukom.

6. Literatura

[1] DVGW G 625, Mjerno–tehnički dokaz dovoljne opskrbe zrakom za izgaranje, DVGW izdanje 2010., IGT izdanje 2012.

[2] DVGW G 600, Tehnička pravila za plinske instalacije, DVGW izdanje 2008., IGT izdanje 2012.

[3] Pavić, Tomislav, 4-Pa-test Mjerno-tehnički dokaz opskrbe zrakom za izgaranje, 10. plinarski forum, Zagreb 2011.

The influence of solar radiation on the natural gas consumption forecasting

B. Soldo[1*], P. Potočnik[2], G. Šimunović[3], T. Šarić[3], E. Govekar[2]

[1]HEP-Plin Ltd., Osijek, Croatia
[2]University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Ljubljana, Slovenia
[3]University of Osijek, Faculty of Mechanical Engineering Slavonski Brod, Slavonski Brod, Croatia

[*] Corresponding author. E-mail: bozidar.soldo@hep.hr

Abstract

Forecasting natural gas consumption is a tool commonly used for balancing the supply and demand of natural gas. Many papers in this area describe models with a strong connection between weather parameters and natural gas consumption. Some authors used one weather parameter, usually outside temperature or derived variable heating degree-days, while the others also used wind speed and relative humidity as influential input variables. In this paper, the influence of solar radiation on forecasting residential natural gas consumption was investigated. Influence was tested on two data sets, namely on natural gas consumption data of the model house, and on natural gas consumption data of the local distribution company. Measurements of natural gas consumption and meteorological data were carried out through two heating seasons: 2011/2012 and 2012/2013. Various forecasting models with one day ahead forecasting horizon were compared in this study, including linear (auto-regressive model with exogenous inputs-ARX, stepwise regression) and nonlinear (neural networks-NN, support vector regression-SVR) modelling approaches. The models were compared to simple temperature correlation (TC) and random-walk (RW) models that represent a benchmark case for the model comparison. Results confirmed that solar radiation clearly influences natural gas consumption, and included as input variable in the forecasting model improves the forecasting results. Consequently it is recommended to use solar radiation as input variable in building forecasting models.

Keywords: solar radiation; neural networks; linear models; stepwise regression; support vector regression.

1. Introduction

The natural gas consumption forecasting is a tool commonly used for balancing the supply and demand of natural gas. This area is regulated by government or by natural gas supply contracts and these regulations usually demand forecasting the future consumption inside

the tolerance interval. Otherwise, penalty system is applied. Therefore local distribution companies require accurate forecasting models.

Forecasting natural gas consumption was investigated in several different areas, on world level [1], national level [2-5], on gas distribution system level [6], in commercial and residential sectors [7-10], and finally, on individual customer level [11]. The authors used various data in building forecasting models such as economic parameters, weather data, past natural gas consumption data, past energy consumption data, mathematical and engineering calculations, software simulation data, survey data of households and other various parameters, such as day of week, holidays etc. Forecasting horizon varies from a few hours ahead to a few decades ahead. A recent overview of various forecasting approaches in the field of natural gas consumption was published in [12]. Natural gas forecasting approaches can be divided in two groups with respect to the use of weather parameters as influential variables.

In the first group, forecasting without weather data, we can find a number of papers where authors did not consider the influence of weather parameters on natural gas consumption at all [1-5]. Instead of weather data they proposed various forecasting methods and other relevant input data in order to forecast natural gas consumption. Usually they forecasted natural gas consumption at national level or higher, and as input variables they used past consumption data, gross domestic product (GDP), growth rate, production rate, total ultimate recovery, cumulative production, future recoverable, etc.

In the second group of papers, forecasting with weather data, the authors investigated influence of weather conditions on natural gas consumption [6-11, 13-15]. Since the natural gas consumption in summer period is significantly lower than in winter period, it is obvious that most of the consumed natural gas in residential sector is used for space heating in cold weather. The second group of authors recognized and investigated the strong relationship between weather and natural gas consumption. The authors used weather parameters such as outside temperature or derived variable heating degree day, wind speed and relative humidity. Since the past natural gas consumption data and the weather parameters data could not provide sufficient forecasting accuracy, the authors have used a variety of additional input data in order to predict human behaviour, which also has a great influence on natural gas consumption. These human actions could be predicted by using input variables such as heating program (day or night…), working days - weekends, holidays, natural gas price, index of income, etc. These parameters, in real everyday environment, improve forecasting models and its forecasting results.

The literature overview reveals that the influence of solar radiation has not been considered yet in building forecasting models. Solar radiation influences the heat gain when passing through the glazed window parts of the building, and this effect was investigated in the several recent papers [16-18] but not in relation to natural gas consumption. The author's objective is to investigate the influence of solar radiation on improving natural gas consumption forecasting models. Two natural gas consumption systems of different scales are observed: an individual house and the residential sector of local distribution company. Various forecasting models are developed and analysed in

order to study the influence of solar radiation in improving the short-term natural gas forecasting.

This paper is organized as following: "Data" section describes the data acquisition process and presents the collected data. The objectives of this research, used models, testing procedure and performance measures are described in the next section. "Forecasting results" section presents the comparison and evaluation of obtained forecasting results with indication of the best forecasting results. Guidelines for the future research and the key findings of this research are given at the end of the paper in the "Discussion and conclusions" section.

2. Data

This study is based on weather data (outside temperature and solar radiation) and two different sets of the natural gas consumption data. The first set of natural gas consumption data is from a model house, and the second one from the local distribution company. Measurements of natural gas consumption and meteorological data were carried out through two heating seasons 2011/2012 and 2012/2013 as follows:

1) Season 1: from 6th November 2011 till 27th April 2012,
2) Season 2: from 8th November 2012 till 1th April 2013.

3.1. Weather data

Weather data were collected in a weather station with hourly reading, located at N 45° 41.170', E 18° 24.200' and 3.5 kilometers away from the model house. Weather station is located inside of the observed natural gas distribution area. Data sample from the weather station is shown in Table 1.

Table 1. Data sample of weather data (hourly data).

Date	Time	Outside Temp. (°C)	Solar Rad. (W/m^2)
5.11.2011	8:00	7.1	58
5.11.2011	9:00	9.4	189
5.11.2011	10:00	12.3	301
5.11.2011	11:00	14.9	376
5.11.2011	12:00	17.7	404

3.2. Model house data

For this research the authors created an environment with minimal human influence on natural gas consumption: the model house. The house is located at N 45° 39.720', E 18° 25.970'. It has only one floor and the heated space covers approx. 100 m^2. The model house is heated by natural gas boiler with central heating system. In order to exclude human interference as much as possible, natural gas is used only for space heating. Hot water is prepared with solar panels and extra heated with electrical energy, which is also used for cooking. Other influential parameters of the human interference on space heating, and thus on the natural gas consumption, like thermal influence of electrical appliances

(television, oven, fridge, dishwasher, lamps, microwave oven etc.), human thermal influence etc., are excluded from this research. Central heating system has a programmable unit and is programmed to heat the living space at 22°C for 24 hours a day, every day, during the whole heating season. The main objective of this particular heating regime is to collect the natural gas consumption data dependable only on weather conditions, as much as possible.

Table 2. Data sample from the model house (hourly data).

Date	Time	Consumption [m3]
5.11.2011	8:00	0.680
5.11.2011	9:00	0.190
5.11.2011	10:00	0.000
5.11.2011	11:00	0.000
5.11.2011	12:00	0.000

3.3. Local distribution company data

In the observed natural gas distribution area, the local distribution company delivers natural gas to two small cities with total of 4314 customers. There are only twelve customers with technological natural gas consumption in production process, while the other residential, small commercial and industrial customers use natural gas for space heating. Consequently, natural gas consumption in this area is highly dependent on weather conditions, and therefore very suitable for the analysis of the influence of the solar radiation on the natural gas consumption. Data sample of the natural gas consumption of the local distribution area is shown in Table 3.

Table 3. Data sample from the local distribution company (hourly data).

Date	Time	Consumption [m3]
5.11.2011	8:00	1013
5.11.2011	9:00	1407
5.11.2011	10:00	1499
5.11.2011	11:00	1295
5.11.2011	12:00	1094

3.4. Complete data prepared for analysis

Weather data, model house data and LDC data were combined into a database suitable for subsequent analysis as follows:

- The time intervals for all variables were synchronized and uniformed,
- Variables were resampled into a daily resolution:
  - natural gas consumption and solar radiation are expressed as a daily sum,
  - outside temperature is expressed as a daily average.

The combined data including the HOUSE and LDC cumulative natural gas consumption, average daily outside temperature and cumulative solar radiation are presented in Fig. 1.

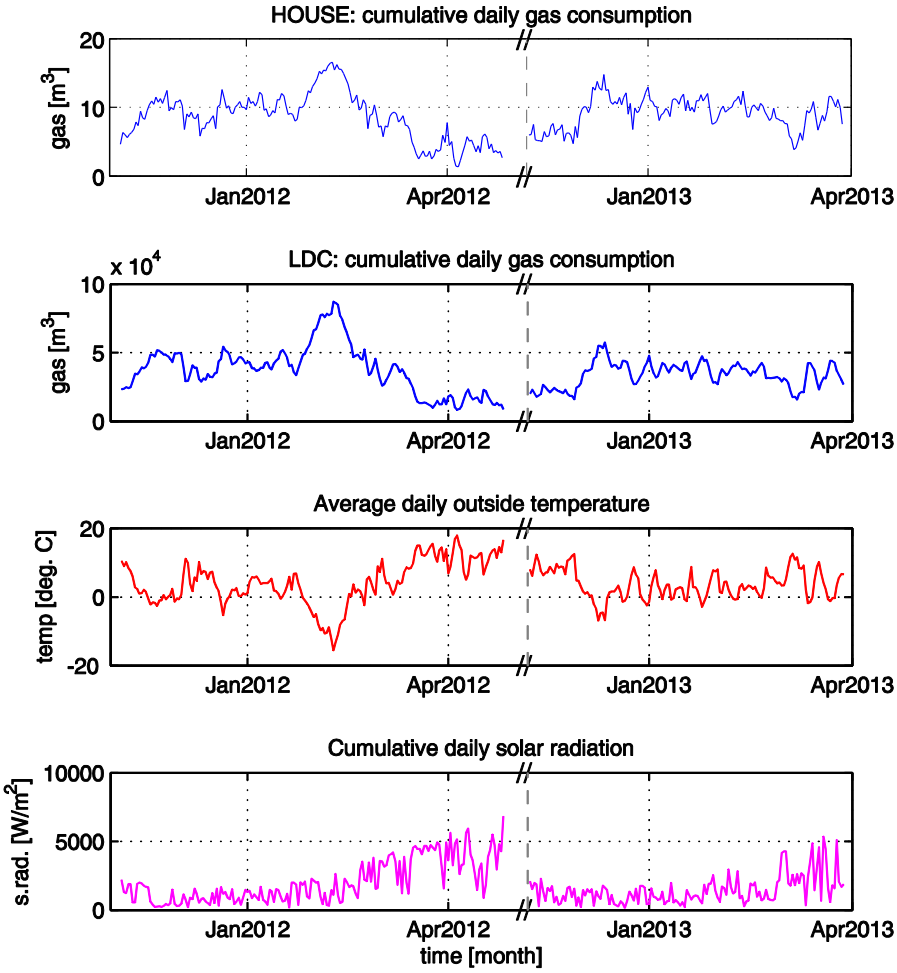


Fig. 1. HOUSE and LDC data (natural gas consumption, average daily outside temperature, and cumulative daily solar radiation) for the both heating seasons.

3. Research objectives, training and testing procedure, and performance measures

3.1. Objectives

The HEP-Plin, ltd. is a local distribution company (LDC) that is obligated to forecast and nominate the amount of the natural gas they will consume in the following day. This research has been initiated to determine whether further improvements of the existing forecasting models could be made. The main objective of this paper is to forecast residential natural gas consumption on daily basis and to determine whether the use of solar radiation can improve the accuracy of forecasting models. Forecasting horizon is one day ahead. The influence and predictive importance of solar radiation is investigated by creating two groups of models. In the first one, solar radiation is excluded from forecasting models, and in another group, it is included in forecasting models as input variable. The difference in the results of these two groups of models indicates the predictive importance of solar radiation influence in building the forecasting models. In order to achieve the given objective, the following forecasting models are examined:

- Benchmark models: temperature correlation (TC), random walk (RW).
- Linear models: auto-regressive model with exogenous inputs (ARX), stepwise regression.
- Nonlinear models: neural networks (NN), support vector regression (SVR).

3.2. Forecasting models

Temperature correlation model (TC) correlates the natural gas consumption y(t) with average daily temperature T(t): $y(t+1)=b_0+b_1\ T(t+1)$. In the random-walk (RW) model analysis, the prediction was performed as represented in the following example for an arbitrary time t: y(t+1)=y(t). Temperature correlation and random walk models are simple benchmarks models presented for comparison only. We expect any reasonable model to perform better that these two simple models. Linear models (stepwise regression, ARX) have been commonly used in solving forecasting problems [11, 19-21]. Suggested nonlinear models have also been widely used in the area of forecasting natural gas consumption as in many others areas [5, 10, 15, 22,23].The linear auto-regressive model with exogenous inputs (ARX) is defined by the equation: $A(q)\ y(t) = B(q)\ x(t) + e(t)$ with $A(q)$ and $B(q)$ denoting polynomials with respect to time-shift operator q: $A(q) = 1+a_1q^{-1}+...+a_Mq^{-M}$, and $B(q) = b_1+b_2q^{-1}+...+b_Mq^{-M+1}$. Various model orders M were tested to find the best compromise between the model's accuracy and complexity. Stepwise regression model is constructed by iterative adding and removing terms from a multilinear model based on their statistical significance in a regression [24]. The method begins with an initial model and then compares the explanatory power of incrementally larger and smaller models. At each step, the p value of an F-statistic is computed to test models both with and without a potential input. Tested inputs are iteratively added or removed from the model until the procedure converges to a locally optimal forecasting model with statistically significant input variables. Various Neural Network (NN) models [25] were examined in order to estimate the benefits of nonlinear model structures compared to linear stepwise regression and ARX models. All tested NN models were defined as feed-forward networks containing one hidden layer with sigmoid neurons and an output layer with linear activation function. NN models were trained by Levenberg–Marquardt algorithm with early stopping based on internal validation on a training data set. Support Vector Regression (SVR) is a regression formulation of Support Vector Machines (SVM) proposed by Vapnik et al. [26]. The SVR theory guarantees the solution of the optimization procedure that yields the set of support vectors (representative training examples) and their corresponding parameters. Various kernel functions can be applied in SVR formulation, and, in this paper, a popular radial basis function (RBF) kernel was applied.

3.3. Testing procedure and performance measures

In order to evaluate the generalization performance of various forecasting models, the cross-validation procedure was applied as follows:

1. Forecasting models were trained on a training data set (season 2011-2012).
2. Then the models were tested on an independent test data set (season 2012-2013).

Performance measure obtained on test data set was selected as a criterion for evaluation of model performance. Performance of forecasting models was determined by the calculation of two measures:

- correlation coefficient (R), and
- mean absolute range normalized error (e).

Mean absolute range normalized error e is expressed as an absolute difference between the actual and forecast natural gas consumption, normalized to the maximum gas consumption in the system: $e=100\ |\hat{y}-y|\ /\ \max(y)$ [%]. Error e was averaged over the training and testing sets separately, but using the same max(y). In the context of autonomous operation of forecasting models, the testing error e was chosen as a final model performance measure.

4. Forecasting results

Forecasting results obtained on training and testing data sets, for HOUSE and LDC data, are summarized in Table 4. The results are expressed through performance measures e and R. Models with label extension 'sunr' denote included solar radiation input.

Table 4. Forecasting results obtained on training and testing data sets

	HOUSE				LDC			
	training error		testing error		training error		testing error	
Model	*e* [%]	R	*e* [%]	R	*e* [%]	R	*e* [%]	R
TC	5,81	0,932	6,69	0,841	4,46	0,962	10,0	0,914
RW	5,43	0,944	6,80	0,833	3,37	0,977	5,17	0,909
Stepwise	3,78	0,972	5,38	0,900	1,49	0,996	2,75	0,989
Stepwise_sunr	3,64	0,974	4,93	0,908	1,33	0,997	2,52	0,991
ARX3	3,70	0,973	5,19	0,907	1,43	0,996	2,59	0,990
ARX3_sunr	3,52	0,975	4,78	0,915	1,28	0,997	2,25	0,992
ARX7	3,46	0,975	4,91	0,910	1,39	0,997	2,22	0,991
ARX7_sunr	3,25	0,978	4,59	0,917	1,17	0,997	2,02	0,992
MLP(3)	3,85	0,971	6,08	0,881	1,24	0,997	2,39	0,987
MLP(3)_sunr	3,68	0,974	5,92	0,881	1,22	0,997	2,27	0,991
SVM(3)	3,02	0,980	5,57	0,896	1,01	0,997	2,30	0,988
SVM(3)_sunr	2,61	0,983	5,28	0,902	0,57	0,999	2,25	0,986

The best testing results were obtained by an ARX7_sunr model that represents a 7th order linear ARX structure with included solar radiation input. The results obtained by a 3rd order models (ARX3_sunr, SVM3_sunr) show only slightly worse performance and are also a very suitable low-complexity forecasting alternative.

The comparison of models with respect to included or excluded solar radiation input is presented in Fig. 2. Results show that all forecasting models for both data sets, HOUSE and LDC, improve generalization performance on test data by using the additional solar radiation input. This confirms the predictive importance of solar radiation.

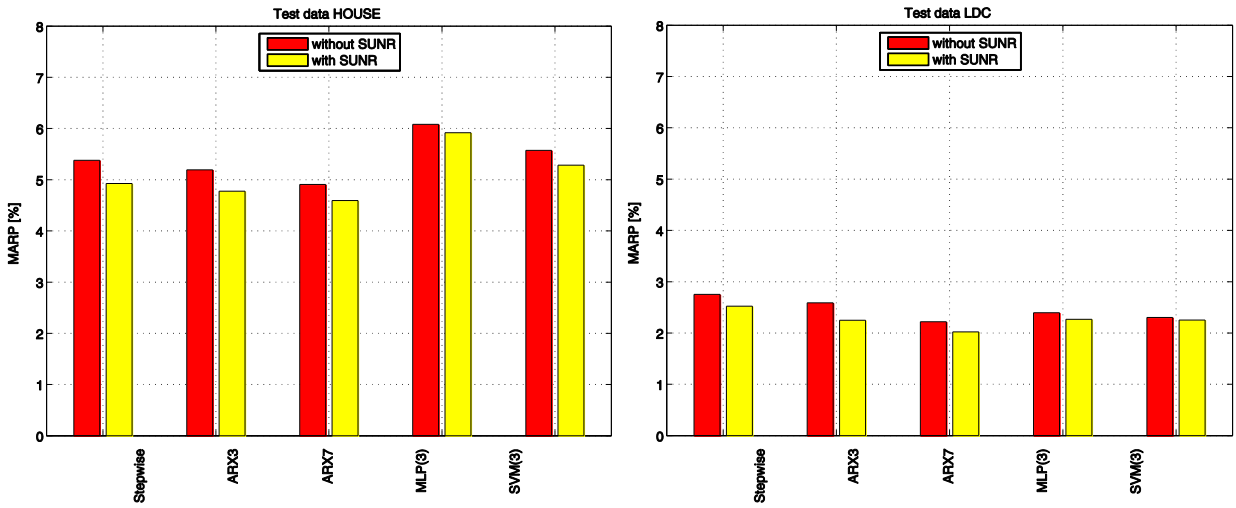


Figure 2. Comparison of models' performances without and with solar radiation

Visualization of forecasting performance is shown in Fig 3. For LDC data set, train and test forecasting results, obtained by ARX(7)_sunr model, are presented compared to measured LDC natural gas consumption. For this model, the generalization performance on test data set amounts to e = 2.02 % which is a very good accuracy for most practical natural gas forecasting objectives.

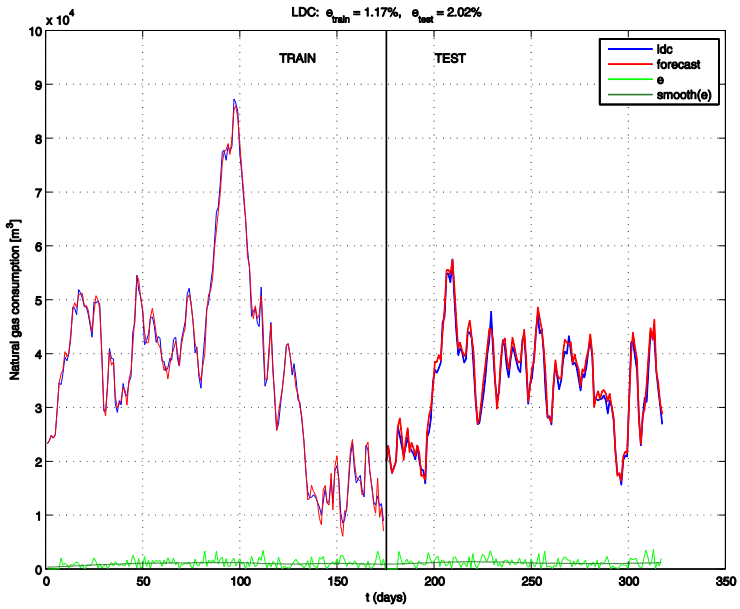


Figure 3. Forecasts of ARX(7)_sunr model on LDC data

5. Discussion and conclusions

The paper presents a novel study of possibilities of improving the natural gas forecasting by including the solar radiation as additional input to the forecasting model. The results showed that the solar radiation is a relevant input that may improve the accuracy of forecasting models. The authors could not find any report of the use of solar radiation in

building forecasting models. Based on both data sets, various linear and nonlinear forecasting models were developed and evaluated by a cross-validation procedure. Based on results, presented in this research, we can draw the following conclusions:

1. Solar radiation is recommended to be included into the residential natural gas forecasting models as it helps to improve the accuracy.
2. Comparison of linear and nonlinear models shows that nonlinear models yield smaller training errors but do not improve the generalization ability on test data.

The results of this research also open some questions that may receive attention and facilitate further research in the future:

- Solar radiation is currently not predicted by weather services, so it is difficult to use it in the real world applications.
- For the real world application, the future weather parameters should be substituted with predicted values, obtained from relevant weather forecasting institutions.

6. References

[1] Imam, A.; Startzman, R.A.; Barrufet, M.A. Hubbert - 6: Multicyclic Hubbert model shows global conventional gas output peaking in 2019 // Oil and Gas Journal, 102 (2004) 31; 20-28.

[2] Gutierrez, R.; Nafidi, A.; Sanchez, R.G. Forecasting total natural-gas consumption in Spain by using the stochastic Gompertz innovation diffusion model // Applied Energy 80 (2005), 2; 115–124.

[3] Xu, G.; Wang, W. Forecasting China's natural gas consumption based on a combination model // Journal of Natural Gas Chemistry, 19 (2010), 5; 493-496.

[4] Li, J.; Dong, X.; Shangguan, J.; Hook, M. Forecasting the growth of China's natural gas consumption // Energy, 36 (2011), 3; 1380-1385.

[5] Olgun, M.O.; Ozdemir, G.; Aydemir, E. Forecasting of Turkey’s natural gas demand using artifical neural networks and support vector machines // Energy Education Science and Technology Part A - Energy Science and Research, 30 (2012),1;15-20.

[6] Brown, Ronald H.; Kharouf, Paul; Feng, Xin; Piessens, Luc P.; Nestor, Dick. Development of feed-forward network models to predict gas consumption // IEEE International Conference on Neural Networks - Conference Proceedings Volume 2, (1994); 802-805.

[7] Potočnik, P.; Govekar, E.; Grabec, I. Short-term natural gas consumption forecasting // Proceedings of the 16th IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, ASM 2007 (2007), 353-357.

[8] Sarak, H.; Satman, A. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: A case study // Energy, 28 (2003), 929-939.

[9] Gil, S.; Deferrari, J. Generalized model of prediction of natural gas consumption // Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME, 126 (2004), 2; 90-98.

[10] Aydinalp-Koksal, M.; Ugursal, V.I. Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector // Applied Energy, 85 (2008), 4; 271-296.
[11] Brabec, M.; Konar, O.; Pelikan, E.; Maly, M. A nonlinear mixed effects model for the prediction of natural gas consumption by individual customers // International Journal of Forecasting, 24 (2008), 4; 659-678.
[12] Soldo, Božidar. Forecasting natural gas consumption // Applied Energy, 92 (2012); 26-37.
[13] Potocnik P.; Thaler M.; Govekar E.; Grabec I.; Poredos A. Forecasting risks of natural gas consumption in Slovenia // Energy Policy, 35 (2007); 4271-4282.
[14] Sabo, Kristian; Scitovski,Rudolf; Vazler,Ivan; Zekić-Sušac,Marijana. Mathematical models of natural gas consumption // Energy Conversion and Management, 52 (2011); 1721-1727.
[15] Cakir, M.T. Estimation of natural gas consumption using artificial neural network: A case study in Ankara // Energy Education Science and Technology Part A - Energy Science and Research, 28(2012);811-820.
[16] Hassouneh, K.; Alshboul, A.; Al-Salaymeh, A. Influence of windows on the energy balance of apartment buildings in Amman // Energy Conversion and Management, 51 (2010),8;1583-1591.
[17] Freire, R.Z.; Mazuroski, W.; Abadie, M.O.; Mendes, N. Capacitive effect on the heat transfer through building glazing systems // Applied Energy, 88(2011),12;4310-4319.
[18] Buratti, C.; Moretti, E. Experimental performance evaluation of aerogel glazing systems // Applied Energy, 97(2012);430-437.
[19] Aras, H.; Aras, N. Forecasting residential natural gas demand // Energy Sources 26 (2004), 5; 463-472.
[20] Smrekar, J.; Potočnik, P.; Senegačnik, A. Multi-step-ahead prediction of NOx emissions for a coal-based boiler // Applied Energy, 106(2013);89-99.
[21] Pao, H.T. Comparing linear and nonlinear forecasts for Taiwan's electricity consumption // Energy 31 (2006), 12;1793-1805.
[22] Kaynar, O.; Yilmaz, I.; Demirkoparan, F. Forecasting of natural gas consumption with neural network and neuro fuzzy system // Energy Education Science and Technology Part A - Energy Science and Research, 26(2011),2;221-238.
[23] Liu, H.; Liu, D.; Zheng, G.; Liang, Y. Research on natural gas short-term load forecasting based on support vector regression // Chinese Journal of Chemical Engineering, 12(2004),5; 732-736.
[24] Draper, N.; Smith, H. Applied Regression Analysis. New York, 1981, 2nd ed. John Wiley & Sons Inc..
[25] Haykin S, editor. Neural networks and learning machines. New York, 2009, 3rd ed. Pearson.
[26] Vapnik VN. Statistical Learning Theory. New York, 1998, Wiley.

Analiza doprinosa solarnih kolektora u toplovodnom sustavu u Slavonskom Brodu

Analysis of thermal solar collector hot water systems contribution in Slavonski Brod

A. Ravlić[1], V. Galzina[2,*], R. Lujić[2]

1Brod-plin d.o.o. Tome Skalice 4, Slavonski Brod, Hrvatska – Društvo energetičara Slavonski Brod, Županjska 33, Slavonski Brod, Hrvatska
[2]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: vgalzina@sfsb.hr

Sažetak
U ovom radu dana je analiza doprinosa toplovodnih solarnih kolektora u toplovodnom sustavu energetskog postrojenja u Naselju Andrije Hebranga u Slavonskom Brodu poslije djelimične rekonstrukcije koja je izvedena 2008. na nekim kotlovnicama.

Abstract
In this paper, an analysis of the contribution of thermal solar collector hot water systems, energy facilities in the resort Hebrang Slavonski Brod after partial reconstruction which is derived 2008th at some plants.

Ključne riječi: analiza, toplovodna solarno postrojenje, kotlovnice, modernizacija

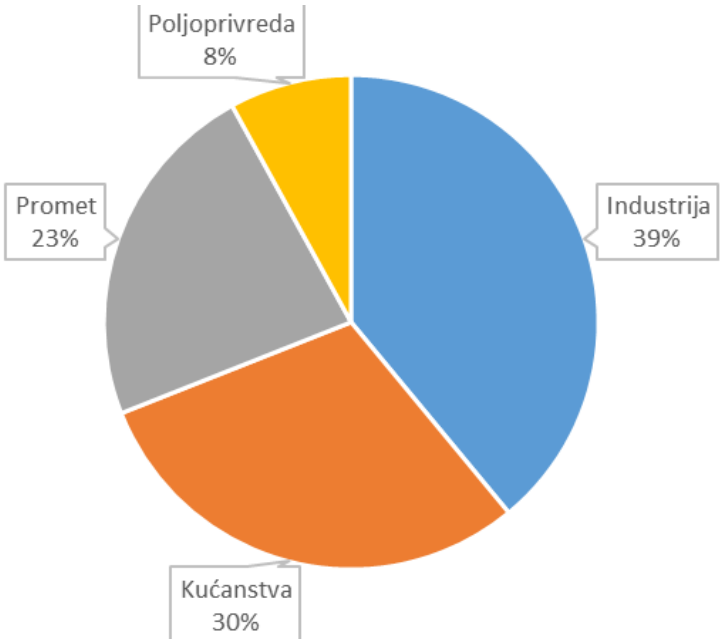
Key words: analysis of thermal contribution, solar termal collector, heating system, modernization

1. Uvod

Do početka sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća energenti fosilnog porijekla (nafta i zemni plin) su bili relativno jeftini. Sredinom sedamdesetih proizvođači nafte su znatno i naglo podigli cijene sirovina što je prouzročilo lančano poskupljenje svih ostalih energenata. Tek tada se globalno počinje intenzivnije raditi na razradi i primjeni alternativnih izvora energije (geotermalnih, sunca, vjetra, plime i oseke i sl.). Današnji trendovi cijena fosilnih goriva te raspoloživost istih su nepovoljni te prihvaćeni međunarodni ugovori kao što je onaj iz Kyota iz 2003. [1], kao i interni dokumenti EU snažno govore o nužnim promjenama u promišljanju i korištenju mogućih izvora energije. Korištenje novih generacije bio-goriva, povećanja kapaciteta vjetro-energana te demonstracija korištenja novih izvedbi solarnih energana uz izgradnju *pametne* europske elektroenergetske mreže, kako je to prikazano u inicijativi EU Energija 2020 [2], odnosno

Energetska karta EU 2050 [3]. Republika Hrvatska (RH) je energetski relativno visoko ovisna zemlja dok s druge strane kao nova članica EU mora slijediti zacrtane inicijative što je samo po sebi veliki izazov. S jedne strane imamo vrlo skromne rezerve ugljena, male rezerve nafte i zemnog plina, ograničene mogućnosti korištenja vodnog potencijala, dok su s druge strane kapaciteti alternativnih izvora energije kao što su sunce, vjetar, bio-masa, otpad, plima i oseka, valova, toplinskih potencijala tla ili mora slabo ili nikako iskorišteni. Ovo je svakako veliki izazov i potencijali u budućnosti kako za energetsku politiku države tako i za inicijative mali, srednjih i velikih ulagača u energetskom sektoru. Drugi važan podstrek korištenju alternativnih izvora energije su ekološki razlozi kao bitna sastavnica suvremenog promišljanja korištenja energije. Prema podacima iz [4] u RH od ukupne utrošene energije potrošnja je distribuirana prema vrstama potrošača kako je prikazano na slici 1. važan podatak je također i kako se prema [4] za potrebe kućanstava za grijanja sanitarne vode koristi oko 9% energije, a samo grijanje prostora čak 65% ukupne utrošene energije.

Iako se sunčeva energija može koristiti za raznovrsne namjene: izravna ili akumulirana eksploatacija električne energije korištenjem fotoelektričnih ćelija (rasvjeta, kućanski aparati i alati, …) u radu se razmatra specifična primjena – zagrijavanje sanitarne vode i to prvenstveno kao ispomoć plinskim kotlovima kao glavnim izvorom toplinske energije za ovu namjenu u promatranom objektu. Kako je zemni plin relativno najskuplji energent svaki dio energije koji se može priskrbiti iz drugih izvora je vrijedan, pogotovo ako se radi o alternativnim izvorima energije što se ovim radom i želi ukazati.



Slika 1. Razdioba potrošnje energije prema potrošačima

2. Solarni kolektori u toplovodnom sustavu

Upotreba sunčeve energije u termo tehnici donosi prednosti jer praktično je sunčeva energija neiscrpna i besplatna, ekološki je prihvatljiva te vrlo pogodno za korištenje u nisko temperaturnim procesima što je i priprema tople vode (PTV). Naravno, upotreba ovog izvora energije ima i svoja vrlo jasna i nepromjenjiva ograničenja kao što su mala gustoća toplinskog toka (do 1 kW/ m²), neravnomjeran raspored po geografskom položaju, promjenjiv intenzitet tijekom dana, promjenjiv intenzitet tijekom različitih godišnjih doba, promjenjiv intenzitet uslijed promjene vremenskih prilika (oblaci, oborine) te relativno visoka cijena u usporedbi s konvencionalnim izdašnijim izvorima energije. Karakteristika potreba PTV za energijom je to što je ona tijekom godine relativno stalna, za razliku od potrebom energije za grijanje prostora koja je najveća upravo kada je i intenzitet sunčevog zračenja najniža [6, 7]. Vrlo zanimljiva je primjena sustava koji eksploatiraju sunčevu energiju za zagrijavanje vode u zatvorenim i otvorenim bazenima kao dopuna konvencionalnim sustavima zagrijavanja PTV.

Općenito se sustave za prikupljanje sunčeve energije možemo podijeliti na: pasivne i aktivne. Pasivni sustavi ne sadrže posebnu opremu već se direktno koriste za prikupljanje dozračenog toplinskog toka koji se prenosi provođenjem i slobodnom konvekcijom.

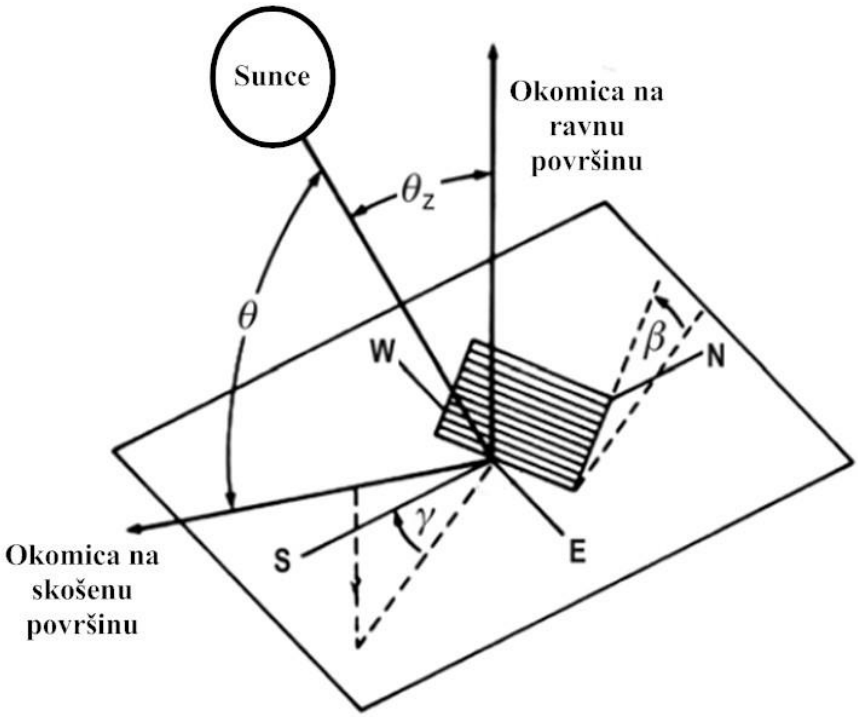
Aktivni sustavi su složeniji i općenito se sastoje od slijedećih komponenti: solarnih kolektora, akumulacijskih spremnika, izmjenjivača topline, cirkulacijskih crpki, ventilatora, ekspanzijskog sustava, pripadajućih razvoda i armatura, upravljačkih i regulacijskih elemenata.

Solarne kolektore dijelimo na cijevne i pločaste a primijenjeni tip će ovisiti o namjeni i lokaciji gdje svaka vrsta ima svoje prednosti i nedostatke. Cijevni solarni kolektori pokazuje nešto bolja svojstva kod lošijih eksploatacijskih uvjeta kao što su smanjeni intenzitet zračenja ili kod većih temperaturnih razlika okoliša [4, 5].

2.1. Raspoloživa solarna energija

Meteorologija općenito daje podatke o mjeri ukupnog sunčevog zračenja dok nam je za praktičnu primjenu u sustavima za eksploataciju sunčeve energije potrebniji podatak o zračenju na kosu površinu. Sunčani kolektori se najčešće izvode kao skošene površine i to s orijentacijom prema jugu kako bi se u fiksiranom položaju ostvarila optimalna iskoristivost površine. Ukupno sunčevo zračenje sastoji se iz direktnog, difuznog i reflektiranog zračenja. Direktno zračenje je ono koje dopire izravno na plohu iz prividnog smjera sunca. Prolaskom kroz zemljinu atmosferu dio sunčevog zračenja se raspršuje na molekule dušika, kisika i drugih plinova koje su malene u usporedbi s valnim duljinama zračenja, te na aerosolima, kapljicama vode, prašini i drugim česticama koje svojim promjerom približno odgovaraju valnim duljinama zračenja. Dio tog raspršenog sunčevog zračenja dolazi na plohu kao difuzno zračenje ili zračenje neba. Osim direktnog i difuznog zračenja na plohu dolazi i reflektirano zračenje okolnih reflektirajućih površina. Zbog eliptičnosti putanje Zemlje oko Sunca, intenzitet ukupnog zračenja mijenja se od

minimuma 1311 W/m² u srpnju do maksimuma 1401 W/m² u siječnju. Srednja vrijednost sunčevog zračenja koja dolazi na vanjski rub atmosfere naziva se sunčeva (solarna) konstanta što iznosi 1355 W/m² ± 1,5 %. Od ozračene energije na vanjski rub atmosfere samo dio prodire i do zemljine površine. Za područje Hrvatske može se uzeti da u idealnim vremenskim prilikama ljeti (sunčano vrijeme, bez oblaka) na površinu tla dolazi zračenjem od Sunca maksimalnog 1 kW/m² toplinskog toka. Zbog praktičnosti i veće iskoristivosti sunčevi kolektori se postavljaju skošenu u odnosu na okomicu na ravnu površinu Zemlje. Definicije kutova za skošenu površinu izloženu sunčevom zračenju je prikazana na slici 2. dok su osnovne jednadžbe za izračun sunčevog zračenja na skošenu površinu dane u tablici 1. prema [5].

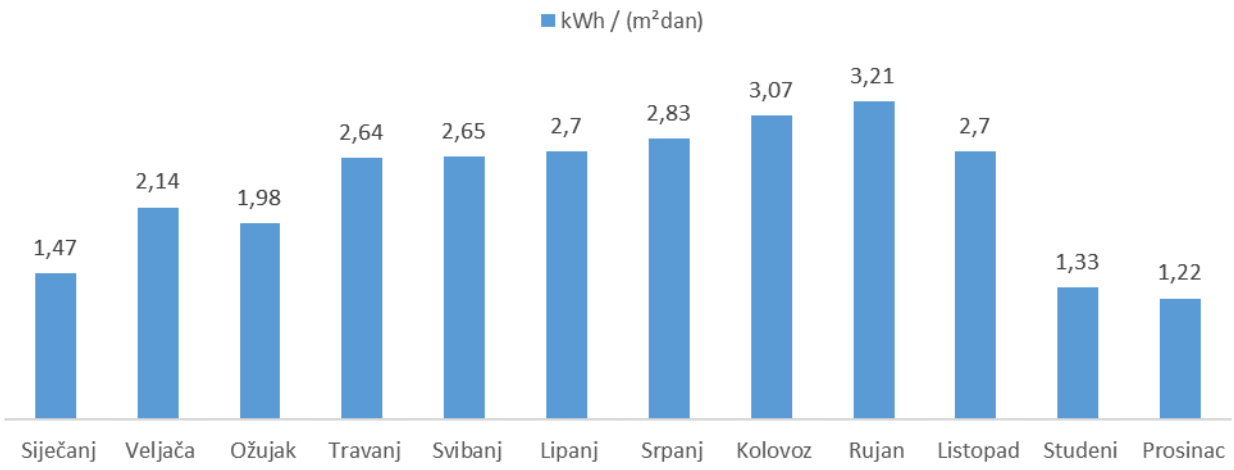


Slika 2. Definicije kuteva za skošenu površinu izloženu sunčevom zračenju

Tablica 1. Osnovne jednadžbe za izračun zračenja na izloženu skošenu površinu

Opis zračenja	Oznaka	Izraz
Difuzno	$I_{d\beta}$	$I_{b\beta} = I_b \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$
Izravno	$I_{b\beta}$	$I_{d\beta} = I_d \frac{1+\cos\beta}{2}$
Reflektirano	$I_{r\beta}$	$I_{r\beta} = \rho \cdot I \cdot \frac{1-\cos\beta}{2}$
Ukupno	I_β	$I_\beta = I_{b\beta} + I_{d\beta} + I_{r\beta}$

Na slici 3. je prikazan graf srednje dnevne sunčane ozračenost okomite površine orijentirana prema jugu za kontinentalnu RH (Zagreb) koji može poslužiti kao orijentir za potencijal iskoristive energije za instalirane kolektore u danoj orijentaciji.

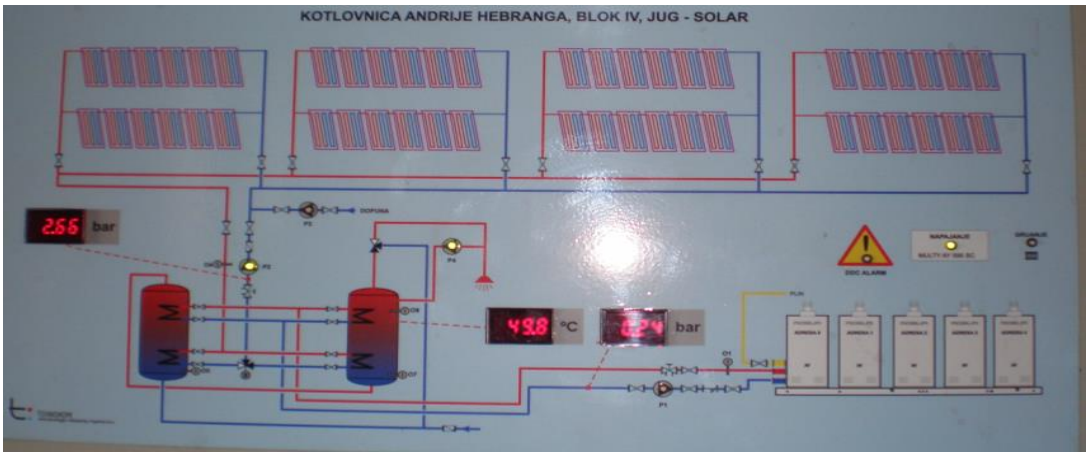


Slika 3. Srednja dnevna ozračenost okomite površine orijentirana prema jugu, kontinentalna Hrvatska, Zagreb

3. Toplovodni sustav Naselja Andrije Hebranga (Blok 4 – Jug), Slavonski Brod

Promatrani solarni kolektori ugrađeni u toplovodni sustav Naselja Andrije Hebranga (Blok 4 – Jug) isključivo služe za zagrijavanje PTV tijekom cijele godine. Solarno postrojenje se sastoji od 50 solarni ploča po 2 m², a ugrađeno je u prosincu 2007.g. te smješteno na krovu stambene zgrade. Solarni kolektori zagrijavaju dva spremnika od po 1500 litara za servisiranje oko 150 stambenih jedinica naselja. U uvjetima bez dovoljno sunčeve energije (velika naoblaka, snijeg, led, magla, noć) sustav se prebacuje na rad s konvencionalnim plinskim kotlovima, koji su fizički smješteni pored kolektora. Slika 4. prikazuje instalirane kolektore ukupne površine 100 m² na krovu stambene zgrade. Dok je na slici 5. prikazana slijepa shema sustava nadzora rada instaliranih solarnih kolektora.

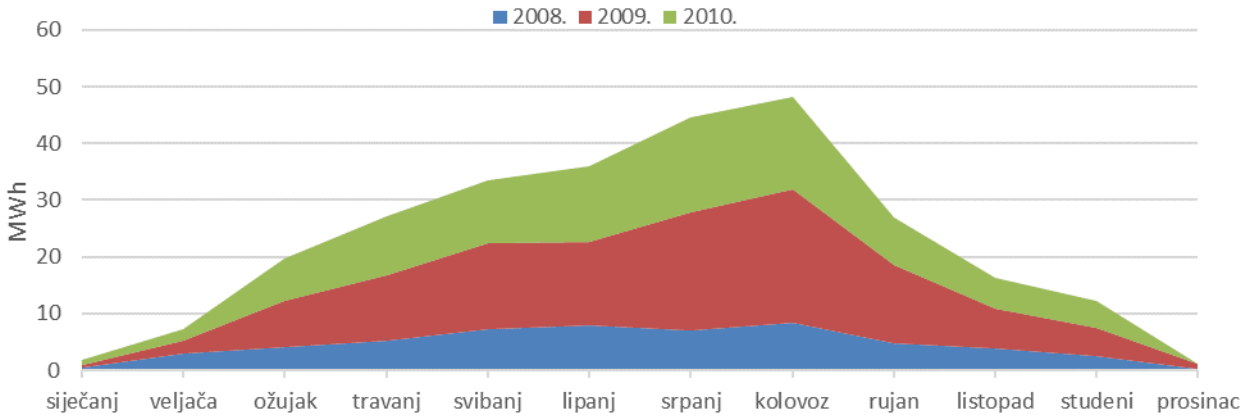
Slika 4. Solarni kolektori (100 m²) na krovu stambene zgrade Naselja Andrije Hebranga (Blok 4 – Jug), Slavonski Brod



Slika 5. Solarni kolektori (100 m²) na krovu stambene zgrade Naselja Andrije Hebranga (Blok 4 – Jug), Slavonski Brod – slijepa shema nadzora rada

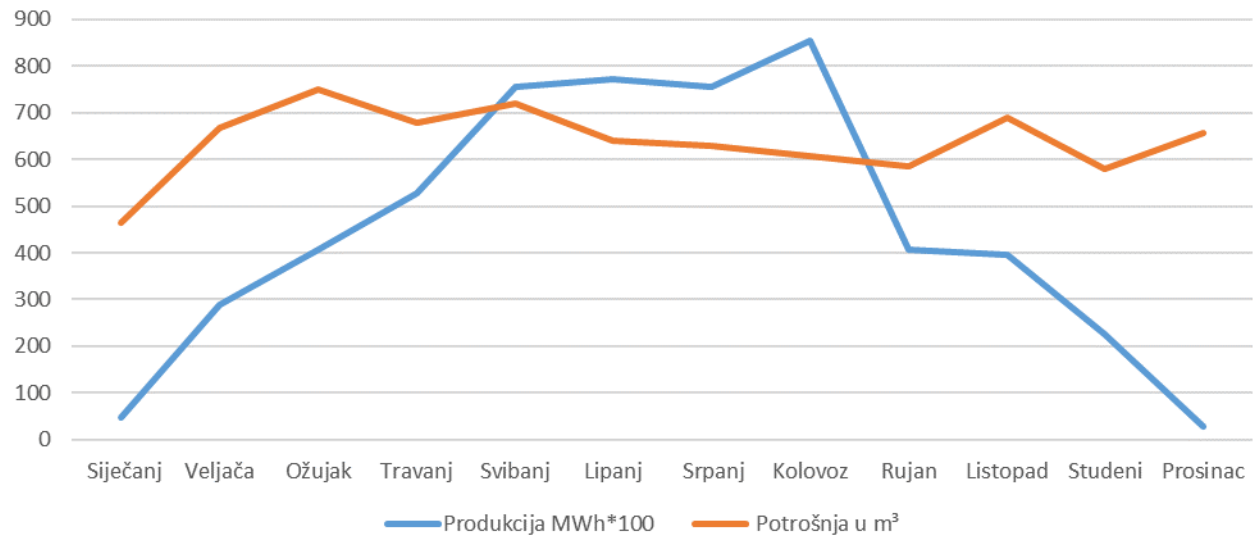
4. Analiza rezultata ostvarenih solarnim kolektorima u toplovodnom sustavu Naselja Andrije Hebranga, Slavonski Brod

Korisni rad sustava i produkcije toplinske energije ostvarene solarnim kolektorima promatrana po ostvarenim MWh po pojedinim mjesecima u tri godine praćenja prikazan je na slici 6. (za godine 2008., 2009. i 2010.). Vidljiv je progresivni trend porasta produkcije od prve godine kako je sustav svake godine posluživao veći broj potrošača te otklanjanjem početnih nedostataka.



Slika 5. Produkcija toplinske energije u MWh solarnih kolektora Naselja Andrije Hebranga (Blok 4 – Jug), Slavonski Brod – u periodu od tri godine po mjesecima

Kada usporedimo potražnju/potrošnju PTV i produciranu toplinsku energiju za jednu kalendarsku godinu po mjesecima vidljiva je stalnost potrošnje PTV tijekom godine što potvrđuje početnu hipotezu dok je potrošnja dodatne toplinska energija koja se proizvodi korištenjem plina u ljetnim mjesecima niža (slika 6. prikazuje upravo ove podatke).



Slika 6. Usporedba potrošnje PTV u m^3 i produkcija toplinske energije u MWh*100 solarnih kolektora Naselja Andrije Hebranga (Blok 4 – Jug), Slavonski Brod – u periodu od jedne godine po mjesecima

5. Zaključak

Iako je cijena energije i povrata investicija koje se mogu ostvariti korištenjem obnovljivih izvora energije, kao što je to prikazani slučaj korištenja solarne energije za grijanje potrošne tople vode, pokazano je kako ostvarivi rezultati nisu zanemarivi. Ekološki učinci su očigledni kao i dostupnost izvora dobrim dijelom godine. Sunce kao izvor energije nije podložno promjenama cijena, koje su kako je svima poznato kod fosilnih goriva su redovito na više, niti je vjerojatna njegova nestašica. Veliko poboljšanje ovoga sustava bi se vjerojatno moglo ostvariti promjenjivim kutovima skošenja kolektora prema mjesecima korištenja ili čak i dnevnim zakretima što je svakako jedan od smjerova poboljšanja ovog sustav. Ovim poboljšanjima bi se vjerojatno povećala iskoristivost sustava i dodatno smanjila potrošnja fosilnih goriva u pripremi potrošne tople vode.

6. Literatura

[1] Kyoto protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations, 1998.
[2] European Commission. A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the Regions, Brussels, COM (2011) 21
[3] European Commission. Energy Roadmap 2050, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the Regions, Brussels, COM (2011) 885/2

[4] Ravlić, Anto. Analiza ekološke eksploatacije energetskog postrojenja, Sveučilište Josipa Jurja Strosmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, (diplomski rad), 2010.
[5] Kolaković, Igor; Dović, Damir. Simulation of the solar domestic hot water system operation // *Tehnički vjesnik*, 16(2009), 1; 3-9. (ISSN 1330-3651)
[6] Interna dokumentacija tvrtke Toplina d.o.o., dokumentacija o održavanju topovodnog sustava Naselja Andrije Hebranga, Slavonski Brod, 2003.
[7] Interna dokumentacija tvrtke Toplina d.o.o., dokumentacija o održavanju topovodnog sustava Naselja Andrije Hebranga, Slavonski Brod, 2010.

Otpad – OIE/EE
Waste – RE/EE

J. H. Bajramović[1,]*, T. Grizelj[2]

[1]GRIZELJ d.d. Sarajevo, Bosna i Hercegovina
[2]ITG Wärmetechnik GmbH, Wien, Austria

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

Sažetak:
Priroda je čovjeku podarila mnogo energetskih izvora koji su svakako obnovljivi i iskoristivi. U prirodi otpad ne postoji jer je sve što je prirodno obnovljivo, oporabljivo i iskoristivo.
Otpad koji nastaje različitim postupcima čovjekovog rada mora se smatrati materijom koja je obnovljiva ili iskoristiva jer zbog kvantifikacije i kvalifikacije odbačene materije ima visoku kaloričnu vrijednost koja je znatan benefit koji nastaje termičkim tretmanom otpada.
Otpad koji je definitivno obnovljivi izvor energije termičkim tretmanom moguće je postići kroz procese termovalorizacije, kogeneracije CHP, trigeneracije CHCP i poligeneracije ovisno o vrsti otpada koji se tretira i mogućnosti konzuma energije.
Metod termički tretman izvodi se uz energent zemni plin ili LPG čime se postiže ekološka prihvatljivost ali i ekonomska profitabilnost, što je popraćeno energetskom efikasnošću.
Otpad sa zemnim plinom ili LPG-om je jedinstven energent koji se reformiše u energiju: toplotnu, rashladnu i električnu, koja postiže kontinuiranu održivost i jako dobru cijenu na tržištu.

Ključne riječi: otpad, energent, energetska efikasnost, obnovljivi izvor.

Abstract:
The nature gave man a lot of energetic sources wich are renewable and exploitable.
In nature, there is no waste because everything what is natural, it is also renewable, usable and recyclable.
The waste wich is made by different processes of human work, it must be be considered as material that is renewable. The waste has hige caloritie value, and that is significaunt benefit generated by thermal treatment of waste. Becouse of quantification and qualification of the discarded material.
The waste which is definitely a renewable energy source, it is possible to achieve through processes of termovalorization, cogeneration CHP, trigeneration CHCP and poligeneracije. It depends on the type of waste to be treated and consumption of energy.

Method of heat treatment is performed with natural gas fuel or LPG, which achieves economic acceptability, but also economic profitability. It is accomponied by energy efficiency.
The wastes with the natural gas or with the LPG is a unique energy wichis being reformed into energy: heat energy, cooling energy and electric energy. Those energies achieves continuous sustainability and olso very good market price.

Keywords: waste, energy, energy efficiency, renewable energy source.

1. Uvod

Otpad je svaka tvar koja ima svojstva zbog kojih se vlasnik mora ili želi riješiti. Nastaje kao rezultat raznih ljudskih aktivnosti: u domaćinstvima, u raznim gospodarskim djelatnostima te posebno u industriji.
Gospodarenje otpadom je ekološki, energetski i ekonomski razumno upravljanje otpadom od njegova nastanka, sakupljanja, transporta, iskorištavanja i tretmana do konačnog zbrinjavanja, a sve u skladu s pripadajućom i važećom zakonskom regulativom.
Strateškim planiranjem gospodarenja i korištenja otpada isti se može gledati kao obnovljivi izvor energije (OIE) obzirom na kontinuitet nastanka, energetsku vrijednost i mogućnost održivog korištenja.
Tretman otpada obuhvata niz postupaka pomoću kojih se mijenjaju fizikalna, kemijska ili biološka svojstva otpada u cilju dobivanja sekundarnih sirovina, energije ili materije higijensko – sanitarno ispravne i ekološki podobne za krajnje zbrinjavanje, kao i ekonomski profitabilno.
Za pravilo i održivo planiranje, obradu i zbrinjavanje otpada potrebno je poznavati njegovo prijeklo, vrstu i sastav, kao i ukupnu kvantifikaciju i kvalifikaciju otpada.

2. Otpad

Prioritetni postupci upravljanja otpadom su:
1.Sprječavanje / smanjenje nastajanja
2.Baliranje, privremeno (sezonska) ili trajno inaktiviranje iz prirode
3. Recikliranje / ponovno korištenje
4. Termički tretman
• Stabiliziranje, neutaliziranje
• Incineracija sa rekuperacijom energije
4. Odlaganje (landfilling)

1 - Sprječavanje / smanjenje nastajanja
Ovaj proces podrazumijeva svođenje na otpadne materije na minimum odnosno sprječavaje nastajanja otpada na mjestu nastanka.

2 – Recikliranje i ponovno korištenje

Ovaj proces podrazumijeva preradu pojedinih sastojaka radi ponovnog korištenja kao sirovine ili kao izvora energije u proizvodnji toplinske, rashladne i električne energije.

3 – Termički tretman
Proces tretmana otpada koji se ne može reciklirati i ponovno koristiti, stabilizira, neutralizira termičkim procesima ili incinerira u svrhu dobijanja energije i smanjenja volumena primarne materije.

4 - Odlaganje (landfilling) (baliranje – inaktiviranje, primarno i li trajno)
Odlaganje materija na određeno područje pod sigurnim uslovima koji dugoročno promatrano za okoliš je najnepoželniji proces, iako nažalost još uvijek vrlo često korišten.

Za pravilno postupanje s otpadom potrebno je poznavati njegova glavna svojstva:

- fizikalna
- kemijska
- biološka
- energetska

FIZIKALNA SVOJSTVA

• gustoća i sadržaj vlage
• veličina čestica
• kapacitet polja
• hidraulična propusnost
• čvrstoća

KEMIJSKA

Da bi se odredila pravilna tehnologija za ponovno korištenje, recikliranje i termički tretman otpada, potrebno je što točnije poznavati njegova kemijska svojstva:
Okvirni sastav otpada (% m/m)
• sadržaj vlage
• udjel volatilnih sastojaka
• sadržaj ugljika
• udjel negorivih sastojaka (pepela).
Vlaga smanjuje iskoristivi dio energetske vrijednosti otpada. Sadržaj ugljika i volatilnih sastojaka čine gorivi dio materijala, povećavaju njegovu energetsku vrijednost.
Elementarana hemijska analiza (% m/m)
- sadržaj ugljika (mC)
- sadržaj vodika (mH)
- sadržaj kisika (mO)
- sadržaj sumpora (mS)

- sadržaj dušika (mN)
- sadržaj vlage (mW)
- sadržaj pepela (mA)

U tablici 1. prikazan je osnovni kemijski sastav kroz maseni udjel u suhom uzorku komunalnog otpada.

Tablica 1. Kemijska svojstva nekih vrsta otpada

Sastojak	Maseni udjel u suhom uzorku (% m/m)					
	Ugljik	Vodik	Kisik	Dušik	Sumpor	Pepeo
Hrana	48	6	38	2,5	0,5	5
Papir i karton	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Plastika	60	7	23	-	-	10
Staklo	0,5	0,1	0,4	do 0.1	-	99
Metali	5	0,6	4,3	0,1	-	90
Tekstil	55	7	30	5	0,2	3
Prašina / prljavština	26	3	2	0,5	0,2	68

Izvor: Gerard Kiely, Environmental Engineering, Mc Graw-Hill Int. Edtion

BIOLOŠKA SVOJSTVA

Biološka svojstva otpada važna su za definiranje tehnologije biološke obrade u cilju proizvodnje energije ili iskoristivih produkata. Biološka obrada otpada može se izvoditi u aerobnim ili anaerobnim uslovima.

Neki organski dijelovi otpada nepovoljni su za procese biološke transformacije (plastika, guma, koža i drvo), što zavisi o njihovim sastojcima (masnoće, ulja, proteini, lignin, celuloza, sastojci topivi u vodi).Općenito, porastom sadržaja lignina u nekoj tvari, smanjuje se njena biorazgradivost. U tablici 2. Prikazan je primjer biorazgradivosti za nekoliko vrsta materijau komunalnom otpadu.

Tablica 2. Biorazgradivost nekih vrsta otpada

Sastojak	Udjel volatila (%)	Udjel lignina u odnosu na volatile (%)	Biorazgradivost (%)
Hrana	7-15	0,4	0,82
Novinski papir	94	21,9	0,22
Uredski papir	96	0,4	0,82
Karton	94	12,9	0,47
Vrtni otpad	50-90	4,1	0,72

Izvor:: Gerard Kiely, Environmental Engineering, Mc Graw-Hill Int. Edtion

Energetska vrijednost (kJ/kg) otpada ogleda se u:
- donja toplinska vrijednost (Hd)
- gornja toplinska vrijednost (Hg)

Tablica 3. Okvirni sastav i energetska vrijednost nekih vrsta otpada:

	SASTOJCI (% m/m)				ENERGETSKA VRIJEDNOST (MJ/kg)		
Vrsta otpada	Vlaga	Volatili	Ugljik	Ne-gorivi dio (pepeo)	Prirodni uzorak	Osušeni uzorak	Osušeni uzorak bez negorivog (bez pepela)
					Donja toplinska vrijednost (H_d)	Topl. vrijednost suhi dio (H)	Gornja topl. vrijednost za suhi gorivi dio (H_g)
Hrana miješana	70	21	3,6	5,0	4,2	13,9	16,7
Masnoće	2	95	2,5	0,2	37,4	38,4	39,1
Voće	79	16	4,0	0,7	4,0	18,6	19,2
Meso	39	56	1,8	3,1	17,6	28,9	30,4
Papir razni	10,2	76	8,4	5,4	15,7	17,6	18,7
Novine	6	81	11,5	1,4	18,5	19,7	20,0
Karton	5,2	77	12,3	5,0	26,2	27,1	27,4
Plastika razna	0,2	96	2	2	32,7	33,4	37,1
Polietilen	0,2	98	<1,0	1,2	43,4	43,4	43,9
Polistiren	0,2	99	0,7	0,5	38,0	38,1	38,1
Poliuretan	0,2	87	8,3	4,4	26,0	26,0	27,1
PVC	0,2	87	10,8	2,1	22,5	22,5	22,7
Tekstili razni	10	66	17,5	6,5	18,3	20,4	22,7
Vrtni otpad	60	30	9,5	0,5	6,0	15,1	15,1
Drvo razno	20	68	11,3	0,6	15,4	19,3	19,3
Metali				~100	nema	nema	nema
Staklo				~100	nema	nema	nema
Otpad iz domaćinstva	15-40	40-60	4-15	10-30	**10-12**	**14-16**	**18-20**
Otpad iz kancelarija	10-30				**11-13**	**15-17**	**19-21**

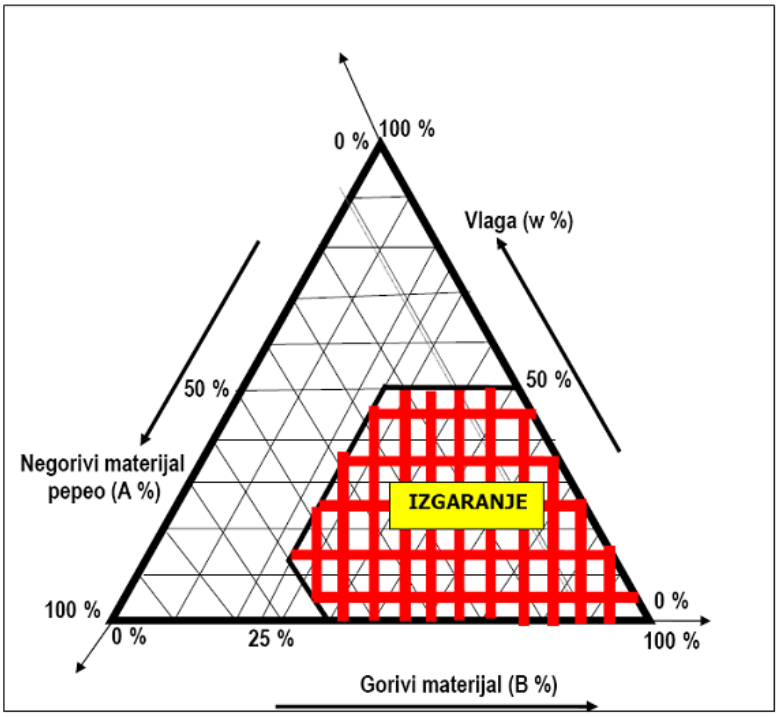
Izvor: Gerard Kiely, Environmental Engineering, Mc Graw-Hill Int. Edtion

3. Energetsko iskorištenje obnovljivog izvora energije – otpad

Otpad koji je definitivno obnovljivi izvor energije termički tretiran procesima kogeneracije CHP/termovalorizacije, trigeneracije CHCP i poligeneracije osigurava energetsko iskorištenje i ekonomsku profitabilnost kroz ekokolški prihvatljiva postrojenja i procese.

Vrste otpada koje se mogu energetski iskoristiti su različitog porijekla: kompozitni, medicinski, životinjski, industrijski, mulj...
Otpad uz energent zemni plin ili LPG je jedinstven energent koji se transformira u energiju: toplotnu, rashladnu i električnu, koja postiže kontinuiranu održivost i jako dobru cijenu na tržištu. Projekcija se radi prema fizikalnom, kemijskom, biološkom i energetskom sastavu otpada, te prema kvantifikaciji i kvalifikaciji.
Da bi otpad mogao biti efikasno termički tretiran treba biti:
- sadržaj vlage w < 50 %
- sadržaj negorivih dijelova A < 60 %
- sadržaj gorivih dijelova B > 25 %

što je prikazano kroz Tanner-ov trokut, slika 1.:



Izvor: Prof. dr. sc. Z. Prelec INŽENJERSTVO ZAŠTITE OKOLIŠA (Porijeklo i osobine otpada)

Slika 1. Tanner-ov trokut

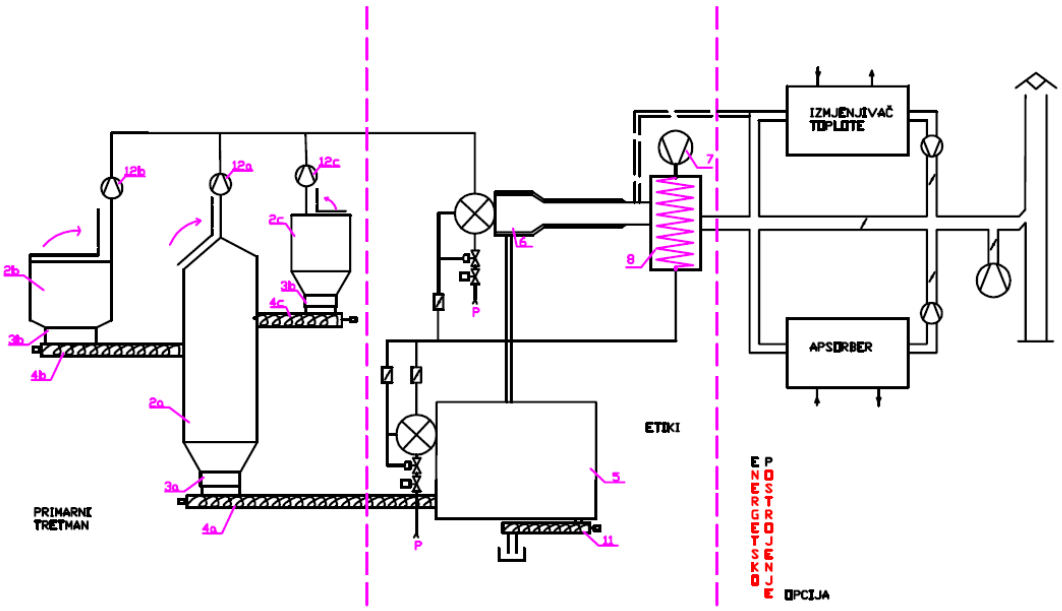
Termičkim tretmanom procesom incineracije i ko-incineracije u kogenerativnim, trigenerativnim i poligenerativnim postrojenjima tretirana materija pri temperaturama > 860 ºC pretvara se u pepeo koji ukoliko je inertan može se koristiti kao nasipni materijal, emisije su kontrolisane, a osnovni proizvodi su toplotna, rashladna i električna energija, prvenstveno za industrijske potrebe, ali i za daljinsko grijanje i hlađenje stambenih, komercijalnih i industrijskih objekata.

4. Postrojenje za energetsko iskorištenje otpada

Nakon primarne selekcije i reciklaže, otpad koji se ne može ponovno iskoristiti tretira se termičkim tretmanom u svrhu dobijanja energije (toplinske, rashladne i električne), ovisno o kvantifikaciji i kvalifikaciji otpada.

Termički tretman otpada procesom incineracije i ko – incineracije primarnu materiju dovodi na frakciju pepela, što je volumensko smanjenje za > 90 % primarne materije, a vreli zrak se energetski iskorištava.

U osnovi postrojenje čine prvenstveno silosi za spremanje otpada, zatim mlin/šreder za usitnjavanje otpada, štoker za doziranje, komora za turbo incineraciju, komora za turbo ko-incineraciju, utilizator, a kao opcija projektira se nadogradnja energetskog postrojenja, što je prikazano slici br. 2.



Slika 2. Postrojenje za termički tretman otpada procesom turbo incineracije i turbo – koincineracije

Radi efikasnijeg tretmana materija se usitnjava na frakcije ≈ 50 mm koje se planiranim doziranjem ubacuju u komoru za turbo incineraciju gdje se tretirani otpad dovodi do frakcije pelela. Temperaturni režim u komori je > 860 ºC – 1100 ºC (1250 ºC).
U komori za turbo ko – incineraciju emisije polutanata se tretiraju pri temperaturama > 1100 ºC – 1400 ºC (1530 ºC), gdje je obavezna retencija minimalno 2 sekunde.
Nakon turbo-koincineratora instalira se utilizator - energetski izmjenjivač topline koja dolazi iz turbo ko-incineratora ulazne temperature 1100 ºC – 1400 ºC (1530 ºC), i rekuperira se sa svježim zrakom ulazne temperature 15 ºC, kako bi se temperatura < 450 ºC koristila na plamenicima u komori za incineraciju, turbo inceneraciju i turbo ko-incineraciju za energetski efikasniji termički tretman.
Ovisno o energetskom bilansu koji predstavlja kvalitet i kvantitet otpada, kao i konzumnim tehnološkim potrebama korisnika projektira se izmjenjivač toplote, toplovodni/vrelovodni/visokotlačni za proizvodnju tople ili vrele vode kao i pare potrebne za proizvodnju tople tehnološke vode i električne energije.
Apsorber za proizvodnju rashladne energije koja se koristi u samom postrojenju za hlađenje spremnika (predtretman), te za druge tehnološke procese.

Za rad postrojenja utrošak pomoćnog energenta zemnog gasa ili LPG-a je svega 13 %. Postrojenje je popraćeno sa automatizovanom opremom za upravljanje, kontrolu, korekcije, nadzor i monitoring, koje garantira sigurnost i pouzdanost u eksploataciji, a time i emisiju polutanata bez boje, okusa i mirisa čime se štiti zrak, voda i tlo, kao i korektan nivo buke.

Benefiti kroz koje se ogleda održivost ovakvog postrojenja su prvenstveno zaštita životnog ambijenta kroz rješenje „problema“ odlaganja i zbrinjavanje otpada, zatim kroz emisiju polutanata bez boje, okusa i mirisa, te pepeo koji nastaje a koji ovisno o vrsti otpada koja se termički tretira najčešće je inertan i može se koristiti kao nasipni materijal.

5. Zaključak

Predstavljeno postrojenje za energetski efikasno iskorištenje otpada kao obnovljivog izvora energije u potpunosti je novi koncept, koji vrši transformaciju otpada u energiju i na taj način štiti se životni ambijent od neželjenog odlaganja otpada i kontaminacija, a emisije su potpuno kontrolirane obzirom na režim rada postrojenja i automatizaciju superiorne tehnologije. Postrojenje otpad koristi kao obnovljivi izvor energije kroz energetsku efikasnost inicira održivost kompletnog sistema.
Ovakvo postrojenje se može promatrati kao higijensko sanitarna jedinica koja doprinosi ekološkim uvjetima života, ali i ekonomski profitabilna obzirom na nove proizvode dobivene transformacijom otpada.
Ekološki, energetski i ekonomski benefit ogleda se u zaštiti životnog ambijenta kroz iskorištenje energije za dobrobit čovjeka kroz grijanje i/ili hlađenje stambenih, komercijalnih i industrijskih objekta.

6. Literatura

[1] Naučno - istraživačka dokumentacija. ITG Wärmetechnik GmbH, Wien Austria.

Primjena GIS-a u području infrastrukturnih objekata - plinovoda
Application of GIS in the field of infrastructure objects - pipeline

P. Viduka[1,*]

[1]HEP-Plin d.o.o., Osijek, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: predrag.viduka@hep.hr

Sažetak
Geoinformacijski sustav (GIS) je sustav za upravljanje prostornim podatcima i svojstvima pridruženih njemu. Sam sustav ima velike prednosti pred klasičnim načinom vođenja evidencije, budući da objedinjuje grafički prikaz plinovoda i baze podataka koje su povezane sa njim. U samom radu dan je model distribucijske plinovodne mreže s prikazom objekata, njihovim relacijama, topološkim odnosima, geometrijskim prikazom te atributima. Također su navedeni primjeri vizualizacije i analize podataka koje je moguće provesti i u drugim programima koji imaju mogućnost preuzimanja pojedinih elemenata iz baza podataka.

Abstract
Geographic Information System (GIS) is a system for managing spatial data and associated properties to him. The system has great advantages over conventional methods of keeping records, since it combines the graphical representation of the pipeline and databases that are associated with it. In the paper, a model of the distribution of the gas network depicting objects, their relations, topological relations, geometric representation and attributes. It also provides examples of visualization and data analysis that can be implemented in other programs that have the ability to download individual elements from a database.

Ključne riječi: geoinformacijski sustav, baze podataka, topologija.

1. Uvod

Ovaj rad koncipiran je u dva dijela. U prvom je prikazana teorijska osnova rada s bazama podataka gdje je težište stavljeno na izradi modela prostornih podataka.
U drugom, praktičnom dijelu rada, obrađen je dio distribucijske plinovodne mreže grada Belog Manastira na kojem je geodetski snimljena plinovodna mreža prevedena u bazu podataka.
Samim radom prezentirane su neke od mogućnosti korištenja GIS-a, ali su dane i sugestije vezano za modernizaciju evidencije katastra vodova.
Naglasio bih da je pri izradi ovoga rada osim komercijalnih, korišten i niz programa otvorenoga koda - što je veoma bitno u vrijeme ove recesije.

2. Teorijske osnove modeliranja prostornih podataka

GIS je, u najstrožem smislu gledano, računalni sustav sposoban za integraciju, spremanje, uređivanje, analiziranje i prikazivanje informacija. U općenitijem smislu GIS je "pametna karta" koja dopušta korisnicima stvaranje interaktivnih upita (istraživanja koja stvara korisnik), analiziranje prostornih informacija i uređivanje podataka. Tehnologija GIS-a razvila se iz dva neovisna područja: sa jedne strane digitalna kartografija i CAD alati, a sa druge sustavi za upravljanje bazama podataka (npr. Oracle). Ključ za uspostavu tehnologije za potrebe donošenja odluka je integracija tj. objedinjavanje tehnika prostornih analiza i digitalnih prostornih podataka, s računalnom tehnologijom.
Radi međusobnih odnosa pojedinih dijelova distribucijske plinovodne mreže treba definirati prostorni položaj mreže, ali i objekata na njoj (zatvarači, distribucijske redukcijske stanice, sakupljači kondenzata i sl.). Međusobni odnos objekata, ali i objektnih podataka, u prostoru definira se topologijom. Općenito razlikujemo tri tipa topologije - čvornu, mrežnu i poligonsku topologiju.
Čvorna topologija definira međusobni odnos čvorova (točkastih objekata - kao što su zatvarači, sakupljači kondenzata i sl.).
Mrežna topologija opisuje odnose u linearnoj mreži pomoću lukova i čvorova (magistralni i distribucijski plinovodi, elektrodistribucijska mreža, vodovodna i kanalizacijska mreža i sl.).
Poligonska topologija određuje poligone koji predstavljaju zatvorena područja kao što su katastarske čestice, granice jedinica lokalne samouprave, županijske granice i slično [1].
Upotrebom topoloških podataka može se relativno brzo definirati i analizirati odnose među prostornim podatcima, istovremeno analizirati više podataka (ili uvjeta), te formirati novu topologiju kombiniranjem više njih istovremeno.

Za upravljanje velikom količinom podataka (grafičkih i atributnih) potrebno je kreirati baze podataka. Konvencionalni sustavi baza podataka razvijeni su i uspješno se primjenjuju uglavnom za upravljanje velikim skupovima podataka u poslovnim i administrativnim, tzv. standardnim aplikacijama. U posljednje su vrijeme, mnoga istraživanja u domeni baza podataka, usmjerena na potporu baza podataka za tehničko-znanstvene, tzv. nestandardne aplikacije. Pod nestandardne aplikacijske domene svrstavamo: računalom podržana projektiranja (CAD), geoinformacijske sustave (GIS), multimedijske sustave, aplikacije u medicini, biologiji, kemiji itd. U opsegu potrebnom za razumijevanje

specifičnosti baza prostornih podataka koriste se u pravilu tri modela: objektno-orijentirani, objektno-relacijski i polustrukturirani modeli podataka. Navedeni modeli pogodni su za izlaganje najvažnijih aspekata prostornih baza podataka jer imaju sljedeća svojstva:

- jasno razgraničenje logičkih i fizičkih aspekata upravljanja podatcima, posebice u procesu projektiranja baza podataka, postavljanja upita i promjena podataka u bazi
- strukturalnu jednostavnost pogodnu za različite tipove korisnika podataka u bazi koja omogućuje komuniciranje između korisnika na temelju jedinstvenog i svima prihvatljivog modela
- upitni jezici u kojima se upiti i promjene podataka odnose na skupove podataka, nasuprot jezicima u kojima su predmet i rezultat upita pojedinačni podatci
- veoma razvijena formalna, matematička teorija, bez koje je nezamisliv pravilan pristup mnogim važnim aspektima baza podataka.

U ovom radu korištene su objektno-orijentirane baze podataka, kao i modeli, budući da imaju veliku prednost koja se očituje u boljim performansama kada su u pitanju složeni objekti i složene relacije. Ta prednost ogleda se u tome što nema potrebe za razbijanjem velikih objekata kako bi se spremili u tablice, a zatim ponovno sastavljali u trenutku izvršavanja uz uporabu sporih operacija spajanja. Općenito, objektno-orijentirane baze imaju bolju navigacijsku kontrolu nad upitima jer su pokazivači vezani uz objekte. Treba napomenuti da se osobita pažnja, kod izrade objektno-orijentiranog modela i programskih rješenja, treba posvetiti vizualizaciji modela. Danas je vrlo raširena vizualizacija putem UML-a (Unified Modeling Language).

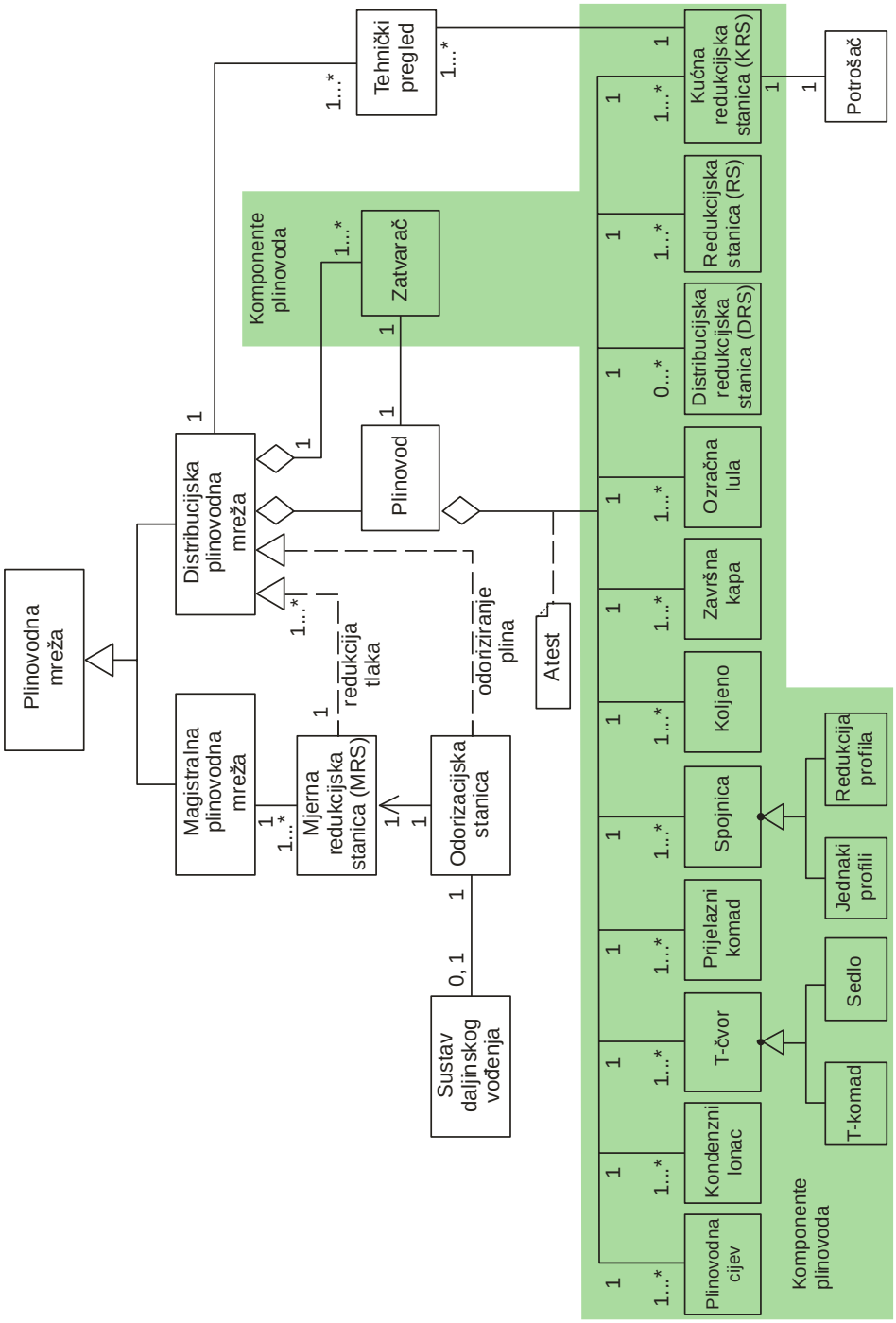
UML je grafički jezik koji služi za specificiranje, vizualizaciju, konstrukciju i dokumentiranje objektno-orijentiranih programskih rješenja. Modeliranje je bitno za bolje shvaćanje sustava koji se izgrađuje i često se koristi radi pojednostavljenja i mogućnosti ponovne iskoristivosti dijelova tog istog sustava. Postoje četiri osnovne relacije pri modeliranju UML-om, a to su: ovisnost, asocijacija, generalizacija i realizacija.
Relacija ovisnosti - semantička je relacija između dva objekta u kojoj promjena u u jednom (neovisnom) objektu može utjecati na semantiku drugog (ovisnog objekta). Relacija asocijacije - strukturalna je relacija koja opisuje skup veza između objekata (relaciju između cjeline i njezinih dijelova). Treći tip, generalizacija predstavlja relaciju u kojoj se objekti specijaliziranih elemenata (tzv. djeca) mogu zamijeniti objektima generaliziranih elemenata (tzv. roditelja). Na taj način sve osobine koje vrijede za klasu koja je "nadtip", vrijede i za klasu koja je "podtip". Četvrti tip, realizacija semantička je relacija između objekata, gdje jedan objekt specificira stanje koje drugi objekt garantira izvršiti [2].

Osim UML-a za izradu modela koristio sam i tehniku objektno-orijentiranog modela za geografske aplikacije (OMT-G). Tehnika OMT-G-a uključuje alate za definiranje procesa transformacija, alternativne prikaze koji omogućavaju, između ostalog, višestruko modeliranje i prezentiranje; podržava različite topološke strukture, bolji pregled objekata te prostornih odnosa. Modeliranje geografskih podataka zahtijeva preciznije modele koji su sposobni pratiti semantiku geografskih podataka nudeći pri tome bolje mehanizme

apstrakcije. Tako gledano, geografski pojmovi kao što su geometrija i topologija, važni su u određivanju prostornih odnosa između objekata [3].

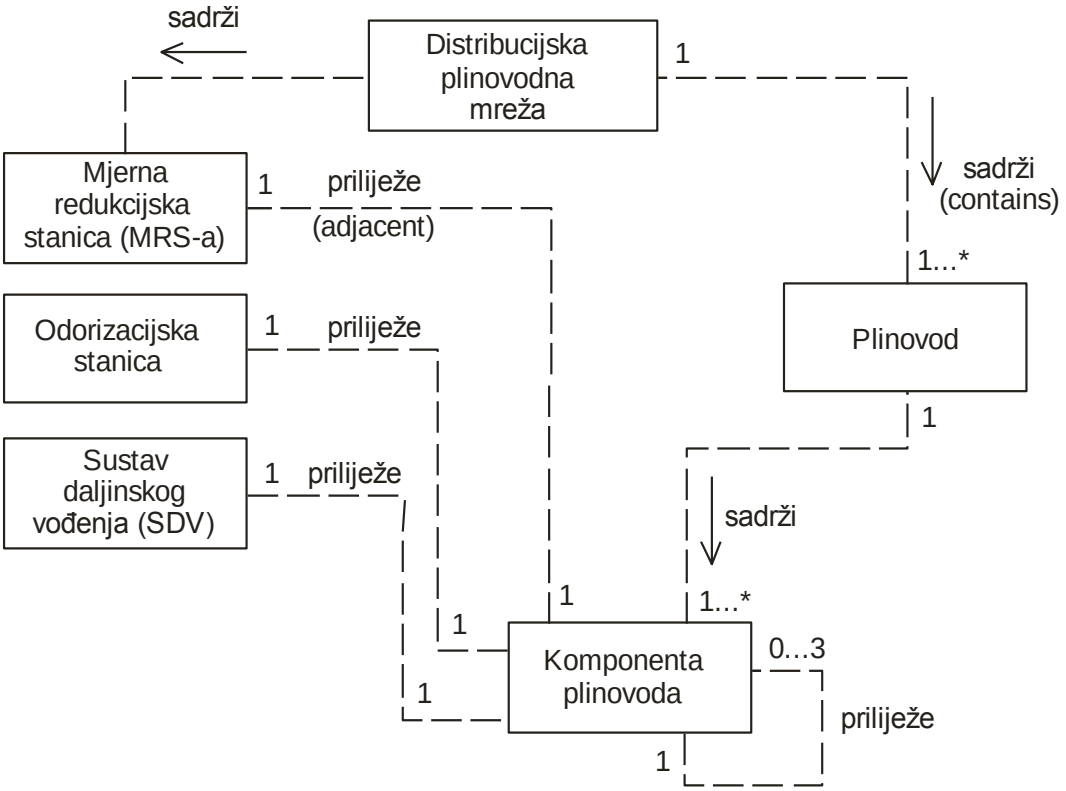
3. Modeliranje distribucijske plinovodne mreže

Pri izradi modela distribucijske plinovodne mreže prikazana je mreža dijela naselja grada Belog Manastira. Korištene su obje navedene metode za modeliranje (UML i OMT-G) u skladu sa ranije spomenutim relacijama (slika 1).



Slika 1. Semantički prikaz pojedinih objekata na plinovodu

U kratkim crtama objasnit ću semantički prikaz objekata na plinovodu. Plinovodna mreža dijeli se općenito na magistralnu i distribucijsku. Magistralni plinovodi završavaju na mjernim redukcijskim stanicama, na mjestima na kojima distributeri plina (između ostalih i HEP Plin d.o.o. Osijek), preuzimaju plin i vrše njegovu distribuciju. U sustavu distribucijske plinovodne mreže nalazi se niz komponenti čija je osnovna svrha sigurnost i pouzdanost u opskrbi krajnjih potrošača. Kako bi sustav radio besprijekorno, sve komponente koje se ugrađuju u distribucijsku plinovodnu mrežu moraju imati ateste, a prije puštanja mreže u rad, potrebno je napraviti tehnički pregled iste. Također se prilikom priključenja svakog potrošača radi pregled priključnog voda, kao i instalacija prema trošilima, a sve u okviru tehničkog pregleda potrošača sa svrhom ispravnog rada trošila i osobne sigurnosti navedenih.
Ovdje ću još naznačiti prostorne veze pojedinih objekata na plinovodu (zatvarači, kondenzni lonci, završne kape, spojnice, redukcijske stanice, ozračne lule i sl.) s distribucijskim plinovodom. Navedeni su i tzv. kardinalne brojeve (broj višestrukih veza prema pojedinim objektima mreže), kao i prostorne veze među objektima (slika 2).



Slika 2. Prostorni prikaz dijelova plinovodne mreže

4. Implementacija modela

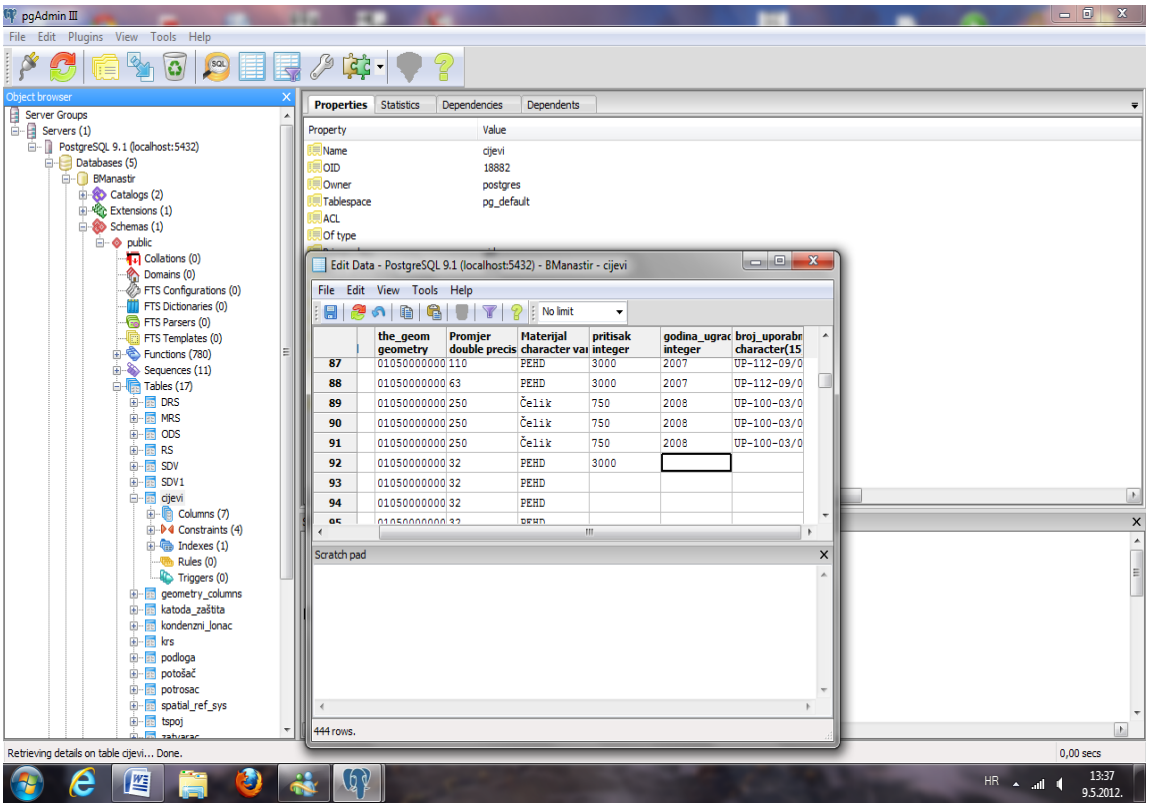
Kreiranje baze prostornih podataka najopsežniji je dio implementacije GIS-a. Na temelju modela prikazanog na slici 1 pojedinim dijelovima plinovodne mreže dodijelio sam atribute i prikazao ih u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz objekata plinovodne mreže i njihovi atributi

Objekti	Atributi
plinovod	distribucijski, magistralni, vrsta materijala, promjer, pritisak, godina ugradnje, broj uporabne dozvole
mjerna redukcijska stanica (MRS)	naziv, izlazni tlak, broj izlaznih linija, podatci o ugrađenim plinomjerima, fotografije
distribucijska redukcijska stanica (DRS)	naziv, ulazni tlak, izlazni tlak, kapacitet protoka plina, podatci o ugrađenim regulatorima, godina izgradnje, broj uporabne dozvole, fotografije
redukcijska stanica (RS)	broj RS-e, ulazni tlak RS-e u milibarima, izlazni tlak RS-e u milibarima, adresa, zaporni ventil (tip, proizvođač, materijal priključka), regulator (tip, proizvođač, tvornički broj, zadnja godina baždarnog žiga), fotografije
kućna redukcijska stanica (KRS)	broj KRS-e, ulazni tlak KRS-e u milibarima, izlazni tlak KRS-e u milibarima, adresa, broj mjernog mjesta (MM), broj energetske suglasnosti (ES), zaporni ventil (tip, proizvođač, materijal priključka), regulator (tip, radni tlak plinomjera u milibarima), plinomjer veličina G (vrsta plinomjera, proizvođač plinomjera, tvornički broj plinomjera, zadnja godina baždarnog žiga), fotografije
odorizacijska stanica (ODS)	naziv, tip odorizatora, veličina odorizatora, ormarić s upravljačkom jedinicom, ormarić s mjernim mjestom, fotografije
sustav daljinskog vođenja (SDV)	naziv, oznaka, tehnički podatci, fotografija
zatvarač (ZV)	broj ZV-a, adresa, vanjski promjer u milimetrima, materijal, tip zatvarača, godina ugradnje, ulice koje zatvara, fotografije

kondenzni lonac (KL)	broj KL-a, adresa, vanjski promjer u milimetrima, materijal, godina ugradnje, datum ispuštanja kondenzata, fotografije
potrošač	ime i prezime, OIB, JMBG, MB, mjesto i adresa stanovanja, broj mjernog mjesta (MM), broj energetske suglasnosti (ES), angažirani kapacitet ES m^3/h, zaporni ventil (tip, proizvođač, materijal priključka), regulator (tip, radni tlak plinomjera u milibarima), plinomjer veličina G (vrsta plinomjera, proizvođač plinomjera, tvornički broj plinomjera, zadnja godina baždarnog žiga), datum tehničkog pregleda, prijavljena trošila, stanje računa
spojnica, završna kapa prijelazni komad, koljeno, T-čvor	vrsta materijala, promjer
ozračna lula	promjer radne cijevi, promjer proturne cijevi

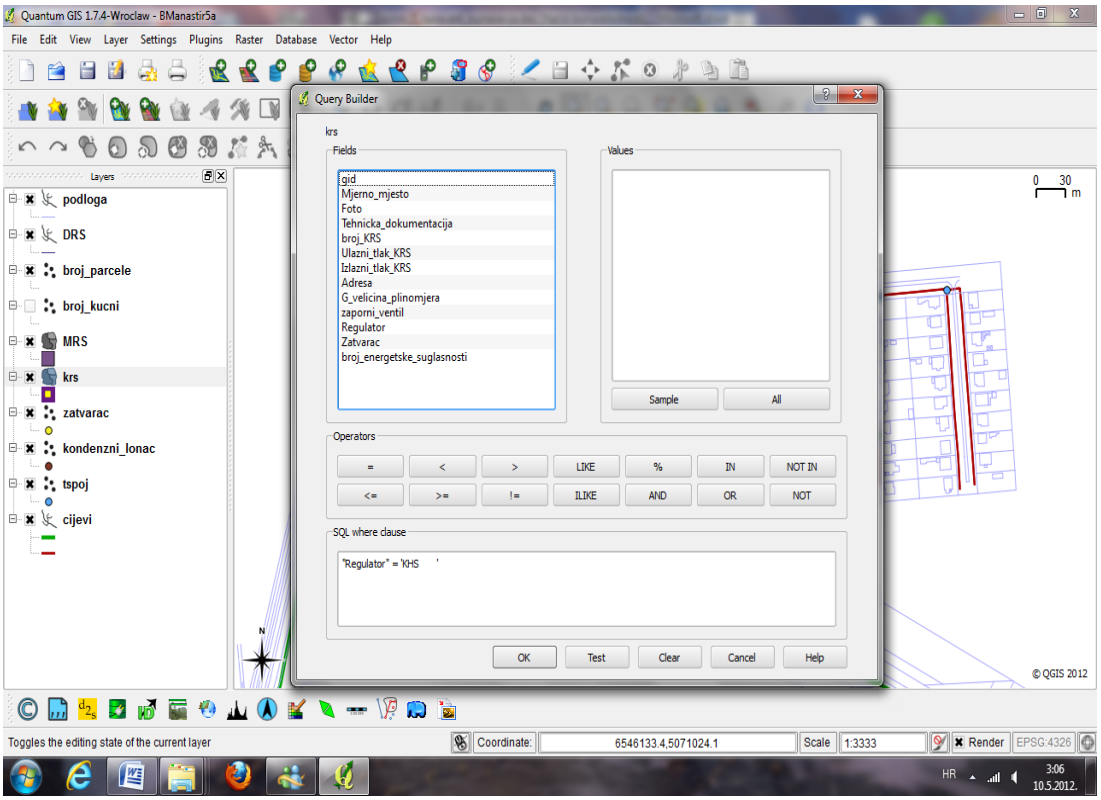
Grafički podatci plinovodne mreže pripremljeni su u AutoCAD Map-u. Isti su kasnije "uvezeni" u PostgreSQL - to je program koji se koristi kao sustav za upravljanje bazama podataka. Budući da PostgreSQL omogućuje pohranjivanje samo najosnovnijih dvodimenzionalnih geometrijskih objekata, te niz funkcija i operatora za ispitivanje odnosa među njima - sam program nije predviđen za razvoj GIS-a. U tu svrhu je razvijen PostGIS, koji služi kao proširenje PostgreSQL-a, te omogućava osnovnom programu upravljanje bazama koje podržavaju kompleksne prostorne podatke. Nakon kreiranja baze podataka vrši se unos atributa plinovodne mreže. Na slici 3 prikazan je jedan detalj popunjavanja baze podataka o plinovodnim cijevima (promjer, vrsta materijala, pritisak, godina ugradnje, broj uporabne dozvole).



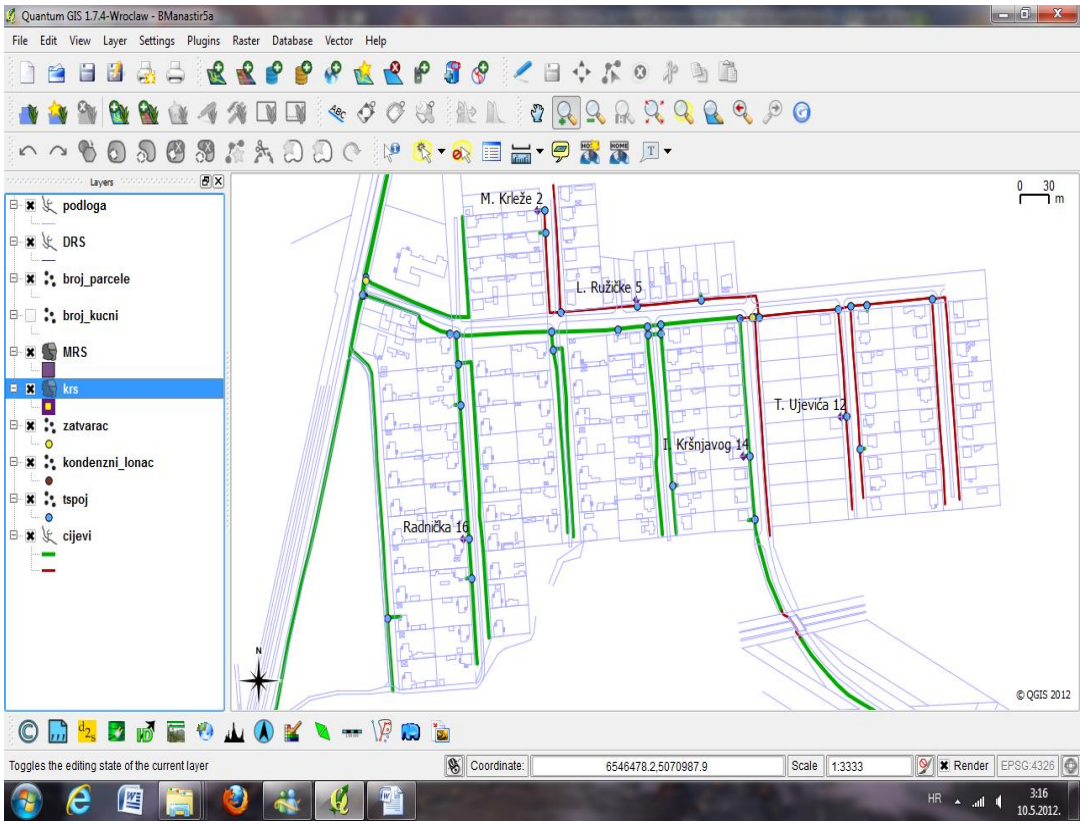
Slika 3. Unos podataka u bazu plinovodnih cijevi

Za prikaz, uređivanje i analizu baza podataka plinovodne mreže korišten je program QuantumGIS (QGIS). QGIS je geoinformacijski sustav koji ima mogućnost rada na nizu platformi (Linux, Unix, Mac OSX i MS Windows). Osnovne značajke i dodaci QGIS-a omogućavaju vizualizaciju karte, njezino uređenje i ispis. QGIS podržava mnoge formate zapisa, npr. Landsat snimke, aerofotogrametrijske zapise, digitalne modele reljefa i sl. QGIS također, omogućava preuzimanje datoteka izravno s GPS uređaja ili se mogu koristiti alati za učitavanje na GPS uređaj. Osim toga omogućava, uz pomoć MapServera, i objavu vlastitih karata na internetu, te niz drugih mogućnosti.

Nakon unosa podataka u bazu PostgreSQL i vizualizacije u QGIS-u, moguće je provoditi analize – upite: atributne i prostorne. Ovdje ću navesti jedan primjer atributnog upita u kojem se traži da se iz tablice „kućne redukcijske stanice“ izdvoje sve KRS-e koje imaju ugrađen regulator tipa „KHS“. Na prikazanoj karti neka se upišu adrese KRS-a s navedenim regulatorom. Primjer je naveden iz praktičnih razloga – proizvod treba zamijeniti novim radi dotrajalosti. Na taj način, službi koja se bavi zamjenom regulatora bit će olakšano snalaženje na terenu uz pomoć priložene karte, uštedjet će se vrijeme pronalaska istih te se neće morati ručno pretraživati sva tehnička dokumentacija za ugrađene regulatore na traženom području. Na slici 4. prikazan je način postavljanja upita, dok je na slici 5. prikazana karta s adresama KRS-a u kojima je ugrađen regulator tipa „KHS“.



Slika 4. Način postavljanja upita za regulator tipa "KHS"



Slika 5. Rezultat upita za regulator tipa "KHS"

Ovaj rad koncipirao sam modelom koji je najprije razrađen na teoretskoj osnovi, a zatim isti primijenio na dijelu plinovodne mreže pomoću izabrane programske podrške. Također sam ostavio prostor za nadograđivanje baze podataka, a samim time, nadopunjavanje i unaprjeđivanje postojećeg stanja i održavanja distribucijske plinovodne mreže. Sam rad ostavlja dosta prostora i za usvajanje novih tehnologija. Primjer za to bilo bi uvođenje sustava za daljinski nadzor i upravljanje distribucijskom plinovodnom mrežom, čime bi se uvelike olakšao i rad naših dežurnih službi.

5. Zaključak

Porastom potražnje i razvojem transportnih sustava, povećat će se dostupnost plina i njegova primjena kako u industriji, tako i u proizvodnji električne energije. Samim time plin će u narednim godinama zauzimati sve veći tržišni udio u proizvodnji i opskrbi energijom krajnjih potrošača. Stoga je za implementaciju GIS-a u sustav distribucijske plinovodne mreže potrebno odabrati kvalitetan model i softver. Pri tome pod odabirom kvalitetnog modela i softvera podrazumijevam takav skup alata koji će nakon unosa podataka omogućiti lakši i brži rad prema našim klijentima, pojednostaviti rad našoj dežurnoj službi, ali isto tako omogućiti jednostavnije planiranje i projektiranje naše nove mreže ili rekonstrukciju i održavanje postojeće.

6. Literatura

[1] Lapaine M., Vučetić N., Tutić D. (2001) : Kartografija i AutoCAD Map. Skripta. Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
[2] Ramljak D. (2001) : Vizualno modeliranje objektno orijentiranih sustava korištenjem UML-a. Seminarski rad. Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu.
[3] Borges K., Clodoveu A., Laender A. (2001) : An Object-Oriented Model for Geographic Applications, Geoinformatica 5:3, 221-260.

CNG u eksploataciji
CNG in service

T. Grizelj[1], J. H. Bajramović[2,*]

[1]ITG Wärmetechnik GmbH, Wien, Austria
[2]GRIZELJ d.d. Sarajevo, Bosna i Hercegovina

Autor za korespodenciju. E-mail:, jasmina@grizelj.com

Sažetak
Stlačeni prirodni plin je poznat na engleskom jeziku kao Compressed Natural Gas (CNG), te na hrvatskom jeziku kao Stlačeni Prirodni Plin (SPP). CNG je prirodni plin stlačen na tlak < 350 bar pri 15 ºC koji se koristi za industrije, asfaltne baze kao i pogon motornih vozila, kao zamjena za mazut, lož ulje, nafta, benzin, LPG.
Stlačeni prirodni plin se dobiva kompresiranjem metana (CH_4) kompresorskim postrojenjem u spremnike na trajlerima ili kamionima, autobusima i putničkim vozilima visokog tlaka < 350 bar.
CNG se vozi iz BHGAS-a Sarajevo u mobilnim transporterima bulk trajlerima 5000 m^3 u Aluminij d.d. Mostar koji koristi CNG-a 40 000 Nm^3/d.
Stlačeni prirodni plin je gorivo koje danas nudi najbolji kompromis između ekoloških karakteristika, dostupnosti energetskih resursa i tehnološkog razvoja. CNG je ekološki i energetski prihvatljiv, a njegove prednosti i efikasnost u eksploataciji u industrijama, vidljiva je kroz niže cijene održavanja vozila, dužem životnom vijeku motora i značajnim uštedama u cijeni goriva u odnosu na dizelsko gorivo i benzin.
Prvenstvena prednost u eksploataciji CNG-a jeste ekološka prihvatljivost koja se ogleda kroz korektno smanjenje emisije polutanata.

Ključne riječi: stlačeni prirodni plin, eksploatacija, ekološki

Summary
English abbrevation for Natural Compresed gas is CNG. In Croatian language abbrevation is SPP which stands for Stlaceni Prirodni Plin“. CNG is natural gas compressed with a pressure <350 bar at 15 °C (69F) , which is used IN industry, asphalt BASES, motor vehicles, and as an alternative to: crude oil, heating oil, gasoline and LPG.
Compressed natural gas is produced by compressing methane (CH4) at high pressure <350 bar at compressor plant in the container or trailer trucks, buses and passenger cars.

CNG is transported from „BHGAS“ (Sarajevo) to Aluminum Inc. Mostar (which uses CNG 40,000 Nm3 / d in trailers/ Bulck mobile carriers, total volume of 5000 m3.
As energy source, Compressed natural gas today offers the best compromise between environmental characteristics, resources availability, and technological development. CNG is ecologically accepted, and energy efficiente. Advantages of CNG are visible through lower cost of vehicle maintenance, longer motor engine life, and significant cost savings compared to diesel or gasoline fuel. The primary advantage of exploitation of CNG is the environment factor, which is reflected in the overall reduction of pollutants.

Keywords: compressed natural gas, exploitation, ecologically.

1. Uvod

Sarajevo kao grad imalo je od 1913 – 1958 god. razvedeno 60 km acetilenske instalacije kojom se vršila distribucija plina od plinare do korisnika plina za kuhanje, pripremu sanitarne vode do gradske rasvjete. Tradicija kolektivnog korištenja plina je jedna od naj starijih u ovom dijelu Europe. Dovođenje zemnog plina 1978/79 god. u Sarajevo je imalo prvenstveno za cilj zaštitu zraka u gradu Sarajevu, a kasnijih godina se razvija plinska mreža prema Visokom, Zenici, kroz industrijsku primjenu u Tvornici glinice Birač i kroz tranzit u gradu Zvorniku. Danas se čine mnogi napori kako bi se zemni plin osigurao kao energent ekološki podoban i cjenovno kurentan radi energetske efikasnosti i ekonomske rentabilnosti u primjeni i dostupnosti svakom korisniku. Da bi bio dostupan mora se izgraditi infra struktura što nije uvijek isplativo radi konzuma i udaljenosti.

U svijetu se već preko 80 godina vrši prevoz raznih plinova od acetilena, kisika, LPG-a LNG-a pa danas do CNG-a u raznim oblicima. Ekonomski je jedino isplativo transportirati i konzumirati tečnu fazu, tako da se razni plinovi transportiraju pod različitim tlakovima i u različitim veličinama spremnika. Od utemeljenja plinske industrije gradskog plina, acetilenski gradskih instalacija, instalacija LPG-a i zemnog plina su distribuciju zasnivali na cjevovodima neovisno o udaljenosti i konzumu. Danas postoje i drugi oblici transporta u prekooceanskim brodovima se vrši prevoz LNG (ukapani prirodni plin), a u kopnenom i željezničkom transportu CNG (SPP stlačeni prirodni plin) bulk trajlerima. CNG također je dobra prethodnica zemnom plinu u gospodarskom razvoju jer do jednog mjesta se može CNG transportirati bulk trajlerima dok se ne stvori dovoljan konzum korisnika koji bi opravdao dovođenje plinovoda cjevovodom sa magistralnog cjevovoda. Da bi zadovoljili potrebe rastućeg tržišta ekološki jeftine energije sve više se pristupa prevozu zemnog plina CNG-a u spremnicima pod visokim tlakom.

U eksploataciji CNG-a imamo tri faze:

-kompresorsko postrojenje

-transport: kamionski bulk trajler, željeznički

-korištenje plina: u industrijskim postrojenjima, vozilima, jahtama

2. Kompresorsko postrojenje

Priključak kompresorskog postrojenja vrši se na magistralni plinovod, a ulazni tlak u kompresorsko postrojenje, neodorisanog zemnog, plina je 20 ÷100 bar ovisno o tlaku u magistralnom plinovodu. Kompresorsko postrojenje se sastoji od ulazne filterske grupe, mjerača protoka plina, elektro motora, kompresora, pufera/spremnika, plinske i elektro instalacije, hladnjak plina i odorans sekcije.

Slika 1. Kompresorsko postrojenje CNG-a

Postupkom kaskadnog kompresorskog trostepenog tlačenja plina u kompresorskom postrojenju do tlaka od 350 bara dolazi do povećanja temperature plina i do 80 °C te je isti potrebno hladiti na 15 °C kako bi u spremnik bulk trajlera mogao konzumirati volumenski veću količinu (masu) zemnog plina.

Kompresorsko postrojenje čine dva kontejnera 20", sa prigušivačima buke, u kojima su smještena dva kompresora 2000 Nm^3/h elektro motor 200 kW i drugi 2500 Nm^3/h sa elektro motorom 250 kW, koji rade paralelno istovremeno. Kompresori su opremljeni vodeno hlađenim sistemom preko eksternih rashladnih jedinica instaliranih na kontejneru. Radi sigurnosti i pouzdanosti u eksploatacije preporuka je da se instaliraju dva kompresora radi tehničke i/ili kapacitivne rezerve kao i radi redovnog zastoja (zamjena ulja, čišćenje ili zamjena filter uložaka i.t.d.)

Bitna stvar kad je CNG u pitanju da se za isti ne grade stacionarni spremnici već se eksploatacija vrši isključivo sa točkova putnička vozila, željeznički vagoni i bulk trajlera.

3. Transport CNG-a

Transport CNG spada u grupu ADR prevoza (prevoz opasnih tvari) tako da bulk trajler, tegljač i vozač moraju imati ADR isprave, opremljeni ADR zaštitnom i PPZ opremom i korektno obilježeni, isto vrijedi i za željeznički transport.

Transport CNG-a vrši se auto prikolicama (bulk trajler), i željezničkim vagonima ovismo o infra strukturi kod lokacije kompresorske stanice i lokacije korisnika CNG-a.

Najrasprostranjeniji transport je bulk trajlerima jer isti tegljač (truck) može da opslužuje više prikolica (bulk trajlera) dok su na punjenju i istakanju.

Punjenje jednog bulk trajlera traje cca 2 sata za 5500 Nm^3 /16800 lit. zapremina spremnika pri nadtlaku 300 bar na 15 °C. u 114 boca po 148 lit.

Slika 2. Spremnici CNG-a u baterijama horizontalna izvedba

Slika 3. Spremnici CNG-a u baterijama vertikalna izvedba

Ovisno o proizvođaču spremnika postoje konfiguracije od 9 ležećih boca, volumena cca 15000 lit. ili 100 boca po 150 lit. vertikalnog položaja), koji su složeni u baterije i kao takvi povezani pripadajućom armaturom i sigurnosnom opremom. Svi transportni sistemi radi racionalnosti transporta se projektiraju na više tlakove > 250 - 350 bar čime se postiže

viša produktivnost i ekonomska isplativost. Što se tiče aspekta sigurnosti i ekoloških zahtijeva ni jednog momenta nisu ugroženi ili dovedeni u pitanje zaštita prirode i okoline.

Ekonomski isplativ jedinični transportni kapacitet je 4500 – 6000 Nm^3, tlak 250 - 350 bar pri temperaturi 15 °C, što čini transportnu težinu 30 – 35 tona (treba voditi računa o prekoračenju bruto konfiguracija truck + trajler + CNG).

Preporučeni minimalni u eksploataciji dopušteni tlak u bulk trajler spremnicima je nadtlak od 5 bar.

4. Prijemna stanica

Prijemna stanica se sastoji od regulacione stanice gdje se CNG direktno sa bulk trajlera konektuje i reducira tlak sa 250 ÷ 350 bar na radni tlak instalacije od 3 ÷ 8 bar, u kaskadnoj izvedbi, sa filter jedinicom i mjeračem protoka plina sa elektronskim korektorom po tlaku i temperaturi, a na potrošače dovodi se potreban tlak zemnog plina. Bulk trajler je direktno konektovan na prijemnu stanicu i kada tlak u bulk trajleru padne na 5 bar vrši se diskonekcija i konektuje drugi bulk trajler.

5. Eksploatacija CNG-a

Postoji više načina eksploatacije CNG-a ovisno o korisnicima:

-industrija, stanovanja, kamioni, autobusi, putnička vozila, građevinske mašine i motorna vozila na gradilištu, rudnicima, lokomotive, jahte ...

Svi sistemi CNG-a imaju svoju prijemnu stanicu i/ili istakalište i/ili pretakalište.

Kada je korištenje CNG-a u industriji tada se transport organizira bulk trajlerima od lokacije kompresorske stanice do industrijskog konzumenta, što vrijedi i za gradove i naselja koja mogu koristiti CNG kao energent za grijanje i hlađenje putem distributivne mreže.

Kada su konzumenti željezničke lokomotive i jahte tada se kompresorsko postrojenje instalira u neposrednoj blizini željezničkog depoa ili veza za jahte ili se vrši pretakalje putem kompresora sa bulk trajlera na mjestu unaprijed projektirane lokacije.

Kamioni, autobusi i putnička vozila se tankaju na postajama gdje je instalirano kompresorsko postrojenje konektovano na distributivnu mrežu zemnog plina ili pretakalište koje je konektovano na bulk trajler i putem kompresora se pretače u individualne spremnike autobusa, kamiona i putničkih vozila, građevinskih mašina, motornih vozila na gradilištu i rudnicima.

Slika 4. Spremnici CNG-a na krovu autobusa

Slika 4a. Spremnici CNG-a ispod vozila

Za korištenje CNG-a nije potrebna nikakva cijevna plinska infra struktura već je moguće jedan ili više potrošača spojiti na isti priključak i konektovati na bulk trajler. Ako se želi snabdijevati jedno manje naselje ili veći industrijski kompleks energentom zemnim plinom CNG-om tada se rade manje instalacije kojima se distribuira plin do potrošača uz mjerenje individualnog utroška plina.

Sva vozila; autobusi, kamioni, jahte, putnička vozila moraju imati oznaku CNG istaknutu na vidno mjesto upozorenja. Kod parkiranja osobnih vozila u javne garaže mora se voditi računa dali je dozvoljena za korištenje vozilima koja koriste CNG gorivo.

Slika 5. Znak za oznaku na vozilima

6. Primjer eksploatacije u bosni i hercegovini

6.1. Primjer dobre prakse

Kompresorsko postrojenje instalirano je u Reljevu, prigradskom naselju grada Sarajeva, a prvobitni korisnik CNG-a je kombinat Aluminij d.d. iz grada Mostara na lokalitetu Baćevići Mostar, koji dnevno konzumira cca 40000 Nm^3 zemnog plina za tehnološke potrebe. Transport CNG-a vrši se bulk trajlerima magistralnim putem M17.

Drugo kompresorsko postrojenje i korisnik CNG-a je K.J.K.P. Sarajevogas d.o.o. Sarajevo, koje ima dva vlastita kompresorska postrojenja kapaciteta 30 + 60 Nm^3/h i spremnik od 16 boca po 80 lit. koristi se za snabdijevanje u 27 servisnih vozila i autobus za prevoz uposlenika.

Izrađen je projekat i investiciono tehnička dokumentacija za snabdijevanje K.J.K.P. GRAS d.o.o. Sarajevo gradskog saobraćaja Kantona Sarajevo i čeka se strateški partner kako bi se projekat stavio u funkciju.

7. Financijski faktori

Tržišna cijena zemnog plina je 500,00 $ za 1000 Nm^3, a CNG-a, (tlačenje, hlađenje, odorizacija) poslije kompresorske stanice, prevoz na 100 km cijena je 1.000,00 $ za 1000 Nm^3, što je za 40 % niža nabavna cijena od cijene LPG-a ili za 60 % od lož ulja komparacija kW/m^3 i kW/kg = kWh. Znamo da LPG i lož ulje moramo instalirati spremnike pod određenim uvjetima osiguravati visoko nivo PPZ i voditi trajno evidenciju o stanju po količini u spremnicima. Tarifna i cjenovna politika je da se LPG i lož ulje plaćaju unaprijed (pod određenim uvjetima odgođeno plaćanje), a prirodni plin i CNG samo ono što je potrošeno što čini posebnu financijsku pogodnost.

8. Zaključak

Velike prednosti CNG-a se ogledaju u ekološkom cilju jer svi drugi energenti su manje ekološki prihvatljivi kao npr. drvo i ugalj zbog lebdećih čestica i ne korektne emisije polutanata. Lož ulje mora imati dvoplaštni spremnik i uvijek postoji opasnost od curenja pri tankanju ili eksploataciji u cjevovodima i kod dreniranja spremnika. LPG spremnici i eksploatacija je ovisna o kvaliteti smjese propan/butana i mogućnost curenja, incidenta i

trajna kontaminacija tla kao i kod lož ulja. Poseban problem se javlja kod ispitivanja spremnika LPG (posuda pod tlakom) koje podliježu redovnom testiranju koje se ne može uvijek napraviti na licu mjesta već se spremnik mora transportirati kod distributera ili ispitni laboratorij što predstavlja dodatne troškove eksploatacije. Kako je bulk trajler mobilan i uvijek se može dovesti do bilo koje ovlaštene ispitne laboratorije radi kontrole i ispitivanja posuda pod tlakom radi produženja radne dozvole, predstavlja veliku prednost.

9. Literatura

[1] Naučno - istraživačka dokumentacija. ITG Wärmetechnik GmbH, Wien Austria.

Naknadno povećanje tlaka u plinovodima od polietilena
Subsequent pressure increase in polyethylene pipelines

I. Karahodžić[1*]

[1] KJKP Sarajevogas d.o.o., 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: ibrahimk@sarajevogas.ba

Sažetak

Povećanje kapaciteta postojećih sustava za transport i distribuciju plina može se postići naknadnim povećanjem tlaka u plinovodu koji se nalazi u pogonu.

Plinovodi izgrađeni od polietilenskih cijevi moraju biti razmatrani individualno i diferencijalno svaki za sebe da bi se mogla pouzdano procijeniti sigurnost i postojeće rezerve specifične za ugrađeni materijal. Prilikom procjene sigurnosti i postojeće rezerve voditi računa o starosti i opterećenju u prošlosti materijala koji je ugrađen u plinovodu.

Za plinovode izgrađene od polietilena gdje je predviđeno povećanje tlaka potrebno je je pojedinačno procjeniti:

- tehničke aspekte materijala,
- analiza pogona na osnovu statistike popravke i
- aspekte relevantne za prijem, kao npr. ispitivanje tlakom i ispitivanje materijala.

Naknadno povećanje tlaka vrši operater mreže ili od njega angažovano poduzeće, prema odgovarajućim pravilima tehnike. Ukoliko operater mreže angažuje drugo poduzeće za ove aktivnosti, mora ga obavezati na pridržavanje pravila tehnike za radove koje treba da izvede, odnosno da je to poduzeće certificirano prema tehničkom pravilu GW 301.

U dijelu polietilenskih plinovoda gdje je planirano povećanje tlaka neophodno je izraditi proceduru za naknadno povećanje tlaka u formi plana odvijanja aktivnosti. Postupak koji je definisan u planu ne isključuje da se u pojedinačnim slučajevima dodatno treba obratiti pažnja na druge specifičnosti koje nisu navedene u planu.

Procjenu i provođenje mjera za povećanje tlaka smije vršiti samo odgovarajuće stručno osoblje definisano prema odgovarajućem tehničkom pravilu koje definiše postupak naknadnog povećanja tlaka za polietilenske plinovode.

Obavezno se u planu prije svega, mora definisati koliko treba biti povećanje tlaka.

Procedurom prilikom naknadnog povećanja tlaka u izgrađenim plinovodima od polietilena predviđeno je uraditi:

- provjeru sustava plinskih vodova i
- ispitivanje tlakom.

Na osnovu rezultata provjere sustava plinskih vodova i ispitivanja tlakom, vrši se sveukupna procjena dijela plinovoda gdje je potrebno naknadno povećanje tlaka. U

zavisnosti od grupe plinovoda gdje je potrebno izvršiti naknadno povećanje tlaka, procjenu može izvršiti kompetentni stručnjak ili autorizovani stručnjak.
Kod pozitivne ocjene u pogledu povećanja tlaka kojem se teži, slijedi dozvola za rad i puštanje u pogon.
Prilikom puštanja u pogon plinovoda gdje se naknadno povećava tlak, treba obratiti pažnju na tehničko pravilo G 465-2.
Povećanje tlaka do predviđenog maksimalnog pogonskog tlaka se izvodi postepeno.
Važno je na kraju napomenuti da u prvoj sedmici i nakon isteka četiri sedmice plinovod gdje je izvršeno povećanje tlaka treba provjeriti prema G 465-1.
Obavezno rezultate provjere treba dokumentovati i čuvati do sljedeće redovne provjere.

Ključne riječi: naknadno povećanje tlaka, polietilenski plinovodi, tehnička pravila, procjena i provođenje mjera za povećanje tlaka, postupak naknadnog povećanja tlaka.

Abstract
Increasing the capacity of existing systems for transmission and distribution of gas can be achieved by a subsequent increase in pressure in the pipeline that is in operation.
Gas pipelines made of polyethylene pipes must be considered individually and differentially each of them to be able to reliably estimate the safety and existing reserves specific to embedded material. In assessing the safety and existing reserves it is necessary to take into account the age and workload in the past of the material that is embedded in the pipeline.
For pipelines constructed from polyethylene and foreseen for an increase in pressure it is required to individually assess each regarding:
- The technical aspects of materials,
- Analysis of operation on the basis of statistics and repairs, and
- Aspects relevant for admission, such as pressure testing and materials testing.

Subsequent increase in pressure is performed by network operator, or a hired company, according to the relevant technical regulations. If the network operator engages another company for this activity, it must commit to abide by the rules of technique for works to perform, or that it is a company certified by the technical rule GW 301.
In the polyethylene pipeline where the planned increase in pressure is necessary to define procedure for the subsequent increase in pressure in the form of the plan of activities. The procedure, which is defined in the plan does not exclude that in certain cases an attention should be paid also to some other specifics that are not listed in the plan.
Evaluation and implementation of measures to increase pressure may only be performed by appropriate professional staff defined according to the appropriate technical rule that defines the procedure for the subsequent increase in pressure for polyethylene pipelines.
It is obligatory that a plan first of all, defines how much should be an increase in pressure.

With the procedure for the subsequent increase in pressure in the pipelines constructed of polyethylene it is planned to proceed the following:

- Checking system lines and
- Testing of pressure.

Based on the results of the verification of system pipes and pressure tests, conducted an overall assessment of the pipeline where it is needed, to increase the pressure. Depending on the pipeline group, where it is necessary to subsequently increase the pressure, the assessment can be made by competent or authorized expert.

The positive assessment in terms of increasing pressure being pursued, is followed with licensing and commissioning.

During the commissioning of the pipeline where it is subsequently increasing pressure, it is required to pay an attention to the technical rule G 465-2.

Increasing pressure to the planned maximum operating pressure is carried out gradually.

It is important to note that at the end of the first week and after four weeks, where it is performed increasing in pressure for the pipeline, it should be checked according to the G 465-1.

It is obligatory to document all the given verification results and preserve them until the next regular inspection.

Keywords: subsequent increase in pressure for polyethylene pipelines, technical rules, evaluation and implementation of measures to increase the pressure, the procedure of subsequent increase in pressure.

1. Uvod

Povećanje kapaciteta postojećih sustava za transport i distribuciju izgrađenih od polietilena, kratkoročno se često mogu postići neophodnim povećanjem tlaka u plinovodima koji se nalaze u pogonu.

Kod plinovoda izgrađenih od polietilena PE63, PE80 i PE100 a koji su predviđeni za naknadno povećanje tlaka mora se voditi računa o starosti, opterećenju u prošlosti i materijalima koji su ugrađeni.

Prije odluke o naknadnom povećanju tlaka neophodno je pojedinačno procijeniti tehničke aspekte materijala, specifičnu analizu pogona i aspekte relevantne za prijem. Kod tehničkog aspekta materijala neophodno je obratiti pažnju na vrstu i dimenzije cijevi, a za specifičnu analizu pogona neophodno je obratiti pažnju na dokumentaciju statističke štete.

Naknadno povećanje tlaka u plinovodima od polietilena PE63; PE80 i PE100 vrši se u skladu sa tehničkim pravilom G 457.

2. Neophodni uvjeti za povećanje tlaka

Da bi se krenulo u proceduru prilikom naknadnog povećanja tlaka neophodno je voditi računa o osnovnom principu za povećanje tlaka, osoblju i nadzoru nad izvođenjem radova neophodnih za povećanje tlaka, klasi povećanja tlaka i grupi plinovoda.

2.1. Osnovni princip

Sveobuhvatan opis mjera koje treba provesti radi naknadnog povećanja tlaka moraju biti navedene u proceduri prilikom naknadnog povećanja tlaka.

U svakom pojedinačnom slučaju mora se procjeniti koje tačke navedene u proceduri su stvarno relevantne i moraju se uzeti u obzir.

Naknadno povećanje tlaka i neophodne radove na plinovodima predviđenim za naknadno povećanje tlaka vrši operater plinovoda ili od njega angažovano poduzeće, prema odgovarajućim pravilima tehnike. Ukoliko operater plinovoda angažuje drugo poduzeće za ove aktivnosti mora ga obavezati da se pridržava zahtijevanih tehničkih pravila.

Radove zavarivanja koji su potrebni za predviđeno povećanje tlaka treba provesti prema G 472 i dokumentovati na odgovarajući način (protokolom zavarivanja), kao i ispitati metodom slučajnog uzorka odgovarajućim metodama.

2.2. Osoblje i nadzor nad izvođenjem radova

Obavezno operater plinovoda mora osigurati stručno nadziranje radova u skladu sa vrstom i obimom radova koji se izvode na plinovodima od polietilena gdje je predviđeno povećanje tlaka.

Neophodne radove na plinovodima treba izvesti operator plinovoda ili poduzeće za gradnju plinovoda. Ovlašteno poduzeće za gradnju plinovoda mora posjedovati neophopdne sposobnosti za gradnju i imati dokaze za njih. Sposobnost za gradnju plinovoda poduzeće može dokazati certifikatom prema GW 301.

Radove zavarivanja treba voditi i provjeravati nadzor prema tehničkom pravilu GW 331, a izvoditi zavarivači školovani i provjereni prema tehničkom pravilu GW 330.

Operater plinovoda i ovlašteno poduzeće koje izvode radove prema tehničkom pravilu G 457 moraju imati odgovarajuća stručna lica, kompetentne stručnjake i tamo gdje je neophodno autorizirane stručnjake.

2.3. Klase povećanja tlaka

U zavisnosti od željenog povećanja tlaka, prema tabeli 1 može se provjeriti u koju klasu povećanja tlaka pripada to povećanje tlaka.

Tabela1 – Klase povećanja tlaka

Klasa povećanja tlaka	Vrsta	Napomena
I	značajno povećanje tlaka na viši nivo tlaka	kada (priključni) plinski vodovi nisu projektovani, izgrađeni i ispitani za viši pogonski tlak
II	povećnje tlaka na viši nivo tlaka	kada je izvršeno ispitivanje za viši nivo tlaka niski tlak ≤ 25 mbar povećani niski tlak > 25 ≤ 100 mbar srednji tlak > 0,1 ≤ 1 bar visoki tlak > 1 ≤ 5 bar > 5 < 16 bar
III	neznatno povećanje tlaka u okviru jednog nivoa tlaka	vidi klasu povećanja tlaka II

Tipična povećanja tlaka data su u tabeli 2:

Tabela2 – Tipična povećanja tlaka

Klasa povećanja tlaka	Primjeri	Vrsta
I	• 1 bar na 2 bar • 500 mbar na 1,5 bar	značajno povećanje tlaka, kada plinski vod nije projektovan, izgrađen i ispitan za viši pogonski tlak
II	• 80 mbar na 150 mbar	povećanje tlaka na viši stepen tlaka, kada je plinski vod već ispitan na viši stepen tlaka
III	• 30 mbar na 70 mbar	neznatno povećanje tlaka unutar jednog stepena tlaka

2.4. Grupe plinovoda

Na osnovu postojeće dokumentacije, u principu, mogu se razlikovati tri grupe plinovoda za naknadno povećanje tlaka.

Tabela3 – Grupe plinovoda

Grupa	Napomena
1	Plinovodi koji su s odgovarajućom dokumentacijom izgrađeni i ispitani u skladu sa tehničkim pravilima važećim u trenutku povećanja tlaka, odnosno koji odgovaraju sugurnosno-tehničkim zahtjevima
2	Plinovodi koji nisu izgrađeni i ispitani za viši tlak, ali za koje postoji odgovarajuća dokumentacija o građenju, ispitivanju i korištenim materijalima
3	Plinovodi za koje u trenutku naknadnog povećanja tlaka, ne postoji uopšte, ili postoji samo nepotpuna dokumentacija o građenju i korištenim materijalima

3. Procedura prilikom naknadnog povećanja tlaka

Proceduru za naknadno povećanje tlaka u polietilenskim plinovodima treba izraditi u formi plana odvijanja, i uključiti u prijemnu dokumentaciju. Postupak ne isključuje da se u pojedinačnim slučajevima dodatno treba obratiti pažnja na druge specifičnosti koje ovdje nisu navedene, i da se one trebaju uvrstiti.

3.1. Provjera sustava plinskih vodova

Sustav plinskih vodova sa svojim pojedinačnim komponentama i kućnim priključnim vodovima potrebno je detaljno provjeriti da li je pogodan za planirano povećanje tlaka. Provjeru treba detaljno dokumentovati i procijeniti. Neophodno je sljedeće provjeriti:

- tehničke aspekte materijala sa posebnim akcentom na klasifikaciju materijala i dimenzije cijevi
- specifične analize pogona sa posebnim osvrtom na analizu kontrole plinske mreže i oštećenja izazvana od strane trećih lica i
- aspekte relevantne za prijem sa posebnim osvrtom na ispitivanje tlakom i ispitivanje materijala.

3.1.1. Tehnički aspekti materijala

Prilikom provjere tehničkih aspekata materijala neophodno je izvršiti provjeru:

- identifikacije ugrađenog materijala iz postojeće dokumentacije, oznake cijevi ili rezultata ispitivanja
- dokaza o certificiranju ugrađenih komponenti sustava plinskih vodova predviđenih za povećanje tlaka.

Važno je napomenuti da se ne smije izvršiti povećanje tlaka u dijelovima plinskih vodova koji nemaju odgovarajuće certifikate.

3.1.2. Specifične analize pogona

Pri provjeri neophodne specifične analize pogona, između ostalog, neophodno je uraditi sljedeće:

- provjera projektne dokumentacije postojećeg stanja sa osvrtom na nadsloj, ugrađene ventile, posebno ugrađena plinska postrojenja, i ukrštanja sa saobraćajnicama
- provjera trase plinskih vodova na licu mjesta u izgrađenim i neizgrađenim područjima
- procjena kućnih priključaka.

3.1.2.1. Istorijat gradnje plinskih vodova

Da bi imali sliku stanja plinskog voda na licu mjesta, neophodno je provjeriti:

- godinu gradnje
- postupak gradnje
- tehnologiju spajanja cijevi (mehaničko spajanje, sučeono i elektrofuziono spajanje)
- kvalifikaciju poduzeća za gradnju i angažovanih zavarivača
- neophodnu dokumentaciju koja je pratila gradnju sa posebnim osvrtom na knjigu cijevi, skice, ispitivanje tlakom, potvrdu o prijemu, specifičnosti pri polaganju
- eventualnim odobrenjima i odredbama drugih kompanija koje se bave snabdijevanjem kao i odobrenjima nadležnih vlasti gdje su izvođeni radovi.

3.1.2.2. Istorijat prijema plinskog voda

Sve podatke i dokumentaciju koji su neophodni za pogon plinovoda treba ispitati u okviru specifične analize.

U okviru specifične analize pogona, treba uzeti u obzir sljedeće tačke koje se tiču istorije prijema:

- način prijema plinskog voda prije stavljanja u pogon i nakon reparacije plinskog voda ako je bila reparacija, sa posebnim osvrtom na korištenje propisa o ispitivanju
- ostala provedena ispitivanja i njihovi rezultati
- posebni događaji.

3.1.2.3. Istorijat pogona

Da bi se utvrdio istorijat pogona plinskih vodova gdje treba povećati tlak neophodno je izvršiti sljedeće specifične analize:

- analize odgovarajuće statistike šteta sustava plinskih vodova sa osvrtom na grupisanje linijskih i tačkastih objekata i
- pojedinačne procjene vrste i učestalosti grešaka iz statistike šteta kao što su usljed koncentrisanog opterećenja i greški pri zavarivanju.

3.1.3. Aspekti relevantni za prijem

U odnosu na tehnički aspekt materijala i specifične analize pogona koja se u suštini odnosi na procjenu dokumenata i protokola, aspekti relevantni za prijem sadrže provođenje i procjenu ispitivanja na slučajnim uzorcima iz sustava plinskih vodova koji su predviđeni za povećanje tlaka kao i završno ispitivanje tlakom radi puštanja u pogon.

3.1.3.1. Uzorkovanje i ispitivanja

Kod uzorkovanja i ispitivanja u zavisnosti od toga u koju grupu plinski vod pripada treba postupiti kako je to navedeno u tabeli 4.

Tabela4 – Načelna procedura za ispitivanje

Grupa	Napomena
1	Nisu potrebna posebna ispitivanja za ocjenu stanja plinskog voda.
2	Uzimanje reprezentativnih uzoraka iz plinskog voda. Pri tome, broj uzoraka i mjesto uzorkovanja moraju biti pažljivo odabrani, npr. prema opterećenju, dužini voda, lokalnim okolnostima, starosti, uslovima građenja i polaganja, postupcima fugovanja i mogućim pogonskim uticajima i uticajima okoline na predviđeni plinski vod. Dalje se na odgovarajući način moraju uzeti u obzir: različiti prečnici, debljine stijenki, vrste materijala i postupci fugovanja. (Pri tome, najmanje se mora ispitati i ocjeniti jedan uzorak po objektu).
3	Postupak odgovara grupi 2. Dodatno treba provesti dopunska ispitivanja metodom slučajnog uzorka pazeći na statističke zakonitosti, koja garantuju osigurane tvrdnje o uticajnim veličinama značajnim za sigurnost (npr. materijal, debljina stjenke, osobine sl.).

3.1.3.1.1. Provjera materijala

Provjera i identifikacija materijala u pogledu njegovog stanja i njegove pogodnosti vrši se uzimanjem reprezentativnih uzoraka iz plinskog voda. Izbor mogućih ispitivanja materijala je naveden u tabeli 5.

Tabela5 – Moguća ispitivanja materijala

Materijal	Ispitivanje	Podloga za ispitivanje
PE-HD	oksidaciono-indukciono vrijeme (OIT) na spoljašnjoj strani cijevi, u sredini cijevi i na unutrašnjoj strani cijevi	EN 728
	diferencijalna termoanaliza (DSC, odnosno DSC-SIS)	DIN 53765
	infracrvena spektroskopija	
	masena brzina tečenja istopljenog materijala	EN ISO 1133
	gustina	EN ISO 1183-1
	RCP* (p_{RCP} ≥ 1,5 x MOP pri 0 °C)	EN 1555-2

* Odnos kritičnog tlaka za brzo širanje naprsline (p_{RCP}) prema maksimalnom dozvoljenom novom povećanom pogonskom tlaku (MOP), za materijale za koje je poznata vrijednost p_{RCP}, mora biti 1,5 puta MOP ili veći od 1,5 (referentna temperatura 0 °C).

U principu, mora biti osigurano da postoje dokazi prema EN 9080 ili DIN 16887 za dugoročne osobine materijala.

3.1.3.1.2. Provjera dijelova plinskih vodova

Da bi utvrdili aktuelno stanje i pogodnosti dijelova plinovoda za povećanje tlaka, vrši se ispitivanje reprezentativnih uzoraka iz predviđenog plinskog voda. Pored temeljnog vizuelnog pregleda dijelova plinovoda na spoljašnje specifičnosti (npr. brazde, nehomogenosti, zaprljanost), ukoliko je moguće treba izvršiti i sljedeća ispitivanja:

Tabela6 – Moguća ispitivanja dijelova cjevovoda od PE

Br.	Materijal	Vrsta	Ispitivanje	Ispitne podloge, npr.
1	PE-HD	Cijev	Dimenzije (prečnik, debljina stjenke, ovalnost)	DIN 8074 GW 335 A2
			Osobine površine (uključujući ocjenu mikroskopom)	DIN 8075 GW 335 A2
			Vremensko ispitivanje na unutrašnji tlak (npr. 165/170, 1000h test)	DIN 8075 GW 335 A2
			Homogenost (tanki isječak)	GW 335 A2
2	PE-HD	Fazonski komadi	Osobine površine	GW 335 B2
			Vremensko ispitivanje na unutrašnji tlak (npr. 165/170, 1000 h test)	GW 335 B2
			Otpornost na ljuštenje*	GW 335 B2
			Zatezna čvrstoća**	GW 335 B2

*) kod elektrofuziono zavarenih spojeva (HM)
**) kod spojeva sučeono zavarenih grijnim elementom (HS)

3.1.3.1.3. Provjera tehnologije spajanja

S obzirom da stanje plinovoda značajno zavisi od kvaliteta spojeva odnosno da li se radi o zavarenim spojevima ili mehaničkim spojevima, neophodno je posebno razmotriti i procijeniti te spojeve. Rezultati ispitivanja spojeva moraju se uporediti sa svim normativno utvrđenim važećim zahtjevima. U principu, svi ugradbeni dijelovi i spojevi plinovoda moraju biti projektovani za maksimalno dozvoljeni pogonski tlak za ograničeno vrijeme pogona.

Principijelno za sve zavarene spojeve mora biti dokaz da je zavarivanje izvršeno u skladu sa važećim smjernicama za zavarivanje.

Pored temeljnog vizuelnog pregleda šavova zavarenih spojeva, koliko je moguće, metodom slučajnog uzorka treba preduzeti ispitivanje brazde, nehomogenosti i zaprljanosti koja su specifična za spojeve.

Tabela7 – Moguća ispitivanja zavarenih spojeva

Br.	Vrsta spoja*	Ispitivanje
1	HS	Procjena grešaka
		Tehnološko ispitivanje savijanjem
		Ispitivanje vučenjem (kratkotrajno vučenje – faktor zavarivanja)
2	HM	Procjena grešaka
		Ispitivanje smicanjem

* HS = sučeono zavareni spojevi grijnim elementom
HM = elektrofuziono zavareni spojevi

Kod mehaničkih spojeva mora se izvršiti vizuelni pregled u pogledu tehničkih grešaka prilikom gradnje kao i u pogledu njihovog stanja sa posebnim osvrtom na koroziju. Obavezno, spojnice trebaju biti provjerene u pogledu njihove pogodnosti za previđeno povećanje tlaka kao što je provjera oznake i provjera informacija ako je neophodna kod proizvođača.

3.2. Ispitivanje tlakom

Postupak i provođenje ispitivanja tlakom za plinske vodove gdje treba povećati tlak treba provesti u skladu sa važećim tehničkim pravilima G 469 i G 472.

Prije ispitivanja tlakom i puštanja u pogon, obavezno je potrebno provjeriti da li treba provesti dodatne mjere sigurnosti u skladu sa važećom regulativom, odnosno da li je to već izvršeno kao što je npr. osiguranje tlaka i aparata za regulaciju tlaka.

Nakon ispitivanja tlakom o rezultatu uspješnog ispitivanja, neposredno nakon prijema, potrebno je izdati potvrdu. Za maksimalno dozvoljeni pogonski tlak do 5 bar potvrdu izdaje kompetentni stručnjak, a preko 5 bar potvrdu izdaje autorizirani stručnjak. U izdatim potvrdama obavezno se naglasi da ne postoji sumnja za puštanje u pogon ispitanog plinskog voda s maksimalno dozvoljenim pogonskim tlakom.

4. Sveukupna procjena

O provedenim procjenama zahtjeva i rezultatima ispitivanja, stručno kvalifikovane osobe trebaju uraditi dokumentaciju o prijemu, između ostalog po pitanju aktuelnog stanja plinskog voda uzimajući u obzir povećanje tlaka, zahtjeve aktuelne tehničke regulative i poduzetih izmjena u konkretnim slučajevima, kao što su naknadne popravke, moguće skraćenje životnog vijeka i promjene stepena sigurnosti i slično. Za grupu 1 (tabela 3) dokumente o prijemu može uraditi kompetentni stručnjak, a za grupe 2 i 3 obavezno autorizirani stručnjak.

Nakon pozitivne ocjene u pogledu povećanja tlaka slijedi davanje dozvole za plinski vod da se može izvršiti povećanje tlaka i pustiti u pogon.

5. Puštanje u pogon

Osnovni preduslov za puštanje u pogon plinskih vodova na povećani tlak je pozitivna ocjena ukupne procjene i ispitivanja tlakom plinskog voda. Postupci i rezultati puštanja u pogon plinskog voda moraju biti dokumentovani i arhivirani na odgovarajući način. Povećanje tlaka do predviđenog maksimalnog pogonskog tlaka može biti izvedeno postepeno (stepenasto).

Obavezno u prvoj sedmici nakon povećanja tlaka kao i nakon četiri sedmice plinski vod treba provjeriti prema tehničkom pravilu G 465-1.

Rezultati provjere trebaju biti dokumentovani i čuvani do sljedeće redovne provjere.

6. Zaključak

Korištenjem mogućnosti povećanja kapaciteta postojećih plinskih sustava izgrađenih od polietilena sa povećanjem tlaka u dijelovima plinskih vodova, daje mogućnost operateru plinovoda da iskoristi tu mogućnost, čime će izbjeći dodatnu gradnju cjevovoda, odnosno veće zahvate na plinskim vodovima gdje je potrebno povećanje kapaciteta.

7. Literatura

[1] Tehničko pravilo G 457 „Naknadno povećanje tlaka u plinovodima od polietilena (PE63; PE80; PE100)“
[2] Tehničko pravilo GW 301 „Kvalifikacioni kriteriji za poduzeća koja grade plinovode“
[3] Tehničko pravilo GW 331 „PE-nadzor zavarivanja; Plan školovanja i ispitivanja“
[4] Tehničko pravilo GW 330 „PE-zavarivač; Plan školovanja i ispitivanja“
[5] Tehničko pravilo G 472 „Plinski vodovi od PE za pogonske tlakove do 10 bar“
[6] Tehničko pravilo G 465-2 „Plinovodi sa pogonskim tlakom do 5 bar-Održavanje“
[7] Tehničko pravilo G 465-1 „Ispitivanje plinskih sustava sa pogonskim tlakom do 4 bar“

Izmjenične karakteristike prijenosnog računala za različite načine rada

AC characteristics of laptop for different mode of operation

D.Pelin[1,*], H.Glavaš[1], J.Pavlić[2]
Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska
Televizija Slavonije i Baranje d.o.o, Osijek, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: pelin@etfos.hr

Sažetak:
Za odabrano, standardno napajanje Toshiba prijenosnih računala oznake TOP258EN opisani su podsustavi napajanja. Izmjeren je harmonijski sadržaj ulazne struje, faktor snage, te potrošnja za različite načine rada jednog odabranog prijenosnog računala. Pokazano je kako prijenosno računalo opterećuje mrežu prilikom rada s različitim aplikacijama koje se koriste u svakodnevnoj uporabi. Kvantificirana je potrošnja računala pri tipičnim načinima rada i ukazano je na postupke koje treba pokrenuti ovisno o odabranom načinu rada kako bi se utjecalo na energetsku učinkovitost korištenja prijenosnog računala.

Abstract
The subsystems of the standard power supply type TOP258EN are described for Toshiba laptops. The harmonic content of input current, power factor and power are measured for different mode of operation for one, chosen laptop. It is shown how laptop affect on power grid when the different applications of laptop were used in everyday operation. The AC characteristics of laptop are quantified for typical mode of operation and it is pointed out to the procedures which should be initiated regarding chosen laptop mode of operation. In this way it is possible to affect on the energy efficiency of laptop usage.

Ključne riječi: prijenosno računalo, napajanje, izmjenične karakteristike, način rada, energetska učinkovitost.

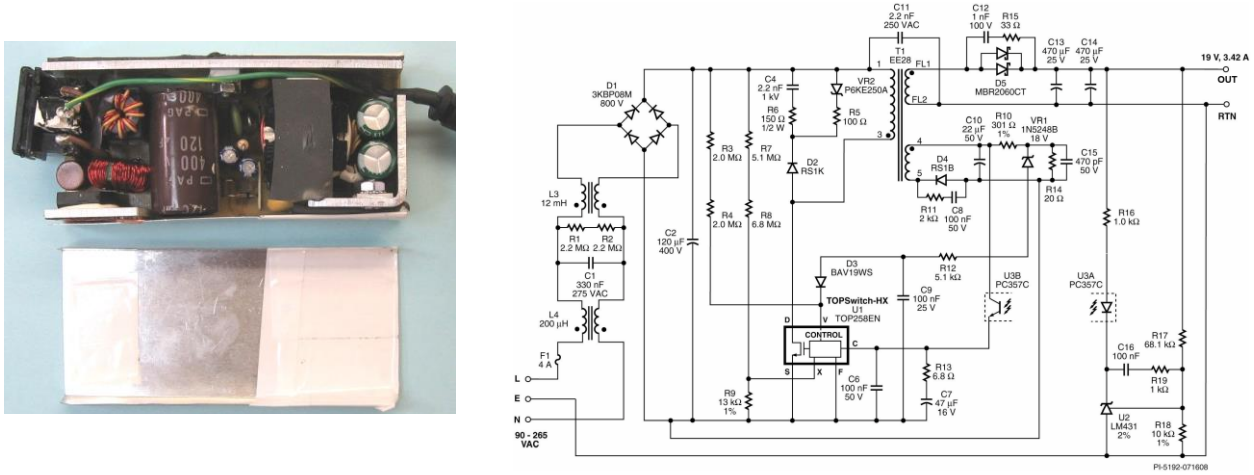
1. Uvod

Danas gotovo da i nema prijenosnog računala koje nema specifične postavke za uštedu energije. Ipak, energetska učinkovitost korištenja prijenosnog računala se može dodatno poboljšati procedurama koje nisu dio tvorničkih postavki prijenosnog računala, a da se pri tome ne naruši razina udobnosti koju ima korisnik pri radu. Obično se zbog vlastite komocije ne razmišlja o energetski učinkovitom korištenju prijenosnog računala. U radu će se kvantificirati potrošnja računala pri tipičnim načinima rada i ukazati na procedure koje bi trebalo pokrenuti ovisno o odabranom načinu rada.

Za napajanje Toshiba prijenosnog računala u radu je korišteno standardno napajanje oznake TOP258EN, [1].
U radu se pokazuje kako prijenosno računalo opterećuje mrežu prilikom rada s različitim aplikacijama koje se koriste u svakodnevnoj upotrebi. Odabrane su sljedeće aplikacije: program za pisanje teksta, pregledavanje sadržaja na mreži pretraživačima, slušanje glazbe i pregledavanje video sadržaja kao što su spotovi, filmovi i igrice. Također se pokazuje kolika je potrošnja pri tipičnim načinima rada prijenosnog računala kao što su: rad u pripravi (eng. stand by), rad s čuvarom zaslona (eng. screensaver), te rad kada se prijenosno računalo spaja na projektor.

2. Napajanje TOP258EN

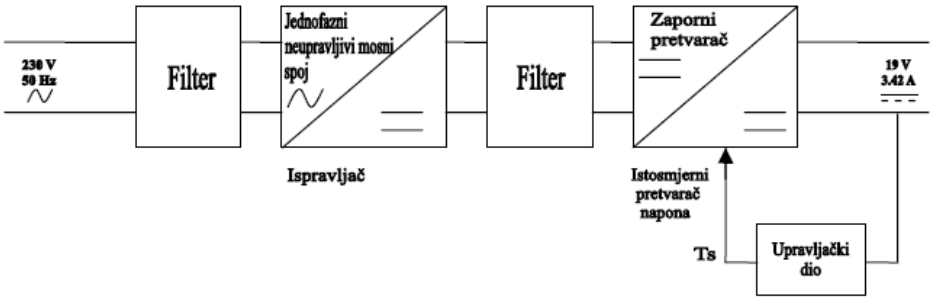
Odabrano je standardno napajanje za Toshiba prijenosna računala oznake TOP258EN, čije se tehničke karakteristike detaljnije navedene u [2]. Napajanje za rad koristi izmjenični napon 90-265 V, 50 Hz koji je doveden na ulazne priključnice (oznaka *L*, *E*, *N*), a izlazne srednje vrijednosti napona i struje su: 19 V, 3,42 A (priključnice *OUT* i *RTN*). Unutrašnjost napajanja kao i shema napajanja je prikazana na slici 1.



Slika 1. Unutrašnjost i shema napajanja TOP258EN

2.1. Podsustavi napajanja

U shemi napajanja prijenosnog računala prikazan je kaskadni spoj dva energetska pretvarača: ispravljača izvedenog kao jednofazni neupravljivi mosni spoj i istosmjernog pretvarača napona izvedenog kao zaporni pretvarač.



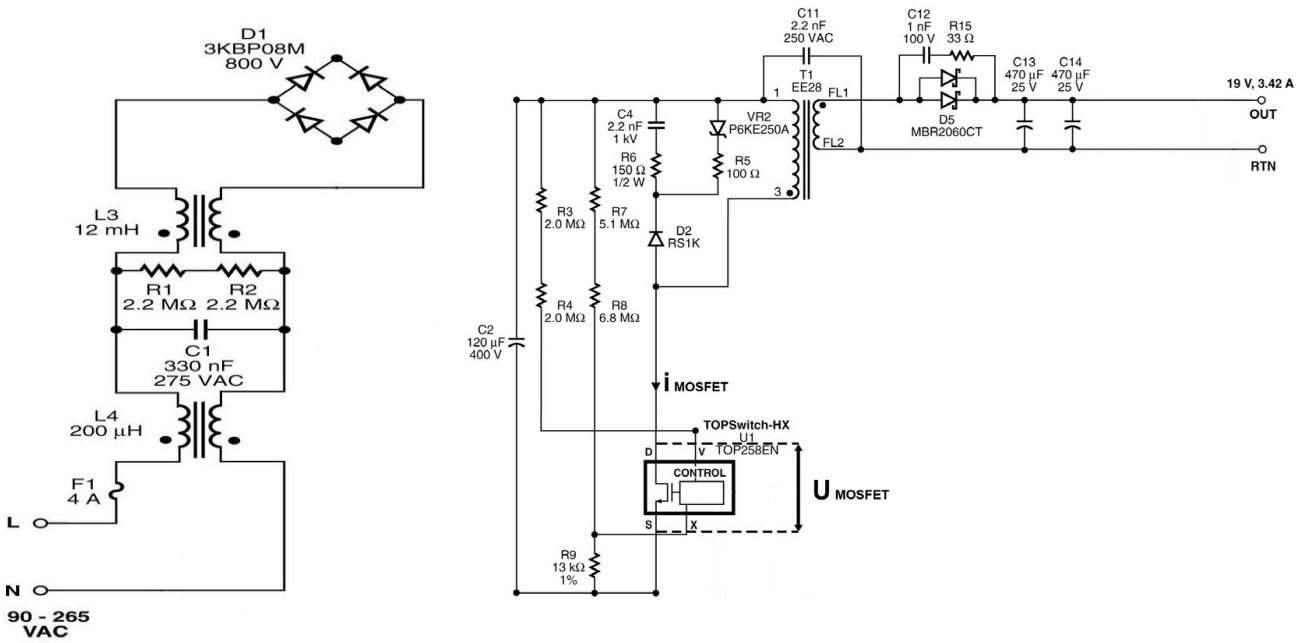
Slika 2. Blok dijagram napajanja

Kao priprema za modeliranje napajanja i predlaganje matematičkog modela, na slici 2., je prvo prikazan blok dijagram s označenim podsustavima napajanja.

2.2. Opis podsustava

Na ulazni dio napajanja dovodi se izmjenični napon 230 V, frekvencije 50 Hz. Ulazni dio napajanja sastoji se od ulaznog filtra i jednofaznog neupravljivog mosnog spoja, slika 3. Uloga filtra je uklanjanje ulaznih smetnji iz pojne mreže, ali i blokada povratnih smetnji koje nastaju zbog impulsnog rada zapornog pretvarača.

Energetski dio zapornog pretvarača sastoji se od MOSFET-a (oznake *U1 TOP258EN)*, transformatora (oznake *T1 EE28)*, brze diode (oznake *D5 MBR2060CT).* Ostale pasivne komponente sa slike 3. čine upravljački dio zapornog pretvarača ili imaju zaštitnu ulogu, te služe za osiguravanje periodičkog režima rada, [3]. Istosmjerni zaporni pretvarač radi na frekvenciji 132 kHz. Većom frekvencijom rada zapornog pretvarača za istu prenesenu snagu postižu se manje dimenzije transformatora, a samim time i manja cijena izrade napajanja prijenosnog računala.

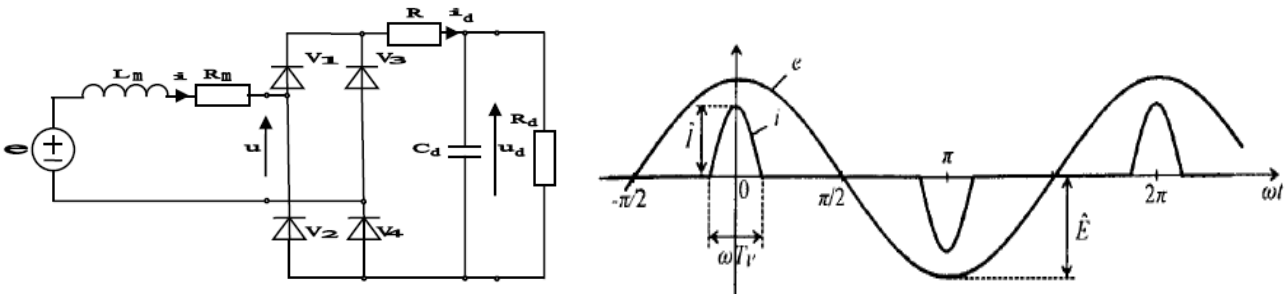


Slika 3. Ulazni dio i istosmjerni zaporni pretvarač

3. Matematički model napajanja TOP258EN i računala

Istosmjerni zaporni pretvarač zajedno s podsustavima računala koje napaja (elektronički sklopovi osobnog računala) se može modelirati otporom konstantne snage [4]. Kako se komponente ili dijelovi uređaja kojima treba osigurati konstantan napon modeliraju paralelnim spojem kapaciteta i otpora [5], tada se za matematički model napajanja i podsustava računala predlaže model jednofaznog neupravljivog mosnog spoja kapacitivno opterećenog, slika 4.

U tom slučaju je unutar poluperiode (-π/2, π/2) napona $e = \hat{E}\cos\omega t$ valni oblik struje izmjenične mreže dan izrazom:



Slika 4. Matematički model napajanja računala, te valni oblici na izmjeničnoj strani

$$i = \begin{cases} \hat{I}\cos\left(\dfrac{T}{2T_V}\omega t\right), & -\pi\dfrac{T_V}{T} \le \omega t \le \pi\dfrac{T_V}{T} \\ 0, & -\pi\dfrac{T_V}{T} \ge \omega t \ge \pi\dfrac{T_V}{T} \end{cases}$$

odnosno pri rastavu u Fourierov red:

$$i = \sqrt{2}\sum_{n=1}^{\infty} I(n)\cos n\omega t \quad ; \quad n = 1,3,5,.... \tag{1}$$

gdje je: - T_V ; trajanje vođenja jednog ventilskog para (npr. V_1, V_4),
- n; redni broj harmonika,
- $\omega = 2\pi f$; f-frekvencija pojne mreže,
- $I(n)$; efektivna vrijednost n-tog harmonijskog člana:

$$\boxed{I(n) = \frac{8\hat{I}}{\sqrt{2}\pi}\cdot\frac{T/T_V}{(T/T_V)^2 - 4n^2}\cos n\pi\frac{T_V}{T}; \qquad n = 1,3,5,...} \tag{2}$$

Efektivna vrijednost struje određuje se kao:

$$\boxed{I = \sqrt{\frac{T_V}{T}}\hat{I}} \tag{3}$$

U praksi je najčešće poznata ukupna djelatna snaga P_{ul} uređaja u sastavu kojega je razmatrani ispravljač, te efektivna vrijednost napona izmjenične mreže E.
U tom je slučaju postupak pri određivanju izmjeničnih karakteristika sljedeći:

- odredi se osnovni harmonik struje prema izrazu: $I(1) = P_{ul}/E$,
- na temelju pretpostavljenog odnosa T/T_V odredi se amplituda struje $\hat{I}$ iz izraza (2) uz n = 1,

$$\hat{I} = \frac{\sqrt{2}\pi}{8} I(1)\frac{(T/T_V)^2 - 4}{(T/T_V)\cos\pi(T_V/T)} \tag{4}$$

- te prividna snaga uređaja S i faktor snage λ, tj.:

$$S = EI \quad ; \quad \lambda = P_{ul}/S = I(1)/I$$

Dakle pod pojmom izmjeničnih karakteristika podrazumijeva se određivanje faktora snage λ i harmonijskog sadržaja ulazne struje, tj. efektivnih vrijednost struja harmonijskih članova.

4. Mjerenje izmjeničnih karakteristika napajanja računala

Mjerenja izmjeničnih karakteristika prijenosnog računala Toshiba provedena su s pomoću valnog analizatora LEM NORMA 4000, osciloskopa Tektronix TDS serije s pripadajućim mjernim sondama prema slici 5.a u Laboratoriju za energetsku elektroniku, Elektrotehničkog fakulteta Osijek.

Slika 5. a) Mjerno mjesto u laboratoriju.
b) Izmjerene vrijednosti za rad u pripravi.

Sva mjerenja su izvedena s računalom bez baterije, tj. baterija je izvađena iz prijenosnog računala. Tako izmjenične karakteristike računala ovise isključivo o napajanju elektroničkih sklopova računala. Pokazat će se kako prijenosno računalo opterećuje mrežu prilikom rada s različitim aplikacijama koje se koriste u svakodnevnoj upotrebi. Odabrane su sljedeće aplikacije: program za pisanje teksta, pregledavanje sadržaja na mreži pretraživačima, slušanje glazbe i pregledavanje video sadržaja kao što su spotovi i igrice. Također će se pokazati kolika je potrošnja pri tipičnim načinima rada prijenosnog računala kao što su: rad u pripravi (eng. stand by), rad s različito odabranim pozadinskim slikama (eng. wallpaper), rad s čuvarom zaslona (eng. screensaver), te rad prijenosnog računala spojenog na projektor.

4.1. Rad u pripravi

Danas sva računala imaju specifične postavke za uštedu energije. Tipična takva postavka je rad u pripravi. Ovaj se način rada računala može postići ručnim odabirom ili se automatski pokreće nakon, u postavkama zaslona, odabranog vremena. Na slici 5.b, je prikazan zaslon valnog analizatora pri ovom načinu rada. Zbog malog iznosa struje, sadržaj harmonika nije mjeren.

4.2. Rad s različito odabranim pozadinskim slikama

Odabir pozadinske slike prepušten je korisniku, kako bi mu se rad s računalom učinio što ugodniji oku. Izmjerene su izmjenične karakteristike za više odabranih pozadinskih slika pri mijenjaju postavki zaslona. Na slici 6.a) prikazan je zaslon računala s odabranom pozadinskom slikom (eng. Harmony). Mijenjanjem pozadinske slike potrošnja računala se mijenja beznačajno. Izmjerene izmjenične karakteristike valnim analizatorom

su prikazane na slici 6.b). Valni oblik ulazne struje snimljen osciloskopom i harmonijski sadržaj ulazne struje snimljen valnim analizatorom je prikazan na slici 7. U harmonijskom sadržaju ulazne struje prijenosnog računala izražen je 3. harmonik (90%), 5. harmonik (80%), te 7. i 9. harmonik (oko 70%). Posebni problem predstavlja 3. harmonik koji svojim iznosom dodatno opterećuje povratni(nulti) vodič [2].

Slika 6. a) Zaslon računala s odabranom pozadinskom slikom.
b) Izmjerene vrijednosti za rad s pozadinskom slikom.

Slika 7. Valni oblik ulazne struje i izmjereni harmonijski sadržaj napona i struje

4.2. Rad s čuvarom zaslona

Čuvar zaslona se automatski pokreće nakon neaktivnosti prijenosnog računala. Odabrano je više ponuđenih čuvara zaslona u postavkama. Jedan tipični čuvar zaslona (eng. 3D flower box) je prikazan na slici 8.a), a izmjerene izmjenične karakteristike analizatorom su prikazane na slici 8.b).

Slika 8. a) Zaslon računala s odabranim čuvarom zaslona.
b) Izmjerene vrijednosti za odabrani čuvar zaslona.

4.3. Rad s prijenosnim računalom spojenim na projektor

U ovom načinu rada, napravljena su dva mjerenja. Prvo mjerenje s aktivnim zaslonom računala i platnom na koji se šalje slika preko projektora, te drugo mjerenje kad je zaslon računala isključen, a slika se prikazuje projektorom na platnu. Rezultati mjerenja izmjeničnih karakteristika pri oba aktivna zaslona su prikazana na slikama 6.b) i 7., dok su za drugo mjerenje, rezultati mjerenja prikazani na slici 9.

Slika 9. Izmjenične karakteristike pri isključenom zaslonu prijenosnog računala

4.4. Rad prijenosnog računala s različitim aplikacijama

Slika 10. a) Zaslon računala s pokrenutom igricom.
b) Izmjerene vrijednosti za pokrenutu igricu.

Pri radu s programom za obradu teksta (eng. Word) i programom za slušanje glazbe s mreže, tzv. internet radio izmjenične karakteristike neznatno odstupaju od onih izmjerenih za pozadinsku sliku.

Slika 11. a) Zaslon računala s pokrenutim video filmom.
b) Izmjerene vrijednosti za pokrenuti video film.

Razlika je primijećena pri mjerenju izmjeničnih karakteristika kad se pokreću video igrice sa tvrdog diska ili s mreže, slika 10., kao i pri pokretanju drugog video materijala (spotovi i filmovi) sa stranica kao što je npr. eng. Youtube, slika 11. Pri tome je povećana potrošnja dok harmonijski sadržaj struje ostaje isti.

5. Komentari rezultata mjerenja i postupci za povećanje energetske učinkovitosti korištenja prijenosnog računala

Pri svim mjerenjima faktora snage λ, zabilježeni su kapacitivni faktori snage. Izmjereni valni oblik ulazne struje kvalitativno sliči na valni oblik ulazne struje predložene u matematičkom modelu. Time su se opravdale uvedene pretpostavke matematičkog modela.

Čak i pri radu u pripravi zabilježena je potrošnja od oko 5% u odnosu na potrošnju prijenosnog računala kada se ne koriste razne aplikacije. Mijenjanje pozadinske slike ne utječe na promjenu potrošnje prijenosnog računala. Korištenje čuvara zaslona koji se uključuju automatski prema vremenu podešavanja povećava potrošnju prijenosnog računala za otprilike 20%. Kada se prijenosno računalo priključuje na projektor, isključivanjem zaslona računala smanjuje se potrošnja za oko 23%. Rad s aplikacijama unutar operacijskog sustava (eng. MS Office) neznatno povećavaju potrošnju prijenosnog računala. S druge strane pokretanje bilo kojeg video sadržaja (igrica, spot ili film) povećava potrošnju od otprilike 40% do otprilike 70%.

Postupci koji se predlažu za povećanje energetske učinkovitosti su sljedeći:

- Obavezno isključiti prijenosno računalo iz utičnice napajanja ili za napajanje koristiti tzv. razvodne letve koje imaju ugrađen prekidač za isključivanje napajanja s pojne mreže.
- U podešavanjima zaslona prijenosnog računala obavezno isključiti čuvare zaslona.
- Pri korištenju prijenosnog računala spojenog na projektor preporučuje se isključiti zaslon prijenosnog računala ukoliko se time ne narušava razina udobnosti koju ima korisnik pri prezentiranju.

5. Zaključak

Mjerenjima valnog oblika ulazne struje i faktora snage prijenosnog računala verificiran je predloženi matematički model.

Za različite načine rada izmjerene su izmjenične karakteristike i primijećen je povećani udio 3. harmonika u iznosu od čak 90% osnovnog harmonika.

Pri mjerenju potrošnje je uočeno da čuvari zaslona dodatno povećavaju potrošnju prijenosnog računala (za oko 20%) kao i gledanje video sadržaja sa mreže ili s tvrdog diska (od 40% do čak 70 %).

Predloženi su postupci za povećanje energetske učinkovitosti korištenja prijenosnog računala.

6. Literatura

[1] Power Integrations DER-197, 65 W Adapter Using TOP258EN, http://www.powerint.com/sites/default/files/PDFFiles/der197.pdf, srpanj 2013.

[2] Pavlić, Jadran. Mjerenje izmjeničnih karakteristika prijenosnog računala//*Diplomski rad br.1893,*Elektrotehnički fakultet Osijek, 2010.

[3] Flegar, Ivan. Sklopovi energetske elektronike - Odabrani primjeri, Graphis, Zagreb, 1996.

[4] Flegar, Ivan. Elektromagnetska kompatibilnost 1.dio: Niskofrekvencijske pojave, Osiijek, 2003.

[5] Flegar, Ivan. Elektronički energetski pretvarači, Kigen, Zagreb, 2010.

Arhitektura i energija
Architecture and Energy

Ž. Jurković*, Z. Dolaček-Alduk, S. Lončar-Vicković

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek, Hrvatska

*Autor za korespodenciju. E-mail: zjurkovic@gfos.hr

Sažetak
U članku se problematizira pitanje koje sastavnice arhitekturu čine arhitekturom na početku 21. stoljeća. Energetska i ekološka kriza te velika potrošnja energije u zgradarstvu nameću veću odgovornost arhitektima prema ekološkim problemima, što je regulirano zakonskim propisima i strukovnim dokumentima. Na taj način, implementacija energetske učinkovitosti postaje ravnopravna sastavnica osnovnim elementima arhitekture: funkciji, konstrukciji i obliku. Takav holistički pristup znači promišljanje zgrade (arhitekture) kao cjeline, odnosno integralni pristup projektiranju u kojem je od početka nužna suradnja svih projektanata. Energetski angažirana arhitektura koja djeluje odgovorno i promišljeno ima i dodatnu tržišnu vrijednost.

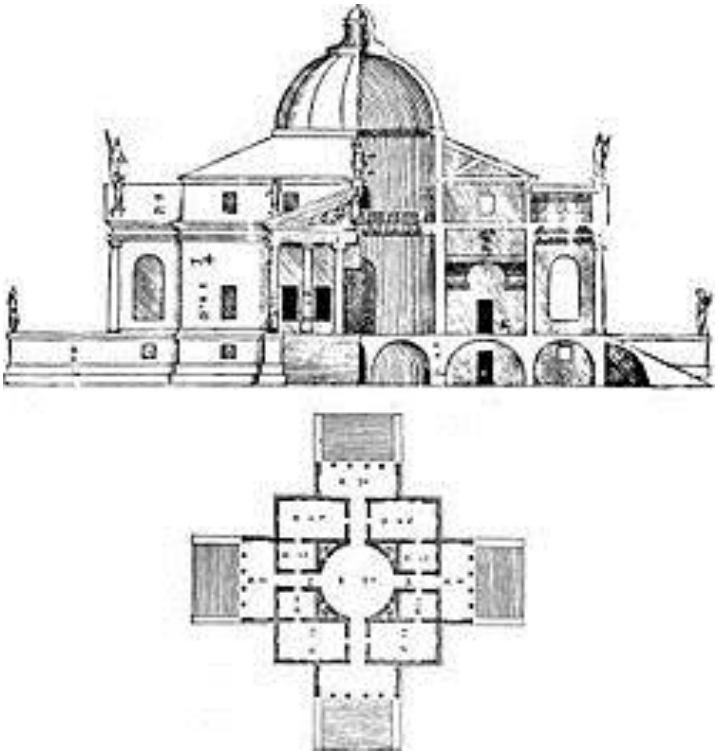
Abstract
This article deals with redefining architecture's integral components at the beginning of 21st century. Energy and environmental crisis, combined with high energy consumption in buildings, impose greater responsibility on architects in regard to environmental problems, an issue that is regulated by legislation and professional standards. Therefore, energy efficiency becomes a basic component of architecture, equal to function, structure and form. Such a holistic approach implies not only reviewing a building (architecture) as a whole but also an integrated approach to design that incorporates different designer profiles from the start. Last but not least, energy engaged architecture that operates responsibly and thoughtfully provides added market value as well.

Ključne riječi: arhitektura, energetska učinkovitost, integralno projektiranje

1. Pojam arhitekture

Arhitektura, disciplina koja ujedinjuje umjetnost i tehniku, je uvijek težila skladu između oblikovnog i utilitarnog, ravnoteži odnosa funkcije, konstrukcije i forme. Taj klasični Vitruvijevski princip po kojemu arhitektura mora zadovoljavati tri kriterija: strukturu

(firmitas), funkciju (utilitas) i ljepotu (venustas), stoljećima je bio okosnica sličnih definicija i poimanja arhitekture [1].

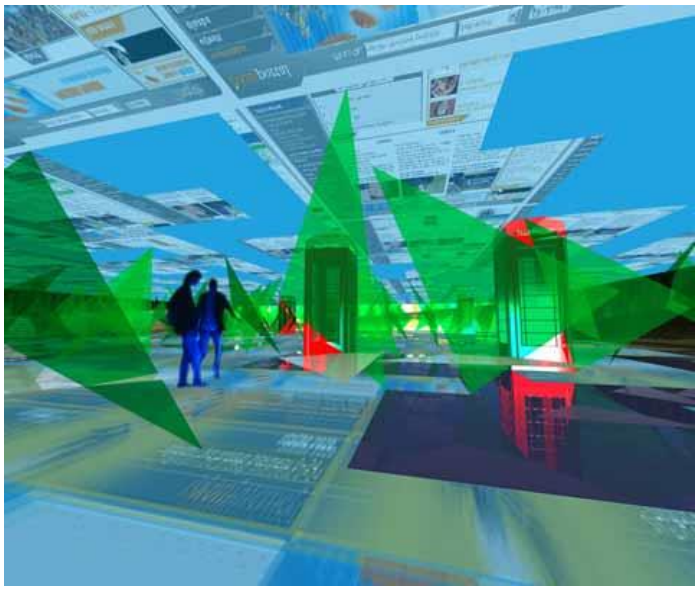


Slika 1. Andrea Palladio, Vila Rotonda, Vicenza 1570. godine
(izvor: http://en.wikipedia.org)

Prema prof. Mohorovičiću arhitektura sadrži umjetničko htjenje i kreativna je disciplina koja formira i kreira prostore za različite vidove čovjekovih fizičkih i psihičkih djelatnosti. Prema prof. Magašu arhitektura je umjetnost građenja [2]. Osnovne definicije nadograđivali su različiti teoretičari proširujući sastavnice arhitekture; tako Norberg-Shultz naglašava bitnost odnosa arhitekture prema njezinom okolnom urbanističkom kontekstu [3]. Novije definicije poput Saundersove ističu da arhitektura treba:

1. biti umjetnost,
2. biti dobrohotna za socijalno neprivilegirane te poboljšati kvalitetu života korisnika,
3. oživljavati najbolje tradicije oblikovanja,
4. biti dobro konstruirana,
5. izražavati vrijeme svog nastanka i
6. izražavati želje običnih ljudi [4].

Penezić i Rogina istražuju eksperimentalnu arhitekturu i smatraju da arhitektura u digitalnom dobu više nije igra volumena na svjetlu, ona danas obavija igru digitalnih informacija u prostoru dok čovjek živi u virtualnom okolišu koji se nameće realnom [5].



Slika 2. Penezić i Rogina, Elektronički okoliš, Arhitektura u Digitalno doba, 2003.
(izvor: www.matica.hr)

Postavlja se pitanje: što je arhitektura na početku 21. stoljeća? Koje su osnovne sastavnice arhitekture u 21. stoljeću? Dok se (utopistička?) predviđanja o životu u virtualnom svijetu ne ostvare, materijalnost arhitekture u klasičnom konceptu postoji i dalje. I danas je arhitektura igra volumena na svjetlu. Razlog je jednostavan: život sa svojim svakodnevnim potrebama i usprkos dgitalnom dobu još uvijek zahtijeva materijalno okruženje.

Do pojave energetske krize sredinom sedamdesetih godina 20. stoljeća diskusija o arhitekturi primarno se fokusirala na rasprave o mjestu i ulozi arhitekture u povijesnom i ideološkom kontekstu, o socijalnoj ulozi arhitekta. Krajem 20. i početkom 21. stoljeća odgovornost arhitekta se s lokalnog konteksta proširuje na globalna pitanja ekologije i opstanka. Posljednjih 20-ak godina naglasak je na simbiozi arhitekture i tehnologije, informatike, ekonomije, a posebno ekologije, tj, održivog građenja i energetike. Energija je strateška potreba svake države, a Hrvatska uvozi oko 51% potrebne energije. To ukazuje na važnost implementiranja mjera energetske učinkovitosti u svim područjima, posebice u zgradarstvu, budući da se u Hrvatskoj u zgradama troši cca 43 % ukupne energije i emitira 36% CO2 u okoliš, uz stalnu tendenciju porasta [6]. Poseban energetski problem su zgrade izgrađene od 50-ih do 70-ih prošlog stoljeća (prije svjetske energetske krize) koje čine više od 70% stambenog fonda u Hrvatskoj i koje traže sustavnu i cjelovitu energetsku obnovu. Zbog dugog životnog vijeka, zgrade imaju trajan utjecaj na potrošnju energije pa se ušteda energije u zgradarstvu nameće kao strateški prioritet energetske i graditeljske djelatnosti.

Energetska potrošnja namijenjena grijanju, pripremi tople vode i kondicioniranju zraka najznačajniji je dio energetske potrošnje u zgradama. Smanjenje potrošnje energije direktno utječe na troškove života i održavanja zgrada, povećava komfor i produžuje životni vijek zgrada. Povećanje energetske učinkovitosti u zgradama doprinosi povećanju

životnog standarda, gospodarskom razvoju, razvoju industrije, zapošljavanju te većoj konkurentnosti nacionalne ekonomije.
Stoga se postavlja pitanje: kako i koliko zahtjevi za energetskom učinkovitošću utječu danas na arhitekturu u Hrvatskoj? Da li klasična definicija *Arhitektura = funkcija + konstrukcija + forma* pripada prošlosti i zamjenjuje li se novom: *Arhitektura = funkcija + konstrukcija + forma + energetska učinkovitost*?

2. Zakonodavni okvir

Graditeljstvo i arhitektura spadaju u tzv. regulirane djelatnosti. Danas u Hrvatskoj zakoni iz područja energetike zgradarstva imaju primarno tri cilja:
1. smanjenje potrebe za energijom,
2. povećanje energetske učinkovitosti i
3. povećanje udjela obnovljivih izvora energije [6].

Važeći Zakon o prostornom uređenju i gradnji (dalje u tekstu: Zakon) definira uštedu energije i očuvanje topline kao bitan zahtjev za građevinu koji se osigurava projektom i proračunom građevine, izvedbom i održavanjem građevine te uporabom građevnih proizvoda [7]. Odredbe o uštedi energije odnose se na grijanje i hlađenje prostorija, kontrolu vlažnosti, pripremu sanitarne tople vode i provjetravanje. Građevina i njezine instalacije moraju biti projektirane i izvedene uzimajući u obzir klimatske uvjete lokacije i uporabu građevine tako da je potrebna količina energije za uporabu građevine mala. Budući se radi o definiranju zahtjeva za građevine različitih namjena, Zakonom je određeno da se bitni zahtjevi detaljnije razrađuju u tehničkim propisima u kojima se u skladu s načelima europskog tehničkog zakonodavstva propisuju bitni zahtjevi za pojedinu vrstu građevine, tehnička svojstva koja moraju imati građevni proizvodi koji su ugrađuju te se utvrđuju zahtjevi u vezi s građenjem, rekonstrukcijom i održavanjem građevina. Najvažniji tehnički propis je *Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* koji grupira zgrade u energetske razrede ovisno o specifičnim godišnjim potrebama za energijom [8].
Zakonom je u Hrvatskoj 2011. godine uveden neovisan sustav kontrole i izvješća o pregledu sustava potrošnje energije u zgradama, tzv. energetsko certificiranje. Postupak energetskog certificiranja podrazumijeva postupke energetske kontrole novih i postojećih zgrada temeljem čega se izdaje energetski certifikat koji dijeli zgrade u razrede prema godišnjoj potrošnji energije. Prema odredbama Zakona prije izdavanja uporabne dozvole ili drugog akta za uporabu, prije promjene vlasništva ili iznajmljivanja zgrade, mora se pribaviti certifikat o energetskim svojstvima zgrade koji izdaje ovlaštena osoba. Pravilnikom o energetskim pregledima građevina i energetskom certificiranju zgrada propisano je energetsko certificiranje novih i postojećih zgrada. Zgrada čija građevinska bruto površina nije veća od 400 m² i zgrada za obavljanje poljoprivrednih djelatnosti čija građevinska bruto površina nije veća od 600 m² mogu se početi koristiti nakon što investitor nadležnom tijelu dostavi završno izvješće nadzornog inženjera [9]. Za zgrade za koje se izdaje uporabna dozvola, mora se pribaviti energetski certifikat koji se prilaže uz zahtjev za izdavanje uporabne dozvole.

Prijedlog novog Zakona o gradnji, koje je u lipnju ove godine bio u proceduri javne rasprave, još strože utvrđuje gospodarenje energijom, očuvanje topline i održiva uporaba prirodnih izvora kao bitne temeljne zahtjeve za građevinu. U poglavlju *„2. Energetska svojstva zgrade“* predlaže se donošenje posebnog tehničkog propisa kojim će se propisati minimalni zahtjevi za energetska svojstva zgrada, minimalni obvezni udio obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije zgrade te kriteriji za zgrade s gotovo nultom potrošnjom energije. Ovisno o vrsti zgrade trebat će se izraditi elaborat ekološke, tehničke i gospodarske opravdanosti i izvodivosti primjene alternativnih sustava opskrbe energijom, sve to u ranoj fazi projektiranja prije izrade glavnog projekta. Po prijedlogu novog Zakona o gradnji vlasnici zgrada koje podliježu obvezi energetskog pregleda bit će dužni osigurati provođenje energetskog pregleda svakih deset godina.

3. Arhitektonska politika - arhitektonski okvir

Arhitektonske politike dio su ukupne politike države kojim se iskazuje opći interes za kvalitetu sveukupnog prostora te su katalizator procesa održivog razvoja i unapređenja oblikovnih vrijednosti utemeljenih u graditeljskim posebnostima, zaštiti zdravlja i očuvanju klime svake zemlje. Prostor Hrvatske njezino je temeljno dobro, a kvalitetna izgradnja tog prostora javni je interes bitan za pojedinca i za održivi napredak društva.
Vlada Republike Hrvatske prihvatila je 30. studenog 2012. godine dokument *Arhitektonske politike Republike Hrvatske 2013-2020, ApolitikA, Nacionalne smjernice za vrsnoću i kulturu građenja* (u daljnjem tekstu: ApolitikA) [10].

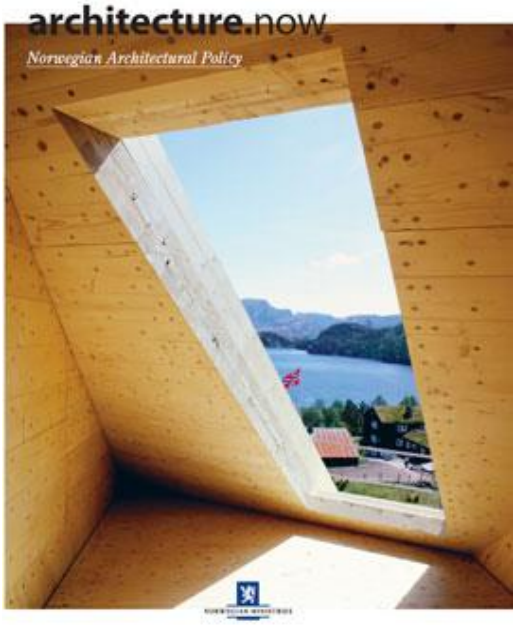
Slika 3. Logo dokumenta Arhitektonske politike Republike Hrvatske 2013-2020, ApolitikA
(izvor: www.u-h-a.hr)

Nositelji izrade dokumenta bili su Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, Savjet prostornog uređenja Države, Hrvatska komora arhitekata, Hrvatska komora inženjera građevinarstva i Udruženje hrvatskih arhitekata. ApolitikA iskazuje službeni stav i utvrđuje da je za postizanje visoke kvalitete izgrađenog prostora potreban integralni pristup koji podrazumijeva koordinirano djelovanje pojedinaca i ustanova.
ApolitikA je usmjerena na ostvarivanje tri osnovna cilja:
1. Kultura građenja kao preduvjet kvalitete izgrađenog prostora,
2. Kvaliteta izgrađenog prostora kao osnova za dobar život svakog pojedinca i
3. Kvaliteta arhitekture kao poticaj nacionalnog razvoja i napretka.

Za ostvarivanje tih ciljeva arhitektonske politike prepoznaju deset tematskih područja:
1. Društvena svijest,
2. Javni zahvati u prostoru,
3. Graditeljska baština (naslijeđe),

4. Razvoj, planiranje i uređenje prostora,
5. Građenje i oblikovanja prostora,
6. Stanovanje,
7. Arhitektonsko- urbanistički natječaji,
8. Obrazovanje,
9. Prostor i arhitektura kao pokretači gospodarskog razvoja i
10. Zakonodavni okvir.

Iz navedenog je vidljivo da ApolitikA ne utvrđuje održivo građenje kao jedan od bitnih ciljeva arhitektonskog djelovanja u Hrvatskoj. Održiva gradnja navedena je u poglavlju *„5. Građenje i oblikovanje prostora“* kao izazov i inicijativa, a ne kao imperativ: *„Kvaliteta izgrađenog prostora zasnovana je i na njegovoj održivosti. Primjenom principa održive gradnje osigurava se dugotrajnost, gospodarska i ekološka prihvatljivost pojedinog zahvata u prostoru. Energetska učinkovitost, korištenje ekološki prihvatljivih materijala i tehnologija, kao i obnovljivih izvora energije preduvjet su dugoročnog očuvanja našeg cjelokupnog životnog okoliša, uz istodobno osiguranje ugodnog i zdravog životnog prostora. Država mora biti regulator, promotor i poticatelj principa održive gradnje te primjene učinkovitih i održivih rješenja.“* Komparacije radi, arhitektonska politika Norveške, jedne od energetski najbogatijih zemalja svijeta, kao glavne izazove s kojima se danas suočava utvrđuje održivost i klimu, promjene i transformacije te znanje i inovacije [11].



Slika 4. Naslovna stranica dokumenta Arhitektonska politika Norveške
(izvor: arhiva autora)

Norveška arhitektonska politika utvrđuje šest žarišnih područja djelovanja:
1. Arhitektura treba odabirati ekološka i energetski prihvatljiva rješenja,
2. Gradovi i centri naselja trebaju se izgrađivati kvalitetnom arhitekturom,
3. Vlada treba čuvati graditeljsko naslijeđe i kulturni okoliš,

4. Arhitektura se treba širiti i promovirati znanjem i kompetencijama,
5. Državne investicije trebaju biti uzorni model i
6. Norveška arhitektura treba biti vidljiva internacionalno.

Arhitektonska politika Norveške proklamira razmatranje energetskog koncepta zgrade u ranim fazama odlučivanja o projektu, lokaciji, oblikovanju i konstrukciji. Važno je da svi stručnjaci uključeni u procese projektiranja imaju relevantna znanja o upotrebi i potrošnji energije jer se najbolji rezultati postižu interdisciplinarnim suradnjom između arhitekata i drugih profesionalaca, odnosno integralnim pristupom projektiranju. Arhitektura mora biti utemeljena na principima i rješenjima koja uzimaju u obzir pitanja klimatskih promjena. Više nego do sada treba se fokusirati na upotrebu ekoloških materijala, na odabir učinkovitih energetskih rješenja, na odgovorno gospodarenje otpadom i prilagođavanje klimatskim promjenama. Cilj norveške arhitektonske politike je graditi zgrade koje će imati najmanji mogući utjecaj na okoliš.

Iz komparacije arhitektonskih politika Hrvatske i Norveške vidljivo je da ApolitikA probleme održive gradnje, ekološke očuvanosti, energetske učinkovitosti i klimatskih promjena smatra sekundarnim, za razliku od Norveške koja u arhitektonskim politikama ekološka i energetska rješenja smatra prioritetom te promiče integralni pristup projektiranju. Pitanja održivosti i klime su centralna su pitanja za razumijevanje norveške arhitektonske politike.

Iz dokumenta ApolitikA proizlazi da, unatoč deklariranim stavovima i utvrđenom zakonodavnom okviru, u Hrvatskoj još u arhitektonskoj struci nije dovoljno jaka svijest da su održiva gradnja i energetska učinkovitost nužan koncept današnjeg i budućeg arhitektonskog djelovanja, a ne moguća opcija. U tom smislu, postojeći zakoni te prijedlozi novih, još strožih zakonodavnih standarda, trebali bi nametnuti svim strukama, pa tako i arhitektima, obavezna pravila djelovanja vezano uz primjenu energetske učinkovitosti.

4. Integralno projektiranje

Osnovni zahtjevi kod projektiranja energetski učinkovite zgrade su smanjenje potrebe za energijom i maksimiziranje korištenja obnovljivih izvora energije. Zadovoljavanje tzv. *„3E–formule: energija, ekonomija, ekologija“* zakonski je okvir djelovanja postavljen pred projektante svih struka.

Koncepcija cjelovitog ili energetski učinkovitog građenja zgrada podrazumijeva istovremeno razmatranje svih aspekta zgrade: oblika, odabranog konstruktivnog sistema, izračuna potrošnje energije, načina protupožarne zaštite, načina izvedbe zgrade, organizacije građenja itd. Iz tog razloga kod projektiranja energetski učinkovite zgrade nužna je interdisciplinarna suradnja svih sudionika od samog početka projektiranja, tj. nužno je integralno i sveobuhvatno projektiranje svih elemenata projekta i izvedbe zgrade. Integralni pristup projektiranju od svih sudionika traži više napora i međusobnog usklađivanja od danas standardnog i pretežno primijenjenog koordiniranog projektiranja. Integralno projektiranje podrazumijeva holistički pristup: treba razumjeti odnos pojedinih dijelova sa cjelinom, uzeti u obzir međusobne interakcije, interdisciplinarno promišljati o cjelokupnoj zagradi kao jedinstvenom i nedjeljivom sustavu. U integralnom pristupu projektiranju, od koncepta do detalja, svaki element ostvaruje postavke energetske

učinkovitosti. Sustavi grijanja / hlađenja / ventiliranja / opskrbe vodom / odvodnje i sl. promišljeno su integrirani u arhitektonski i graditeljski koncept. Za arhitekturu kao disciplinu na taj način otvoreno je novo polje djelovanja koje graniči s elektrotehničkim i strojarskim inženjerstvom.

5. Forma slijedi energiju [12]

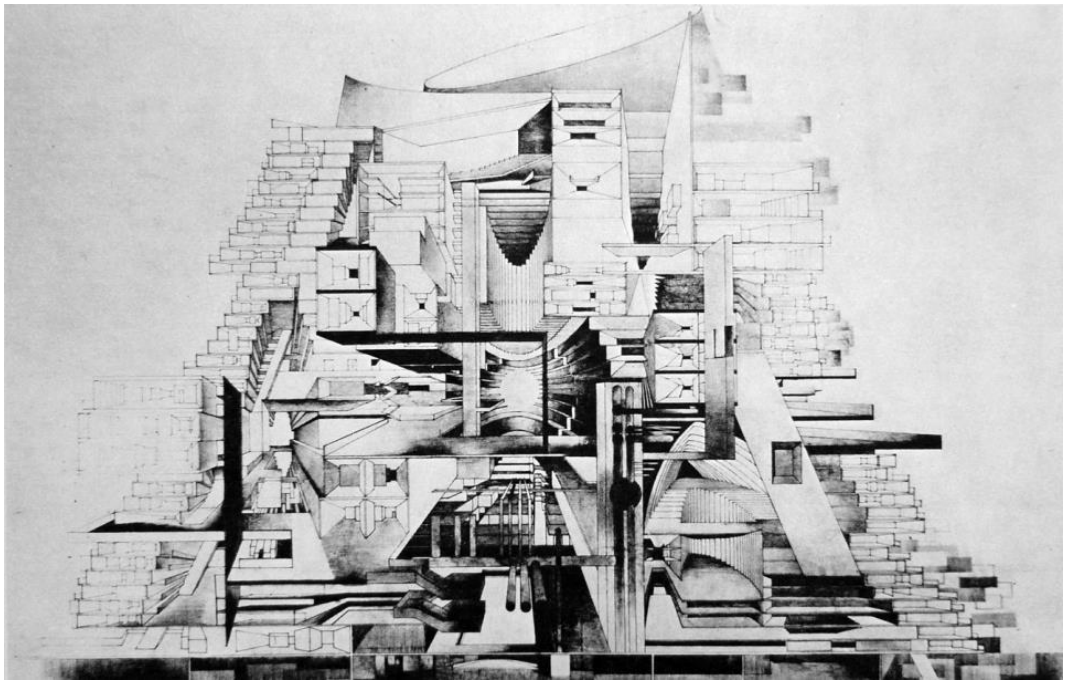
Europska unija (u daljnjem tekstu: EU) je 2008. godine definirala ciljeve i dosege svoje odgovornosti prema svjetskoj zajednici obzirom na zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost kao i na činjenicu da Europa danas uvozi više od 50% energije. Ambiciozni plan EU do 2020. godine poznat kao plan „20-20-20“ , koji je prihvatila i Hrvatska, propisuje da se do 2020. godine:

1. smanji ukupna energetska potrošnja za 20%,
2. poveća korištenje obnovljivih izvora na 20% ukupne proizvodnje energije i
3. smanji emisija CO2 za 20%.

Nova Direktiva 2010/31/EU (dalje u tekstu: Direktiva) o energetskim svojstvima zgrada (EPBD II) uvodi pojam „gotovo nula energetske zgrade“. Direktiva propisuje da od 31. prosinca 2018. godine nove javne zgrade u vlasništvu tijela javne vlasti trebaju biti „gotovo nula energetske“, a od 31. prosinca 2020. godine sve nove zgrade trebaju biti „gotovo nula energetske“. Navedeno se odnosi i na rekonstrukcije. „Gotovo nula energetske zgrade“ definirane su kao zgrade koje imaju vrlo visoka energetska svojstva pa im je za funkcioniranje potrebna nulta ili vrlo mala količina energije koja treba biti energija iz obnovljivih izvora proizvedena na lokaciji ili u njenoj blizini. Uvažavajući raznolikost kulture građenja i različite klimatske karakteristike u zemljama EU, Direktiva ne propisuje jedinstveni pristup za implementaciju „gotovo nula energetskih zgrada“ već se od članica traži izrada nacionalnih akcijskih planova za povećanje broja „gotovo nula energetskih zgrada“, uvažavajući pritom nacionalne, regionalne i lokalne uvjete. Republika Hrvatska još nije zakonski definirala „gotovo nula energetsku zgradu“. Za postizanje energetskog standarda „gotovo nula energetske zgrade“ potrebno je cjelovito rješenje koje uključuje koordinaciju svih struka uključenih u projekt: arhitektonske, građevinske, strojarske i elektrotehničke, tj. neophodno je integralno projektiranje. Elementi za proizvodnju energije iz obnovljivih izvora (sunca, vjetra i sl.) postaju novi oblikovni elementi pa arhitekti trebaju poznavati osnove tehnologije kako bi ih mogli integrirati u arhitektonska rješenja.

Da li su hrvatski arhitekti i ostali inženjeri / projektanti za tu blisku budućnost spremni?

Arhitekt Vjenceslav Richter prikazao je još 1964. godine svoj princip sinturbanizma, zgradu za 10000 ljudi u obliku zikurata [13] . Pri tome je, koristeći tadašnju tehnologiju, prikazao tzv. potpuni energetski sustav (Total Energy System) unutar kojeg zgrada nije trošila toplinsku energiju do -5° C vanjske temperature Taj neostvareni projekt pionirski je i povijesni primjer promišljanja održivog urbanizma i arhitekture u Hrvatskoj.



Slika 5. Vjenceslav Richter, sinturbanizam, pogled na detalj zigurata, 1964.
(izvor: http://savremenaarhitektura.wordpress.com)

U godinama koje su slijedile javljali su se pojedinačni primjeri energetski učinkovitih, prije svega niskoenergetskih, a potom i pasivnih obiteljskih kuća.

Slika 6. Ljubomir Miščević, prva pasivna kuća u Hrvatskoj, Brestovje, 2005.
(izvor:www.ee.undp.hr)

Početkom 21. stoljeća energetski učinkovita gradnja sve više se realizira na višestambenim zgradama te na zgradama javne i poslovne namjene. Ohrabruje da je produkcija energetski učinkovitih zgrada u Hrvatskoj svakim danom veća, ali je još uvijek izrazito nedovoljna jer udio obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj iznosi samo 2,97% [6].

Slika 7. Niskoenergetska višestambena zgrada, Koprivnica, 2012.
(izvor:www.ekokuce.com)

Arhitektura, disciplina koja ujedinjuje umjetnost i tehniku, neminovno će postati dio integralnog projektiranja u kojem tehnološki aspekti apliciranja opreme i postrojenja vezanih uz uštedu energije postaju ravnopravni klasičnim sastavnicama arhitekture: funkciji, konstrukciji i formi. Time se otvara mogućnost da se tehnologija i instalacije na kreativan način integriraju u funkcioniranje i pojavnost zgrade čime se arhitekturi otvaraju nove mogućnosti djelovanja.

6. Zaključak

U prošlosti, arhitektura je razloge nastanka temeljila prvenstveno na preispitivanju i istraživanju arhitektonskih koncepata i modela, potom na na kulturnim, javnim, socijalnim i društvenim angažmanima, dakle, na angažmanima koji dijelom izlaze iz okvira discipline. Na početku 21. stoljeća to znači punu odgovornost spram pitanja okoliša jer arhitektura u 21. stoljeću više ne može biti samodostatna disciplina. Povećanje potrošnje energije i efekt staklenika jedni su od najbitnijih problema današnjice i arhitektura ne može djelovati izvan tog vremenskog konteksta.

Niskoenergetske zgrade i „gotovo nula energetske zgrade“ bliska su budućnost standarda gradnje u Europi, pa tako i u Hrvatskoj. Suvremena arhitektura mora pravilno optimirati energetske potrebe zgrade i omogućiti korisnicima racionalno upravljanje potrošnjom energije.

Koncept energetski održive gradnje može se primijeniti na sve namjene i veličine zgrada: od obiteljskih kuća, višestambenih zgrada do poslovnih tornjeva, aerodromskih terminala, industrijskih zgrada itd. Takav koncept zahtijeva multidisciplinarni integralni pristup projektiranju jer svaki element ostvaruje zadane postavke energetske učinkovitosti. Energetsko projektiranje zgrada treba biti percipirano kao atraktivno i treba ga u većoj mjeri uključiti u edukaciju arhitekata. Arhitektura 21. stoljeća u Hrvatskoj mora biti energetski i ekološki osviještena, na to ju prisiljava zakonodavstvo, tome ju treba voditi savjest i etika pojedinca i struke.

Arhitektura ima ogroman potencijal i odgovornost za rješavanje velikog dijela energetskih i ekoloških problema današnjice. To je izazov i prilika koju struka ne bi smjela propustiti i kojoj se treba prilagoditi. Energetski angažirana arhitektura koja djeluje promišljeno i odgovorno ima novu oblikovnu i dodanu tržišnu vrijednost.

Koncept energetske održivosti pred arhitekte i ostale inženjere / projektante postavlja nove izazove. Nije li vrijeme da se na te izazove odgovori?

7. Literatura

[1] Vitruvije. Deset knjiga o arhitekturi. Zagreb: Tehnička knjiga, 1999. (ISBN 953-6168-89-8)

[2] Predavanja prof. Magaša na kolegiju Teorija arhitekture na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, 1991.

[3] Norberg-Shultz, Christian. Intentions in Architecture. Cambrige: The MIT Press 1965. (ISBN 0 262 64002 3)

[4] Saunders, William S. From Taste to Judgement: Multiple Criteria in the evaluation of architecture // *Harvard Design Magazine*, No.7.(1999). Cambrige: Harvard University Graduate School of Design

[5] Penezić, Vinko; Rogina, Krešimir. Arhitektura u digitalno doba // *Vijenac*, 255 (2003) (ISSN 1333-9249)

[6] Energija u Hrvatskoj 2011 godišnji energetski pregled. Zagreb: Ministarstvo gospodarstva, 2012. (ISSN 1847-0823)

[7] Zakon o prostornom uređenju i gradnji („Narodne novine“ broj 76/07, 38/09, 55/11, 90/11 i 50/12)

[8] Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama („Narodne novine“ broj 110/08, 89/09 i 79/13)

[9] Pravilnik o energetskim regledima građevina i energetskom certificiranju zgrada („Narodne novine“ broj 81/12, 29/13 i 78/13)

[10] ApolitikA Arhitektonske politike Republike Hrvatske. Zagreb: Ministarstvo graditeljstva i prostornog uređenja, 2013. (ISBN 978-953-57614-0-2)

[11] Norvegian Architectural Policy. Oslo: The Ministry of Culture and Church Affairs, 2009. (V-0949 B)

[12] Cody, Brian. Arhitektura slijedi energiju // *Čovjek i prostor*, 09-10 (676-677) (2010). (ISSN 0011-0728 UDK 71-72)

[13] Richter, Vjenceslav. Sinturbanizam. Zagreb: Mladost, 1964. (CB02.01 RIC s)

Sunčeva energija – rezervni energent i smanjenje potrošnje prirodnog plina
Solar energy – spare energy source and reduction od natural gas consumption

K. Hornung[1,2*], M. Stojkov[2], E. Hnatko[2], M. Kljajin[2],

[1] Srednja škola Valpovo, Valpovo, Hrvatska
[2] Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska

[*]Autori za korespodenciju. E-mail: krunoslav.hornung@os.htnet.hr
marinko.stojkov@sfsb.hr

Sažetak

U članku se razmatra mogućnost upotrebe Sunčeve energije za dogrijavanje potrošne tople vode i/ili podrške grijanju - mogućnost uštede prirodnog plina te proizvodnje električne energije, koju prilikom nestanka električne energije koristimo za pokretanje osnovnih / potrebnih uređaja, poglavito u sustavu grijanja.

U prvom dijelu rada su rezultati analize potrošnje prirodnog plina u vremenu do 2011. godine, sa naglaskom na opću potrošnju (ustanove, kućanstva). Mogućnost novčanih ušteda je značajna kod velikog broja malih potrošača, gdje svaki pojedini potrošač može uštedjeti barem 5–10 % upotrebom obnovljivih izvora energije (OIE) za dobivanje sanitarne potrošne vode i podrške grijanju.

Drugi dio članka odnosi se na proizvodnju manje količine električne energije, potrebne za pokretanje osnovnih električnih uređaja. Naime, nedostatkom plina (problemi u opskrbi), mogu se koristiti el. grijalice, klima uređaji i sl. Međutim, kada nestane opskrba električnom energijom, dolazi do nemogućnosti korištenja sustava grijanja iako je opskrba prirodnim plinom uredna budući da nedostaje električna energija potrebna za pokretanje pumpe. Takva situacija se javlja u mnogim domaćinstvima jer u pravilu ne postoji alternativni izvor grijanja. U međuvremenu, tako dobivena električna energija se može koristiti za napajanje drugih trošila (svjetlo i slične namjene).

Abstract

This article analysis possibility of solar energy usage for heating of consumable hot water and/or heating support – possibility for natural gas saving and production of electric energy that is used to run basic/required devices (specially electric devices of heating system) when power failure occurs.

The first part of the article deals with results of analysis of natural gas consumption in the period up to the year 2011th, with an emphasis on general consumption (institutions, households). Possibility of financial savings is significant in great number of small consumers, where each consumer can save at least 5–10% by using renewable energy sources to obtain sanitary hot water and for heating support.
The second part of the article refers to the production of small amounts of electricity, needed to run basic electrical devices. In case of gas shortage (supply problems), electric heaters, air conditioners etc. can be used. However, when there is electric power supply problem, the heating system is out of use although natural gas supply is stabile because electric energy required to drive pumps is missing. Similar situation occurs in many households because in most cases there is not alternate electricity source. Meanwhile, electric energy obtained in this way can be used to power other electrical devices (lights, etc.).

Ključne riječi: sučeva energija, prirodni plin, ušteda, rezervni energent

1. Uvod

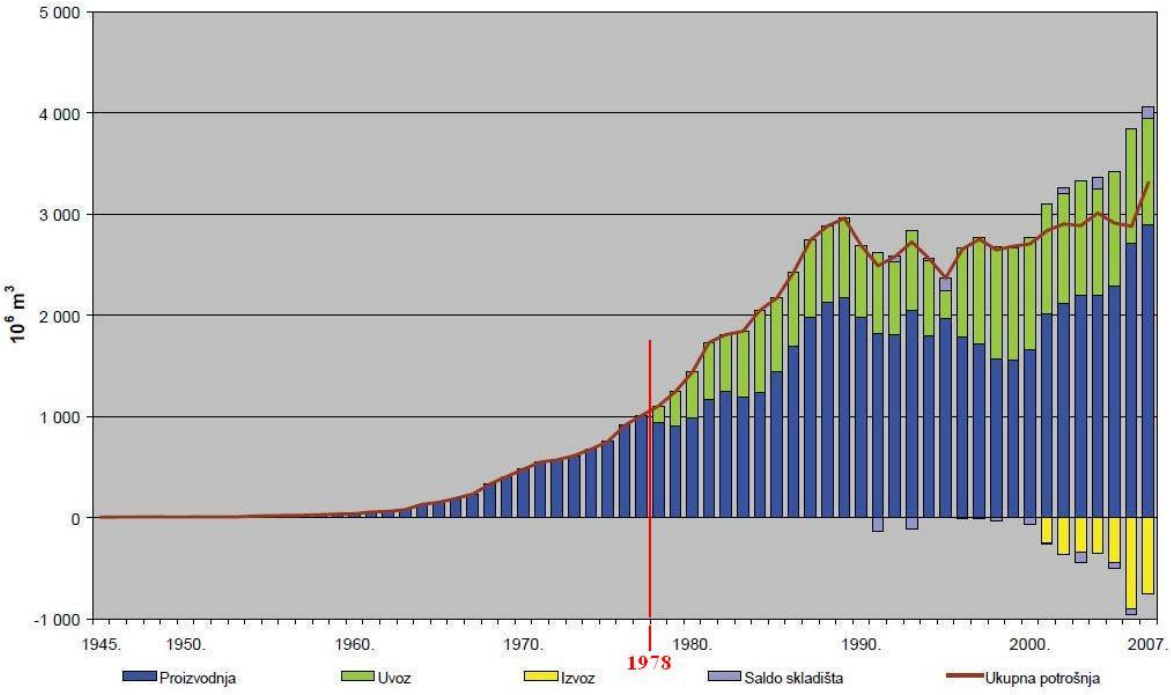
Ukupna potrošnja primarne energije u Republici Hrvatskoj tijekom 2011. godine, smanjena je u odnosu na prethodnu godinu za 6,8 %, [1]. Razlog smanjenja može biti u trenutnoj ekonomskoj situaciji u Hrvatskoj ali može biti i u provođenju EU strategije za energiju: za 20 % smanjiti emisiju stakleničkih plinova, za 20 % smanjiti potrošnju energije, za 20 % povećati udio energije iz OIE (obnovljivi izvori energije).

Jedna od mogućnosti uštede primarne energije može biti povećano iskorištavanje Sunčeve energije. Bilo da Sunčevu energiju koristimo kao izvor toplinske energije ili za proizvodnju električne energije, tako dobivena energija smanjuje potrošnju energenata dobivenih iz neobnovljivih izvora ali nam s druge strane osigurava i dodatni / rezervni izvor potrebne energije.

Bez obzira na razlog smanjenja potrošnje / uštede energije, nužno je raditi na efikasnijem iskorištavanju energetskih resursa i očuvanju okoliša, jer planeta Zemlja može bez nas (ljudi), i potrebno joj je svega nekoliko stotina godina da se obnovi (pod uvjetom da nema ljudi).

2. Potrošnja

Prošlo je mnogo godina od vremena kada smo proizvodili dovoljno energenata da zadovoljimo vlastitu potrošnju. Kao najbolja ilustracija, može nam poslužiti proizvodnja i potrošnja prirodnog plina u Hrvatskoj koju možemo promatrati kroz dva razdoblja. Prvo razdoblje je do 1978. kada smo trošili plina koliko smo i proizveli, i drugo nakon 1978. kada trošimo više plina nego što proizvedemo, kao što je prikazano na slici 1, [1].



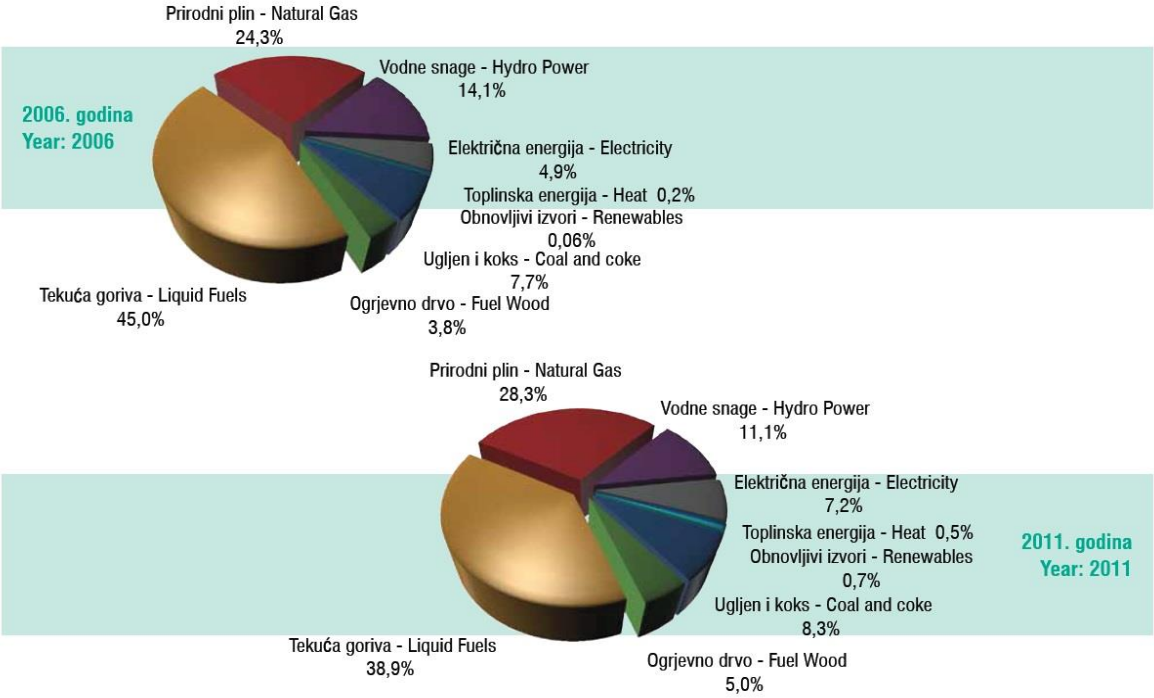
Slika 1. Raspoložive količine prirodnog plina u Hrvatskoj od 1945. do 2007. [1]

U današnje vrijeme, iako su ulaganja u energetici iznimno velika, potrošnja energije znatno brže raste od proizvodnje pa smo primorani uvoziti određene količine energije. Pokrivenost potrošnje primarne energije s energijom iz domaćih izvora zadnjih je godina u stalnom padu i kreće se oko 50 %, kao što je prikazano na slici 2, [2].

Slika 2. Vlastita opskrbljenost primarnom energijom u RH [2]

Kao izvori energije, danas dominiraju prirodni plin, hidroenergija i sirova nafta. Kako je količina hidroenergije ovisna o klimi i klimatskim promjenama, prirodni plin i sirova nafta

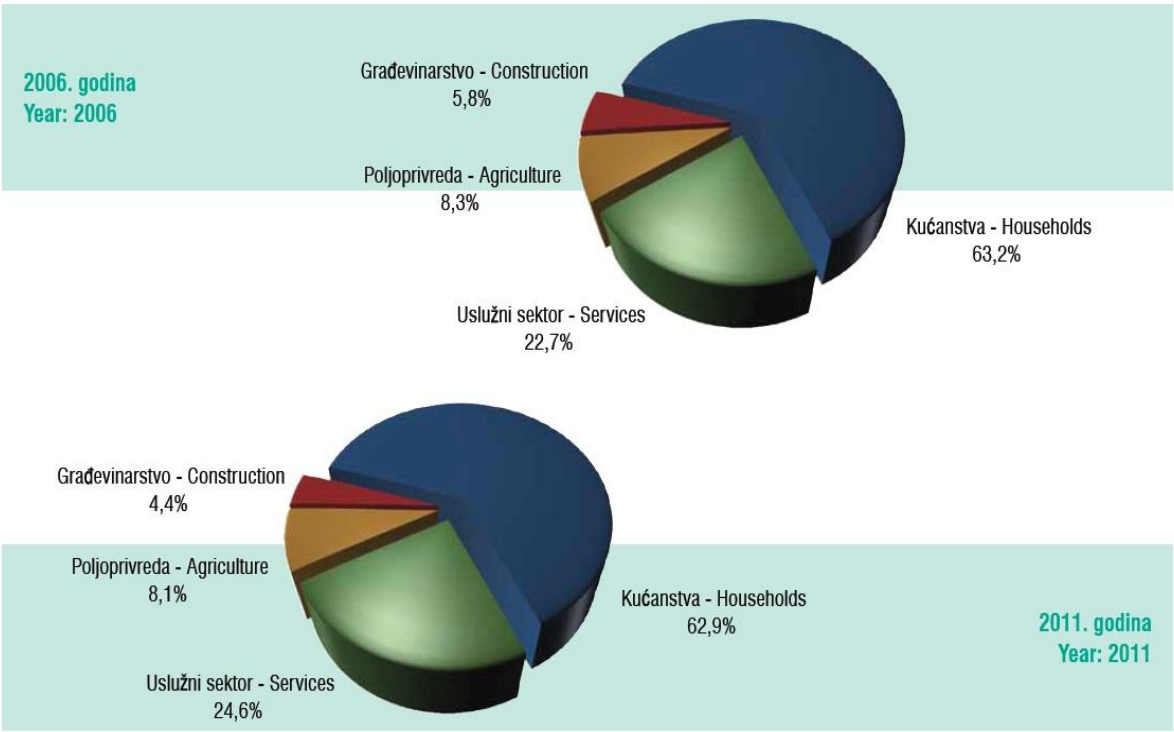
trebaju nadomjestiti nedostatak određene količine hidroenergije nastao lošim klimatskim uvjetima. Potrošnja ugljena u Republici Hrvatskoj godinama je u padu, ali ipak postoji (TE Plomin 2). Obnovljivi izvori još su uvijek nedovoljno zastupljeni. Na slici 3. prikazana je potrošnja pojedinih energenata u 2006. i 2011. godini.



Slika 3. Udjeli u ukupnoj potrošnji energije u RH [2]

Struktura potrošnje primarne energije mijenja se u skladu sa procesom industrijalizacije i globalizacije pa tako danas na opću potrošnju (kućanstva, javne ustanove, obrti i malo gospodarstvo) otpada 49,1%, na promet 32,8%, a na industriju 18,1% energije u Hrvatskoj. Na pad potrošnje energije u industriji bitno je utjecalo zatvaranje velikih potrošača energije, [2].

Detaljnija analiza opće potrošnje pokazuje nam da kućanstva potroše najviše energije, što je i vidljivo na slici 4.



Slika 4. Opća potrošnja - udjeli u potrošnji energije u RH [2]

Struktura potrošnje pojedinih vrsta energenata u općoj potrošnji mijenja se iz godine u godinu ovisno o više utjecajnih parametara, ali ovisno o situaciji, povećanje udjela pojedinih energenata može utjecati na smanjenje udjela drugih. Tako je npr. u općoj potrošnji 2011. godine potrošeno 34,4 % električne energije, 23,2 % plinovitih goriva, 21,2 % tekućih goriva. Došlo je do povećanja udjela ogrjevnog drveta i toplinske energije. S druge strane, smanjen je udio ugljena. Udio obnovljivih izvora energije bio je 0,4 %, [2].

S obzirom da kućanstva predstavljaju dio koji troši značajnu količinu energije, proizlazi da svaka, pa i minimalna ušteda, kumulativno može značajno utjecati na potrošnju energenata. Kao primjer, može se uzeti neki objekt koji koristi prirodni plin za dobivanje potrošne tople vode (PTV) i zagrijavanje prostora putem centralnog grijanja. Korištenjem Sunčeve energije za dobivanje PTV i/ili podršku grijanju uz optimalan sustav za zagrijavanje može se tijekom studenog, prosinca, siječnja i veljače uštedjeti „malih“ 1,23-4,8 % plina. Vidljivija ušteda može se ostvariti tijekom ožujka, travnja, rujna i listopada kada se uštede mogu kretati između 11-64 %. U periodu svibanj – kolovoz Sunce na našim geografskim širinama daje količinu energije koja uz optimalan sustav daje puno više toplinske energije nego što je to potrebno i u principu, nije potrebno koristiti prirodni plin u kućanstvima već se isti može usmjeriti industrijskim potrošačima, [3].

Tijekom 2011. godine, kroz plinovode u RH transportirano 3,309 milijardi m^3 plina odnosno najveći dnevni transport iznosio je 13 581 207 m^3/dan. Ako se uzme da se u kućanstvima može uštedjeti samo 1% plina korištenjem OIE, ušteda iznosi 9 615 887,82 m^3 priodnog plina tijekom godine, a kada uzmemo da je cijena prirodnog plina za kućanstva u 2011. godini bila 2.88 kn/m^3 (za industriju 3,99 kn/m^3) ušteda bi iznosila 27 693 756,92 kn, [2]. Istovremeno je značajno smanjena i emisija CO_2 u atmosferu.

3. Električna energija

Ovisnost o energiji a posebno o električnoj, izrazitija je što je društvo na višem stupnju razvoja. Sve je češće slučaj da su kućanstva oslonjena na samo dva energenta – električnu energiju i prirodni plin.

Nestanak opskrbe prirodnim plinom za kućanstvo koje koristi prirodni plin za zagrijavanje objekta, može se u određenom trenutku privremeno (i skuplje) nadomjestiti električnom energijom ili nekim drugim energentom ako ima uvjete za njihovo korištenje. Međutim, prilikom nestanka električne energije, zagrijavanje prostora dolazi u pitanje budući da kućanstva uglavnom koriste kombi bojlere pa je za cirkulaciju vode u sustavu grijanja potrebna pumpa koju pokreće električna energija. Godine 2011. od ukupno uvezene energije, 11,1 % odnosilo se na električnu energiju, [2].

Razmatrajući navedene činjenice, pojavila se ideja opravdanosti razvoja manjih fotonaponskih (FN) sustava na kućama (institucijama). Namjena takvih sustava nije za prodaju proizvedene električne energije po povlaštenim cijenama (što nije isključeno), već prvenstveno da se osigura funkcioniranje kućanstava (osnovni – bitni uređaji) u slučaju nestanka električne energije. Sustav se sastoji od nekoliko FN modula, regulatora punjenja baterija (akumulatora) 12/24 V, potrebne snage, solarnih baterija (akumulatora) 12 V i potrebnog kapaciteta, te pretvarača napona sa 12 V istosmjerno (DC) na 230 V izmjenično (AC). Broj odnosno snaga elemenata FN sustava ovisi o željenom periodu autonomije rada potrošača koji će se napajati tom energijom i sl.

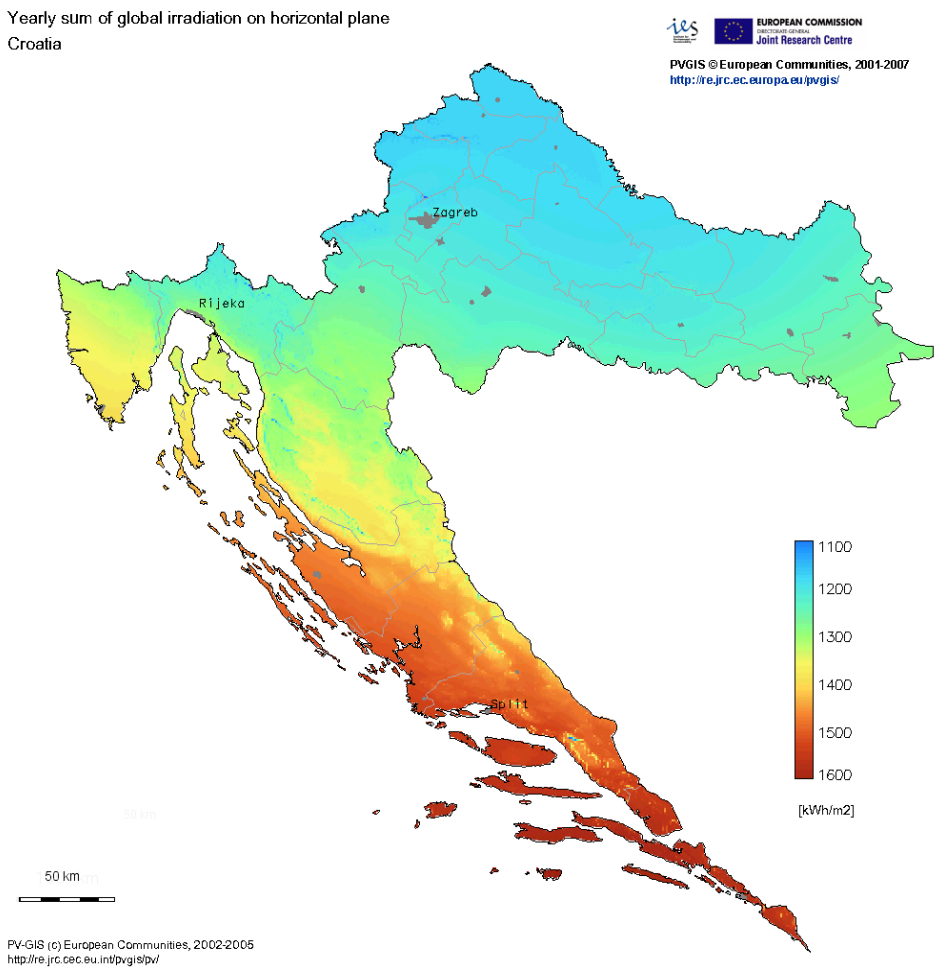
Bitno je napomenuti da veličina FN sustava ne ovisi o kvadraturi građevine, već isključivo o broju i vrsti trošila koje se namjerava priključiti, tj. prosječnim dnevnim potrebama za električnom energijom. Pored toga, potrebno je poznavati osnovne parametre prilikom dimenzioniranja FN sustava, [4]:

- 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.

Potrebne meteorološke podatke, odnosno, procjena raspoloživog Sunčevog potencijala za određenu mjesto, olakšana je postojanjem određenih baza podataka (PVGIS, Meteonom database, ...) koje sadrže informacije o intenzitetu Sunčevog zračenja, temperaturama okoline, prosječnim dnevnim temperaturama i slično.

Treba istaknuti da su podaci u navedenim bazama izračunati na osnovi satelitskih mjerenja Sunčevog zračenja na rubu Zemljine atmosfere.

Dobar pokazatelj gdje se korištenje energije Sunca isplati, jesu karte ozračenosti, koje pokazuju kolika je ozračenost neke površine na Zemlji. Tako se na karti prikazanoj na slici 5, može vidjeti raspored ukupnog godišnjeg Sunčevog zračenja. Najveću ozračenost vodoravne plohe ostvaruje jug Hrvatske, odnosno, priobalni pojas i pučinski južnodalmatinski otoci (1650 kWh/m^2 godišnje), [5].



Slika 5. Srednja godišnja ukupna ozračenost vodoravne plohe [6]

Prema PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) podacima, optimalni kut se za područje RH kreće od 33º na sjeveru do 37º na jugu, [6].

Tako npr. ako želimo, ovdje u Slavoniji, napajati hladnjak A klase, LCD TV ili računalo, 5-8 rasvjetnih mjesta i naravno, cirkulacionu pumpu u kombi bojleru, potrebno nam je barem 2 FN modula od 120 W, regulator punjenja 12/24 V-20 A, 2 akumulatora

12 V/120 Ah i pretvarač napona minimalno 1000 W. Ako na popis potrošača dodamo perilicu rublja i možda nekoliko električnih alata, potrebno je prilagoditi sustav – 4 FN modula, regulator punjenja veće snage (40 A), 4 akumulatora i pretvarač veće snage, barem 2000 W.

Takav sustav u normalnim situacijama može napajati određene potrošače paralelno dok se drugi potrošači napajaju iz mreže. U slučaju nestanka električne energije iz mreže, sustav se koristi za napajanje bitnih uređaja – npr. električnih pumpi u kombi bojleru pa je i dalje moguć rad sustava grijanja (odnosno održavanje temperature objekta). Od slučaja do slučaja to može biti rasvjeta, računala (UPS) ili neko drugo trošilo električne energije.

4. Zaključak

Upotreba Sunčeve energije za proizvodnju električne i / ili toplinske energije je idealna za klimatsko podneblje u RH s velikim brojem sunčanih dana i relativno visokom srednjom temperaturom, a rezultira većom učinkovitošću sustava za proizvodnju električne energije i / ili sustava grijanja. Prednosti solarnih sustava u odnosu na druge načine je u njegovoj ekološkoj prihvatljivosti, a također i u njegovoj autonomnosti (primjenjivo je i tamo gdje nema komunalne infrastrukture). Solarni sustavi instalirani na određenom objektu mogu uštedjeti znatan dio godišnje potrebe za električnom i/ili toplinskom energijom.

Tijekom ljetnih mjeseci, konvencionalni sustav za zagrijavanje tople vode, može se smanjiti na minimum ili potpuno isključiti te time ukloniti štetna emisija plinova (CO_2) koja nastaje kao produkt izgaranja klasičnih energenata.

Korištenjem Sunčeve energije za proizvodnju električne i/ili toplinske energije, mogu se ostvariti znatne uštede materijalnih sredstava. Otplata sustava se može promatrati kroz smanjenje potrošnje energenata (npr. prirodnog plina) prilikom pripreme PTV i/ili za grijanje prostora.

Sustavi za korištenje toplinske energije mogu znatno smanjiti potrošnju energije za zagrijavanje sanitarne vode, ili za zagrijavanje prostora. Pravilnim dimenzioniranjem i postavljanjem sustava, može se Sunčeva energija 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 slučajeve kada se dobivena energija koristi odmah, ili je potrebno predvidjeti akumuliranje / spremanje energije za kasniju uporabu. Kod sustava toplinske energije može nastati problem ako je akumuliranje energije odnosno zapremina spremnika nedovoljna, te može doći do povišenja temperature u kolektorima iznad dozvoljene granice. Dakako i za ove tehničke probleme postoje razrađena rješenja.

5. Literatura

[1] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva : Energija u Hrvatskoj 2008 http://www.mingorp.hr/UserDocsImages/ENERGETIKA/EUH08 za%20web.pdf (12.06.2011.)

[2] Godišnji energetski pregled - Energija u Hrvatskoj 2011, Ministarstvo gospodarstva RH http://www.eihp.hr/hrvatski/projekti/EUH_od_45/EUH11web.pdf (26.02.2013.)

[3] Hornung, Krunoslav; Hnatko, Emil; Stojkov, Marinko; Kljajin, Milan. Natural gas savings using solar heating. // Tehnicki vjesnik/Technical Gazette, 17, 4(2010), 475-480, (ISSN 1330-3651)

[4] Majdančić, Ljubomir. Obnovljivi izvori energije. Zagreb: Graphis, 2008. (ISBN 978-953-279-004-7)

[5] Knežević, Siniša; Zidar, Margareta: *Sunčevo zračenje.* Energetski institut Hrvoje Požar. http://www.eihp.hr/hrvatski/sunceva_energija6.htm (26.03.2013.g.)

[6] European Commission, Joint Research Centre, Ispra (VA): *PVGIS PV Estimation Utility.* URL:http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/pvest.php?europe (26.03.2013.g.)

Korištenje obnovljivih izvora energije i plinski konzum u regiji Slavonija i Baranja

The Use of Renewable Energy and Gas Consumption in the region of *Slavonia and Baranja*

M. Ivanović [1,*], H. Glavaš [2], Z. Tonković [3]

[1] Panon - Institut za strateške studije, Osijek, Hrvatska
[2] Elektrotehnički fakultet, Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska
[3] HEP-Plin d.o.o., Osijek, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: ivanovic@efos.hr

Sažetak

U radu se ukazuje na proces razvoja korištenja obnovljivih izvora energije, posebno biomase na području Slavonije i Baranje što će pridonositi povećanju energetske učinkovitosti u regiji i zemlji. No, ovi će procesi (zbog tendencije stalnog porasta cijene fosilnih goriva) u narednom razdoblju utjecati i na obujam i dinamiku korištenja prirodnog plina, posebno u širokoj potrošnji. Na primjeru potrošnje prirodnog plina u kućanstvima Osječko Baranjske županije u radu se dokazuje pad prosječne potrošnje prirodnog plina uzrokovan ekonomskom krizom i razvojem mjera energetske učinkovitosti te ukazuje na velike i neiskorištene potencijale biomase od ostataka ratarske, voćarske i vinogradarske proizvodnje u regiji Slavonija i Baranja.

Ključne riječi: energetska učinkovitost, obnovljivi izvori energije, prirodni plin, potrošnja kućanstava

Abstract

The paper points to the process of development of renewable energy sources, especially biomass in Slavonia and Baranja, which will contribute to the improvement of energy efficiency in the region and the country. However, these processes will (due to tendency of a constant rise in the price of fossil fuels) in the future influence the volume and dynamics of natural gas, particularly wide consumption. In this paper the case of natural gas consumption in households Osijek-Baranja County proves decrease in the average consumption of natural gas caused by the economic crisis and the development of energy efficiency measures and points out the large and untapped potential of biomass residues of crop, fruit and grape production in the region of Slavonia and Baranja.

Ključne riječi: energy efficiency, household consume, natural gas, renewable energy,

1. Uvod

Područje pet županija – regija Slavonija i Baranja (SliB) – ima vrlo značajne potencijale obnovljivih izvora energije (OIE), posebno biomase, no njihova valorizacija i korištenje su tek u začecima, [1] [2] [3] [4] [5] [6].

Proizvodnja iz OIE postaje sve značajnija zbog karbonskog otiska, a u EU je sve značajnije korištenje OIE u posljednjih 15 godina. Sukladno preuzetim međunarodnim obvezama glede zaštite okoliša i nužne prilagodbe energetskog sektora standardima EU – a u interesu efikasnijeg korištenja energije u zemlji - Sabor RH je usvojio niz strateških i operativnih dokumenata na temelju kojih će se korištenje OIE u RH narednim godinama značajno povećavati, [7] [8] [9] [10].

Slavonsko-baranjska regija - s velikim prirodnim potencijalima i s dugom agrarnom i industrijskom tradicijom – je danas u Republici Hrvatskoj ekonomski najslabije razvijena regija; ispod 1/3 EU prosjeka. To nepovoljno stanje rezultat je ratnih razaranja u razdoblju 1991.-1996. godine, ali i naglašenog oslanjanja na tržišno nereformiranu poljoprivredu u privrednoj strukturi te dugogodišnjih trendova nedovoljno snažne razvojne orijentacije. Korištenje OIE je vrlo pogodna prilika za snažniji ekonomski razvoj i zapošljavanje, smanjenje troškova energije te ispunjavanje EU ekoloških standarda i učinkovitog korištenja energije, [11] [12] [13].

Ekonomska kriza u našoj zemlji nameće potrebu što žurnije provedbe ovih razvojnih procesa. No, neovisno o predloženim mjerama – ekonomska kriza mijenja pravila ponašanja u potrošnji energije – što svakako ima – i imat će u budućnosti – značajne utjecaje i na potrošnju prirodnog plina.

U ovom se radu razmatra potrošnja prirodnog plina u kućanstvima – na kojem se primjeru mogu uočiti naznačeni procesi.

2. Potrošnja prirodnog plina u kućanstvima

Broj potrošača i potrošnja prirodnog plina u kućanstvima pet županija SliB regije, Gradu Zagrebu i Republici Hrvatskoj prikazani su tablicama 1 i 2 te na slikama 1 i 2. Uočava se pad potrošnje uz slabi rast broja potrošača. Isto tako – uočava se pad prosječne potrošnje prirodnog plina u kućanstvima na području pet županija regije Slavonija i Baranja, (sl. 3).

Tablica 1. Potrošnja prirodnog plina u kućanstvima pet županija SliB regije, Gradu Zagrebu i Republici Hrvatskoj (10^3 m^3)

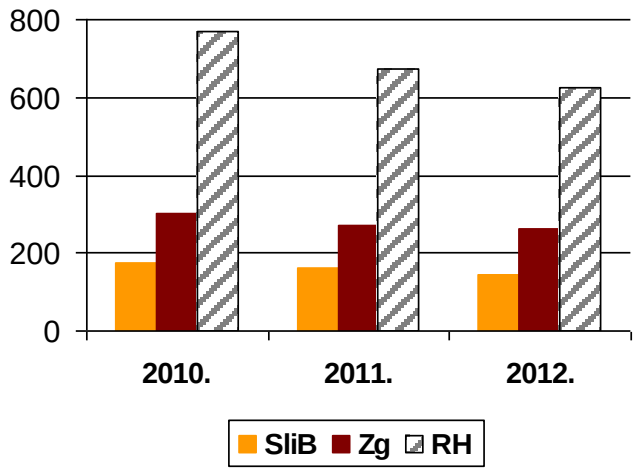
Županija	2010.	2011.	2012.
Virovitičko Podravska	16.021	14.217	13.025
Požeško Slavonska	14.967	13.908	13.238
Brodsko Posavska	26.203	23.234	19.326
Osječko Baranjska	78.094	74.338	67.402
Vukovarsko Srijemska	38.228	35.112	32.387
Ukupno SliB regija	173.513	160.809	145.378
Gard Zagreb	300.738	269.880	263.967
Ukupno Republika Hrvatska	769.857	674.458	626.334

Izvor: [14]

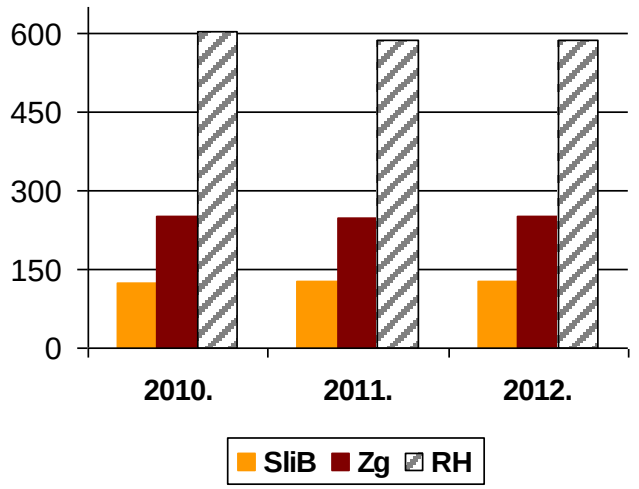
Tablica 2. Broj kućanstava potrošača prirodnog plina u pet županija SliB regije, Gradu Zagrebu i Republici Hrvatskoj

Županija	2010.	2011.	2012.
Virovitičko Podravska	13.282	13.711	13.380
Požeško Slavonska	11.699	12.184	12.211
Brodsko Posavska	16.167	16.565	16.755
Osječko Baranjska	55.195	56.583	57.542
Vukovarsko Srijemska	27.772	27.660	28.380
Ukupno SliB regija	124.115	126.703	128.268
Gard Zagreb	252.564	248.635	250.739
Ukupno Republika Hrvatska	605.568	589.056	588.925

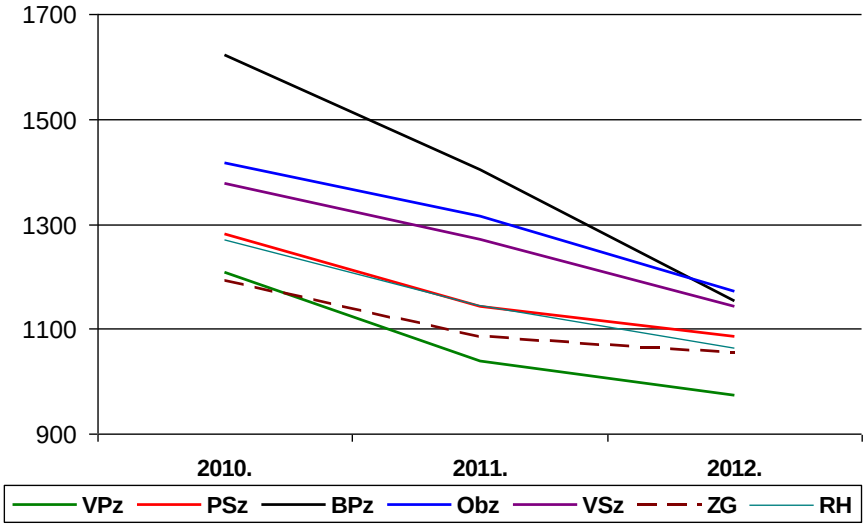
Izvor: [14]



Slika 1. Potrošnja prirodnog plina u kućanstvima SliB regije, Grada Zagrebu i RH (10^6 m^3)



Slika 2. Broj kućanstava potrošača prirodnog plina u SliB regiji, Gradu Zagrebu i RH (10^3)



Slika 3. Prosječna potrošnja prirodnog plina u kućanstvima pet županija SliB regije (m^3)

Naznake rečenih procesa ispitat će se za duže vremensko razdoblje na primjeru svih plinificiranih naselja na području Osječko Baranjske županije; posebno za gradove (bez prigradskih naselja) i sva ostala naselja (sela).

U razdoblju od 2001. do 2012. g. broj potrošača prirodnog plina u gradovima i u selima konstantno raste, a potrošnja prirodnog plina u gradovima varira dok u selima konstanto raste; tab. 3 i 4 i sl. 4.

Tablica 3. Potrošnja prirodnog plina u kućanstvima Osječko Baranjske županije (10^6 m^3)

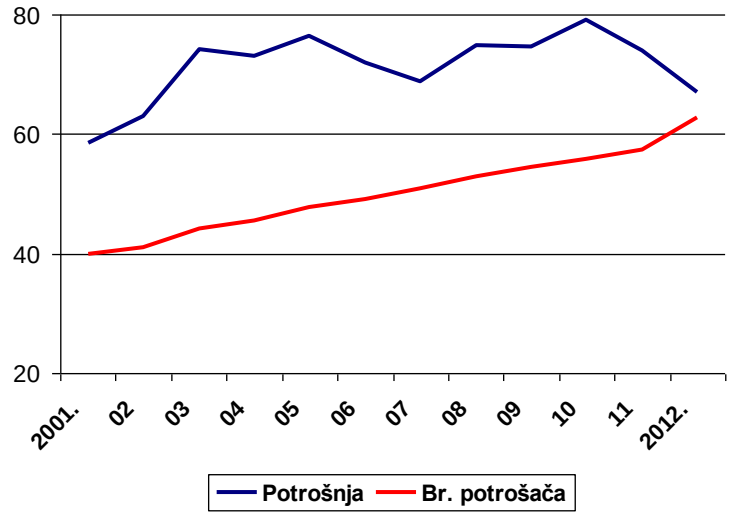
	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
Gradovi	38,6	42,2	48,7	46,7	48,5	45,2	43,3	47,0	46,9	49,6	46,4	42,2
Sela	19,8	20,7	25,5	26,3	27,9	26,7	25,4	27,8	27,7	29,5	27,5	24,9
OBž	58,4	62,9	74,2	73,0	76,4	71,9	68,8	74,9	74,7	79,1	73,9	67,1

Izvor: [15]

Tablica 4. Broj kućanstava potrošača prirodnog plina u Osječko Baranjskoj županiji (10^3)

	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
Gradovi	27,5	28,2	29,1	30,0	30,8	31,6	33,0	34,5	35,4	36,2	37,2	42,2
Sela	12,4	12,9	15,1	15,6	17,0	17,5	18,0	18,5	19,1	19,6	20,1	20,6
OBž	39,9	41,0	44,2	45,6	47,8	49,1	51,0	53,0	54,5	55,8	57,3	62,8

Izvor: [15]



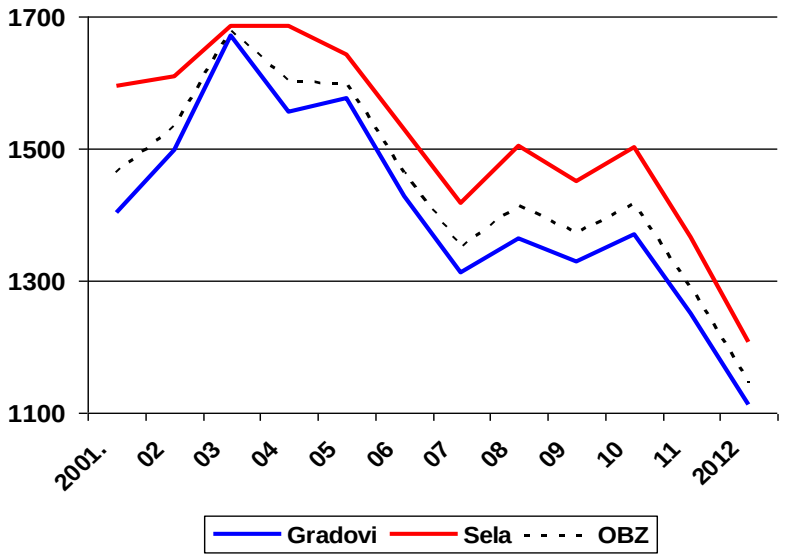
Slika 4. Potrošnja prirodnog plina u kućanstvima (10^6 m^3)
i broj kućanstava potrošača prirodnog plina u Osječko Baranjskoj županiji (10^3)

Prosječna potrošnja prirodnog plina u kućanstvima OBž raste od 2001. do 2003. godine, a od 2004. do 2012. g. je u konstantnom padu; tab. 5 i sl. 5.

Tablica 5. Prosječna potrošnja prirodnog plina u kućanstvima Osječko Baranjske županije (m^3)

	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
Gradovi	1.404	1.498	1.671	1.555	1.576	1.428	1.312	1.364	1.328	1.370	1.250	1.113
Sela	1.595	1.609	1.686	1.686	1.642	1.528	1.417	1.503	1.451	1.501	1.365	1.208
OBZ	1.463	1.533	1.676	1.600	1.599	1.464	1.349	1.413	1.371	1.416	1.290	1.146

Izvor: izračunato iz tablica 3 i 4;



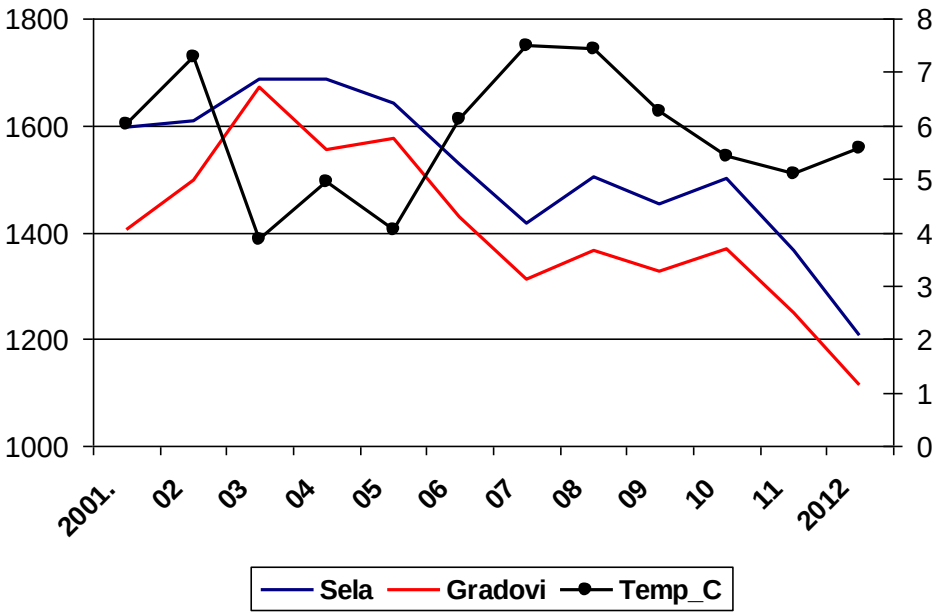
Slika 5. Prosječna potrošnja prirodnog plina u kućanstvima Osječko baranjske županije (m^3)

Analiza pada prosječne potrošnje prirodnog plina u kućanstvima nastavit će se usporedbom s prosječnim mjesečnim temperaturama u zimskim mjesecima (tab. 6 i sl. 6).[1]

Tablica 6. Prosječna mjesečna temperatura u zimskom razdoblju na području Osijeka (C^0)

Mjesec	2001.	2002.	2003.	2004.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
I.	3,5	1	- 1,1	- 0,9	0,6	- 0,3	7,2	2,6	- 0,3	- 0,2	1,8	2,9
II.	5,6	7,3	- 2,9	2,7	- 2,8	2,2	7,5	6	3,1	2,3	1,4	-3,1
III.	11,1	10,2	6,7	6,4	4,7	6,5	10,8	8,7	7,9	7,9	7,3	10,1
IV.	12,3	12,9	11,8	12,2	11,9	14,3	15,2	13,6	15,7	13,5	14,7	13,3
X.	15,5	12,4	9,9	13,6	13,6	15,1	11,7	14,4	12,6	10	11,5	12,9
XI.	4,8	10,2	7,9	6,4	6,3	9,4	5	8,7	8,8	9,7	3	9,4
XII.	- 2,8	2,3	1,7	2,2	2,8	4,1	1	4,6	3,9	1	4	1,1
Zima_1	7,14	8,04	4,86	6,09	5,30	7,33	8,34	8,37	7,39	6,31	6,24	6,66
Zima_2	6,02	7,28	3,86	4,95	4,06	6,10	7,49	7,43	6,26	5,41	5,10	5,58

Izvor [15]



Slika 6. Prosječna mjesečna temperatura na području Osijeka (na grafikoni desno; C^0) u zimskom razdoblju i prosječna potrošnja prirodnog plina u kućanstvima na području OBž (na grafikoni lijevo; m^3)

Koeficijent korelacije između prosječne potrošnje prirodnog plina u kućanstvima i prosječne mjesečne temperature u zimskim mjesecima za razdoblje 2001. - 2008. g. za gradove iznosi -0,865, a za seoska naselja iznosi -0,795 što ukazuje na čvrstu povezanost: kada je atmosferska temperatura niža raste potrošnja prirodnog plina.

[1] Prosječna godišnja temperatura za 7 mjeseci (uključeni travanj i listopad – kada počinje_završava sezona grijanja = nazvan je prosjek ZIMA 1, ali radi korektnosti izračuna u skladu s praksom (da se grijanje koristi u prvoj polovici travnja i drugoj polovici listopada) u prosjek je uračunata samo polovica travnja i polovica listopada = prosjek nazvan ZIMA 2.

Međutim - za razdoblje 2009. - 2012. g. koeficijent korelacije za gradove iznosi 0,190 za seoska naselja iznosi 0,180 - što ukazuje da ne postoji povezanost između smanjenja prosječne potrošnje prirodnog plina i stanja atmosferske temperature. Ovdje su, dakle, u pitanju drugi razlozi smanjenja prosječne potrošnje. Uvažavajući spoznaje iz naših ranijih istraživanja [16] [17] [18] slobodno možemo naznačiti tri važna razloga smanjenja prosječne potrošnje prirodnog plina u kućanstvima:

1. Realni pad životnog standarda stanovništva u SliB regiji (utječe na racionalnije korištenje prirodnog plina u kućanstvima);
2. Ekonomska kriza i velika nezaposlenost (utječe na prisilno smanjenje potrošnje prirodnog plina ili zamjensko korištenje krutih goriva koja su jeftinija);
3. Učinci mjera energetske učinkovitosti u širokoj potrošnji (toplinska izolacija stambenih objekata utječe na smanjenje potrošnje prirodnog plina u kućanstvima).

Ovi će razlozi – neovisno o budućim kretanjima atmosferske temperature) djelovati i u narednom razdoblju. Ovaj nalaz treba biti uvažen u budućim procjenama potrošnje prirodnog plina - tako da je potrebno izmijeniti (dopuniti) modele predviđanja buduće potrošnje [19] s navedenim elementima.

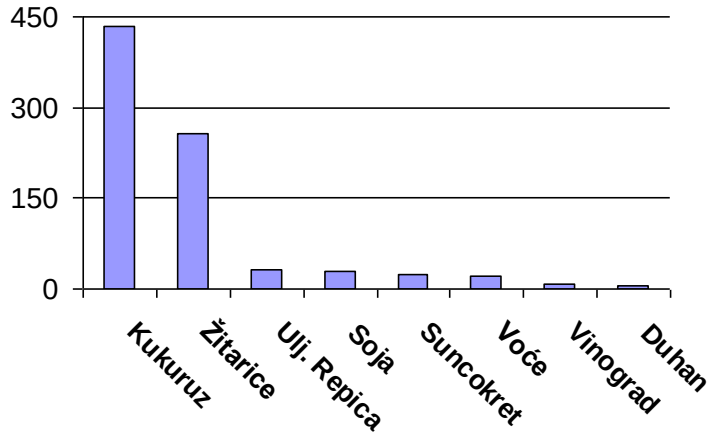
3. Biomasa za grijanje

Grijanje je bez sumnje sektor koji najviše može koristi biomasu, i to jednostavno i jeftino u smislu tehnologije. Napuštanje upotrebe fosilnih goriva i prelazak na obnovljive izvore energije je svjetski trend. Razvojem tehnologije omogućena je izrada jeftinog ogrjevnog materijala od celuloznog otpada mehaničkim putem, bez korištenja vezivnih sredstava.
Briket ravnomjerno izgara s malo dima i bez lebdećeg pepela (ima 10 puta manje pepela od ugljena). Izgaranjem praktično ne zagađuje životnu sredinu u usporedbi s drugim čvrstim gorivima, jer sadrži malo sumpora (100 puta manje od ugljena). Sama proizvodnja briketa je razvijena tako da se može primijeniti na različite sirovine – od otpadnog materijala u industriji do kabastih zapaljivih celuloznih ostataka žitarica sa poljoprivrednih polja.
Korištenje biomase omogućava zapošljavanje (otvaranje novih i zadržavanje postojećih radnih mjesta), povećanje lokalne i regionalne gospodarske aktivnosti, ostvarivanje dodatnog prihoda u poljoprivredi, šumarstvu i drvnoj industriji kroz prodaju biomase-goriva. Osim toga se umjesto odljeva sredstava zbog kupovine fosilnih goriva uspostavljaju novčani tijekovi u lokalnoj zajednici (investicije-zarade-porezi). Utjecaj na zapošljavanje te navedeni socijalno-gospodarski aspekti predstavljaju najveću prednost korištenja biomase u odnosu na fosilna goriva, ali i na ostale obnovljive izvore energije.

3.1. Potencijali biomase iz ostataka ratarske, voćarske i vinogradarske proizvodnje Slavoniji i Baranji

U našoj stručnoj literaturi nema egzaktnih procjena potencijala ostataka ratarske proizvodnje niti su ovi potencijali bilancirani u programskim dokumentima [3], [7], [18]. Ovi su autori sačinili ovakvu procjenu u posebnoj studiji [18], a ovdje se daje samo krajnji rezultat.

U okviru tog istraživanja izvršena je energetska valorizacija potencijala krute biomase iz ostataka ratarske, voćarske i vinogradarske proizvodnje na području Slavonije i Baranje uključujući - slamu od: pšenice, ječma, raži, zobi i soje, stabljike i okomci od kukuruza i suncokreta, uljane repice, duhana i ostataka iz rezidbe voća i vinograda. Uzeti su u obzir donja ogrjevna vrijednost pojedine vrste biomase, požnjevena površina i prinos po pojedinim kulturama - na bazi prosjeka žetve u posljednjih pet godina - te standardni omjer ploda (zrna) i ratarskog ostatka (stabljike i oklaska). Utvrđen je energetski potencijal ove vrste biomase u iznosu od preko 800.000 tona ekvivalentne nafte godišnje. Dakle, radi se o vrlo značajnom potencijalu koji se može koristiti za grijanje u kućanstvima, ali i u ostalim sektorima široke potrošnje (objekti obrazovnih, socijalnih i drugih ustanova, npr.)



Slika 7. Energetski potencijal biomase iz ostataka ratarske, voćarske i vinogradarske proizvodnje na području SliB regije (10^3 toe)

5. Zaključak

- U razdoblju od 2001. do 2012. g. na području regije Slavonija i Baranja broj potrošača prirodnog plina u gradovima i u selima konstantno raste, a potrošnja prirodnog plina u gradovima varira dok u selima konstanto raste.

- Prosječna potrošnja prirodnog plina u kućanstvima OBž raste od 2001. do 2003. godine, a od 2004. do 2012. g. je u konstantnom padu.

- Koeficijent korelacije između prosječne potrošnje prirodnog plina u kućanstvima i prosječne mjesečne temperature u zimskim mjesecima za razdoblje 2001. - 2008. g. za gradove iznosi -0,865, a za seoska naselja iznosi -0,795 što ukazuje na čvrstu povezanost: kada je atmosferska temperatura niža raste potrošnja prirodnog plina.

- Za razdoblje 2009. - 2012. g. koeficijent korelacije za gradove iznosi 0,19, a za seoska naselja 0,18, što ukazuje da ne postoji povezanost između smanjenja prosječne potrošnje prirodnog plina i stanja atmosferske temperature.

- Razlozi smanjenja prosječne potrošnje prirodnog plina u kućanstvima su:

a) Realni pad životnog standarda stanovništva u SliB regiji (utječe na racionalnije korištenje prirodnog plina u kućanstvima);

b) Ekonomska kriza i velika nezaposlenost (utječe na prisilno smanjenje potrošnje prirodnog plina ili zamjensko korištenje krutih goriva koja su jeftinija);
c) Učinci mjera energetske učinkovitosti u širokoj potrošnji (toplinska izolacija stambenih objekata utječe na smanjenje potrošnje prirodnog plina u kućanstvima).

- Ovi će razlozi – neovisno o budućim kretanjima atmosferske temperature - djelovati na daljnje smanjenje prosječne potrošnje prirodnog plina u kućanstvima i u narednom razdoblju.

- Napuštanje upotrebe fosilnih goriva i prelazak na obnovljive izvore energije je svjetski trend; grijanje stambenog i poslovnog prostora je sektor koji najviše može koristiTI biomasu. Razvojem tehnologije omogućena je izrada jeftinog ogrjevnog materijala od celuloznog otpada mehaničkim putem, bez korištenja vezivnih sredstava.

- Energetski potencijal biomase iz poljoprivredne proizvodnje na području SliB regije iznosi preko 800.000 tona ekvivalentne nafte godišnje. Ovaj značajan energetski potencijal se može koristiti za grijanje u kućanstvima, ali i u ostalim sektorima široke potrošnje – što će u narednom razdoblju imati značajan utjecaj na dinamiku i obim plinskog konzuma na području regije Slavonija i Baranja.

6. Literatura

[1] Glavaš, Hrvoje. Modeliranje GIS-om opisanog energetskog potencijala biomase; Elektrotehnički fakultet, Osijek, 2010.
[2] Glavaš, H.; Ivanović, Milan; Blažević, Damir. Program of Efficient Use of Energy In Final Energy Consumption on the Area of Eastern Croatia, 1st International Scientific Simposium „Economy of Eastern Croatia“, EFOS, Osijek, 2012.
[3] Grupa autora, Jakšić D. (ur.).Potencijal obnovljivih izvora energije XIV. Osječko-baranjska županija, ISBN 978-953-6474-73-8; EIHP, Zagreb, 2012.
[4] Ivanović M. Znanost i regionalna energetika - Istraživanja o razvoju energetike i korištenju energije u Slavoniji. ISBN 953-6032-502-3; Elektrotehnički fakultet Osijek, 2006.
[5] Ivanović, M. Europski trendovi u obnovljivim izvorima energije; II. skup „Obnovljivi izvori energije u RH“, HGK, Zagreb, 2007. Zbornik, str. 237 - 247
[6] Ivanović, M. Renewable Energy Sources in Eastern Croatia - Potentials and the Use, EU Inteligent Energy, European Busines Forum on RES; Cavtat, 2007. Proceedings, pp 475-486;
[7] Hrvatski Sabor. Strategija energetskog razvitka Republike Hrvatske, NN 130/09
[8] Hrvatski Sabor. Zakon o učinkovitom korištenju energije u neposrednoj potrošnji, NN,152/08
[9] Ministarstvo gospodarstva RH. Prvi nacionalni akcijski plan za energetsku učinkovitost 2008.-2010.
[10] Ministarstvo gospodarstva RH. Nacionalni program energetske učinkovitosti 2008. - 2016.Ivanović, M. Ruralni razvoj i procesi tranzicije – Slavonska poljoprivreda na putu prema EU standardima; ISBN 953-6032-501-1, Albert E, Osijek, 2007.

[11] Ivanović, M.; Trtanj, D. Obnovljivi izvori energije u slavonskoj regiji – potencijali za razvoj novih tehnologija, 1st International conference "Vallis Aurea": Focus on Regional Development, Požega, 19.9.2008. DAAAM International Viena i Veleučilište u Požegi, ISBN 978-953-98762-7-0; Procedings, pp 333 – 338;

[12] Ivanović, M.; Požega Ž. Ekonomski razvoj Slavonije i Baranje - prilozi za makro-ekonomsku analizu regionalnog razvoja u RH; 2nd International Conference „Vallis Aurea: Focus on Regional Development", Požega, 3.-4. 9.DAAAM International Viena i Veleučilište u Požegi, ISBN 978-953-98762-7-0; Proceedings, pp 475-486;

[13] Ivanović, M.; Glavaš H.; Blažević, D. Program učinkovitog korištenja energije u neposrednoj potrošnji na području Osječko baranjske županije za razdoblje 2012. - 2014. g. Elektrotehnički fakultet Osijek , 2011.

[14] HSUP. Plinsko gospodarstvo Hrvatske (2010.; 2011; 2012)

[15] HEP plin Osijek

[16] Ivanović, M.; Tonković, Z.; Glavaš, H. Energy Efficiency of Natural Gas Usage in Household of Osijek-Baranja County; 3rd International Natural Gas, Heat and Water Conference, Osijek, 2011. 20.-30. September, Proceedings

[17] Ivanović, M.; Glavaš, H.; Špiranović-Kanižaj D. Energy Efficiency and Renewable Energy Sources in The Slavonia Region; 28th Joint Scientific Conference Science for Practice, Pecs, Hungary, 2011. 26.-28. October, Pollack Mihaly Colege of Engineering, Pecs,,

[18] Ivanović, Milan; Glavaš, Hrvoje. Potencijali i mogućnosti iskorištenja biomase iz ratarske i voćarske proizvodnje na području Slavonije i Baranje, studija, ETF, Osijek, 2013.

[19] Tonković, Zlatko; Zekić-Sušac, Marijana; Somolanji, Marija. Predicting Natural Gas Consumption by Neural Networks // *Tehnički vjesnik*, 16(2009), 3; 51-61. (ISSN 1330-3651)

Izgradnja komunalne infrastrukture i razvoj optičke mreže na području Slavonije i Baranje
Construction of Municipal Infrastructure and Development of Optical Networks in Slavonia and Baranja

F. Ambroš[1*], M. Ivanović[2], D. Mesarić[3]
[1]Geoprem d.o.o., Osijek, Hrvatska
Panon, Institut za strateške studije, Osijek, Hrvatska
Elektrotehnički fakultet, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: franjo.ambros-geoprem@os.t-com

Sažetak
U radu se ukazuje na važnost vođenja katastra vodova komunalne infrastrukture (plinske, vodovodne i odvodne kanalizacije te telekomunikacijskih vodova). U tijeku su pripreme za uvođenje distribucijskih optičkih mreža u regiji Slavonija i Baranja (prema Strategiji RH) te se daje kratki prikaz plana za izgradnju optičke mreže u okviru projekta „Slavonska mreža“. U zaključku se ukazuje na potrebu koordiniranog planiranja izgradnje svih vrsta komunalne infrastrukture te jedinstvenog katastra mreža u regiji (po županijama). Na ovaj se način kod izgradnje komunalne infrastrukture mogu smanjiti troškovi i smanjiti rokovi kod polaganja komunalne infrastrukture.

Ključne riječi: kanalizacija, komunalna infrastruktura, optička mreža, plinska mreža, vodovodna mreža

Abstract
The paper emphasizes the importance of keeping cadastre utility infrastructure (gas, water and wastewater sewer and telecom lines). Preparations are in progress for the construction of optical distribution network in the region of Slavonia and Baranja (the Strategy) and an overview of plans to build a optical network within the project "Slavonian network." In conclusion, it points to the need for coordinated planning of the construction of all types of municipal infrastructure and unified inventory networks in the region (by county). In this way, the construction of municipal infrastructure can reduce costs and reduce the time limits for installing sewer infrastructure.

Keywords: sewage, municipal infrastructure, optical network, gas network, water supply network

1. Uvod

U ovom radu se razmatra izgradnja javne i komunalne infrastrukture glede koordiniranih aktivnosti kojima bi se smanjili troškovi u provedbi ovih investicijskih radova.

Prema odredbama Zakona o prostornom uređenju i gradnji [1] „(-) Javna infrastruktura državne i regionalne razine su građevine i uređaji, kojima neposredno upravljaju pravne osobe s javnim ovlastima u području prometa, energetike, upravljanja vodama i gospodarenja s drugim vrstama prirodnih dobara ili zaštite okoliša; (-) Komunalna infrastruktura su građevine i uređaji infrastrukture lokalne razine, koja se priprema i gradi na temelju posebnog propisa; (-) Druga infrastruktura su građevine regionalne i lokalne razine, kojima se osigurava zajednička opskrba, usluge, odnosno drugi oblici povećanja kvalitete života u naselju ili korisnicima na određenom području.“ Prema definiciji - u istom zakonu – „Prostor je sastav fizičkih sklopova na površini te ispod i iznad zemlje, do kojih dopiru neposredni utjecaji djelovanja ljudi.“

Za naša razmatranja, a prema Zakonu o komunalnom gospodarstvu [2] važne su slijedeće komunalne djelatnosti: opskrba pitkom vodom, odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda, održavanje nerazvrstanih cesta, toplovod i javna rasvjeta, a Uredbom o mjerilima razvoja elektroničke komunikacijske infrastrukture i druge povezane opreme [3] tome će pridružiti i distribucija Internet usluga na lokalnoj razini [4]

Prema Zakonu [2] predstavničko tijelo jedinice lokalne samouprave donosi Program gradnje objekata i uređaja komunalne infrastrukture za svaku kalendarsku godinu, a koji obvezatno sadrži: (a) opis poslova s procjenom troškova za gradnju objekata i uređaja, te za nabavu opreme, i (b) iskaz financijskih sredstava potrebnih za ostvarivanje Programa s naznakom izvora financiranja djelatnosti. Izvršno tijelo jedinice lokalne samouprave dužno je do kraja ožujka svake godine podnijeti predstavničkom tijelu jedinice lokalne samouprave izvješće o izvršenju rečenog Programa za prethodnu kalendarsku godinu.

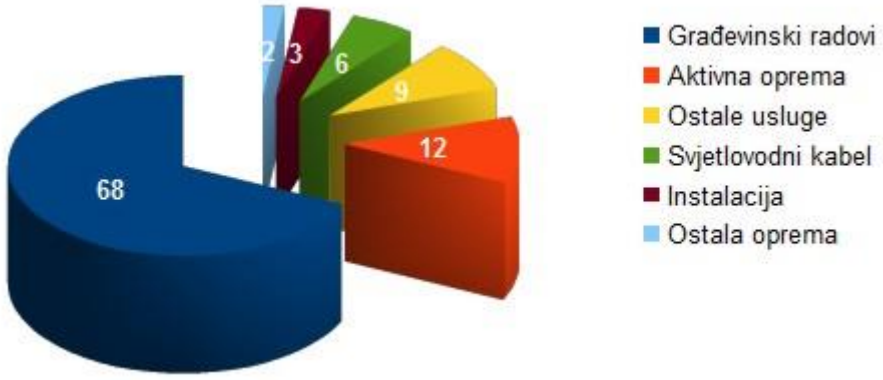
1.1. Troškovi izgradnje komunalne infrastrukture

Prema uvidu u desetak investicijskih projekata koje su izvršili autori ovog rada, kao i prema iskustvenim procjenama više projektanata - udio zemljanih radova u troškovima na izgradnji komunalne infrastrukture (vodovod, kanalizacija, javna rasvjeta, toplovod) i javne infrastrukture (električna podzemna mreža, plinovod) kreće se u rasponu 20 - 60% od ukupne investicije – ovisno o kategoriji terena.

Udio zemljanih (građevinskih) radova u troškovima pri izgradnji svjetlovodne infrastrukture kreće se oko 70% (slika 1). Ova činjenica nameće zaključak da je integriranim pristupom moguće postići značajno smanjenje investicijskih troškova pri izgradnji telekomunikacijske infrastrukture.

Uredba o mjerilima razvoja elektroničke komunikacijske infrastrukture i druge povezane opreme [3] omogućava da se komunikacijska infrastruktura može smatrati komunalnom, odnosno da lokalna samouprava može biti investitor. Problematiziranje ove uredbe iznosi Vladimir Žuti u svome radu: *Planiranje i gradnja integrirane infrastrukture* [5]. Gradovi koji

imaju pretpostavke za izgradnju kabelskih galerija za sve vodove - u pravilu osim plina (npr. Pečuh, Mađarska) postižu uštede oko 30% za kompletnu infrastrukturu. Održavanje vodova u galeriji u odnosu na vodove u zemlji jeftinije je za više od 60% [6].



Slika 1. Raspodjela troškova kod izgradnje optičke mreže [23]

2. Izgradnja optičke mreže na području Slavonije i Baranje

Nova civilizacijska znanja i spoznaje rastu u vremenu eksponencijalno, a proširivanje i akumuliranje i znanja danas ovisi o uspostavi razvijene komunikacijske mreže za brz i učinkovit prijenos podataka [7]. Razvoj brzih pristupnih mreža danas ima jednak revolucionarni učinak kao razvoj prometne mreže ili elektroenergetske mreže prije stotinu godina [8] Moderne informacijske i telekomunikacijske tehnologije (IT), a posebno Internet, značajno su izmijenile način života ljudi u posljednjih dvadesetak godina; ubrzan je prijenos podataka i informacija, povećana je njihova kvaliteta i pouzdanost, smanjeni su troškovi poslovanja. ubrzane poslovne transakcije i omogućen brzi pristup globalnom tržištu, razvijeni su novi tokovi investicija, dobara i usluga, povećane su količine dostupnih informacija u privatnom i javnom sektoru. Nova IT je temelj razvoja ekonomije i društva znanja; informacija i znanje postali su (umjesto kapitala) temelj individualnog i društvenog rasta i razvoja [9].

Razvoj kvalitetnijih, bržih, pouzdanijih i jeftinijih javnih usluga i poslovanja u javnom sektoru (rad državne i lokalne samouprave, zdravstva, obrazovanja itd.) kao i poslovanje gospodarstva, te poticanje razvoja ruralnih i nerazvijenih područja - ovisi o stupnju pokrivenosti teritorije IT infrastrukturom, tj. mrežom svjetlovodnih kablova (širokopojasni pristup) koja omogućuje brzi Internet.

Ulaganja u razvoj širokopojasnog pristupa vrlo korisna za zajednicu - kako se navodi u nizu studija. Na temelju procjena izravne i neizravne koristi od razvoja širokopojasnog pristupa analize pokazuju da bi u razdoblju od 2010. do 2019. RH mogla imati izravne koristi u vrijednosti između 2,2 i 3,2 milijarde €. Također, navodi se podatak kako, općenito gledajući, 10%-tno povećanje korisnika širokopojasnog pristupa omogućuje povećanje BDP-a za 1,38%, što se očituje povećanjem broja radnih mjesta u poslovima razvoja i održavanja mreža, te povećanjem opće gospodarske aktivnosti zbog povećanog korištenja elektroničkih usluga dostupnih putem širokopojasnog pristupa [10]. U području razvoja

širokopojasnog pristupa EU razvija strategije i donosi niz dokumenata kako bi se osigurale najveće pogodnosti za razvoj gospodarstvo i stanovništvo Europske unije. Nakon niza EU preporuka dokument Digitalna agenda za Europu [5] po prvi put donosi konkretne mjere i ciljeve te preporučene rokove za ispunjavanje ciljeva u razvoju širokopojasnog pristupa. Dostupnost osnovnog širokopojasnog pristupa u strategijama članica EU odnosi se, u osnovi, na 100% pokrivanje stanovništva brzinama pristupa od 512 kbit/s do 2 Mbit/s do kraja 2010. g. Dostupnost brzog i ultra-brzog širokopojasnog pristupa odnosi se većinom na 100% pokrivanje stanovništva brzinama pristupa od 20 Mbit/s do 100 Mbit/s u razdoblju do kraja 2015. godine.

Hrvatska je po ovim pokazateljima pri dnu ljestvice EU zemalja s 20,07% pokrivenosti stanovništva u odnosu na EU prosjek od 27,16%. [11] Razvoj širokopojasnih usluga od iznimnog je značenja za gospodarski razvoj RH te od ključne važnosti za omogućivanje stvaranja društva znanja u Hrvatskoj. Najnovije širokopojasne usluge (obrazovanje putem Interneta, društvene mreže, televizija visoke kakvoće, rad od kuće i drugo) zahtijevaju odgovarajuće brzine prijenosa (više od 20 Mbit/s) koje je moguće ostvariti svjetlovodnom infrastrukturom i odgovarajućih bežičnih tehnologija nove generacije. [10] RH je usvojila Nacionalnu strategiju razvoja širokopojasnog pristupa do 2015. g. [11] koja je dala potreban tehničko-tehnološki i zakonski okvir.

Nacionalnom strategijom razvoja širokopojasnog pristupa zadan je tehnološki i upravni (zakonski) okvir, a njena provedba na području Slavonije i Baranje ima svoje specifičnosti koje proizlaze iz stanja geografskih i demografskih karakteristika i gospodarske razvijenosti. Prema gustoći (i broju) širokopojasnih priključaka tri slavonske županije - Požeška, Virovitička i Brodska županija - su na posljednjem mjestu, Vukovarska je u sredini, a Osječko-baranjska je u prvoj trećini liste županija u RH [12].

2.1. Projekt „Slavonska mreža“

Elektrotehnički fakultet Osijek je krajem 2012. g. (nakon niza stručnih skupova i pripremnih aktivnosti) pokrenuo projekt „Slavonska mreža“ - razvoj širokopojasnog pristupa na području pet županija Slavonije i Baranje (SliB). [12] [13] Broj i gustoća priključaka korisnika širokopojasnog pristupa Internetu u RH je znatno ispod prosjeka zemalja članica EU, a na području pet županija regije ove su vrijednosti (osim za grad Osijek) ispod prosjeka RH. Takvo stanje u suvremenim uvjetima onemogućuje društveni i gospodarski razvoj, učinkovito funkcioniranje javne uprave te uključivanje regije u suvremenu komunikaciju i brži razvoj suvremenih telekomunikacijskih usluga unutar RH i EU.

Osnovni elementi toga projekta su [13]:

- **Cilj projekta**: Omogućiti pristup ŠPI u 75% naselja u 5 SliB županija do 2015.

- **Krajnji korisnici rezultata projekta su**: 1. Stanovništvo na području pet županija SB regije, 2. Javne službe na području pet županija SliB regije (zdravstvo, školstvo, socijalna skrb, javna uprava) i 3. Gospodarstvo na području pet županija SliB regije.

- Procjena ekonomske koristi od realizacije projekta; (a) učinkovitije funkcioniranje javne uprave, (b) bolji poslovni rezultati gospodarskih subjekata, (c) kvalitetniji i viši životni standard stanovništva i (d) Razvoj novih poslovnih djelatnosti temeljenih na širokopojasnom pristupu. U konačnici – realizacija projekta samo po ovoj osnovi pridonijet će porastu BDP-a od 0,7 % na području SB regije počevši od 2015. godine.

- Projektni zadaci: a) Informiranje i mobilizacija JLS za: 1. Utvrđivanje stanja, 2. Sređivanje katastra vodova EKI, 3. Sređivanje prostornih planova glede EKI, 4. Donošenje odluke o naplati korištenja EKI, 5. Sređivanje odnosa s korisnicima EKI, 6. Ujedinjavanje sredstava od prava puta za EKI; 7. Uvođenje ŠPP, 8. Izrada studija stanja ŠPP, 9. Izrada studija za financiranje uvođenja ŠPP, b) Osnivanje konzorcija „Slavonska mreža“, c) Ujedinjavanje namjenskih sredstava JLS po županijama, d) Stručna pomoć JLS u: tehničkom, pravnom i ekonomskom okviru, e) Stručna pomoć JLS u izradi projekata na natječaje, f) Prijava regionalnog projekta na fondove RH i EU i g) pokretanje makro projekta „*Razvoj korištenja širokopojasnih usluga na području regije Slavonija i Baranja*“,

Treba naglasiti da se ovdje radi o: (1) važnom pitanju tehnološkog priključka RH europskim komunikacijskim tokovima; (2) složenom tehnološkom procesu razvoja širokopojasnih usluga, (3) značajnom investicijskom zahvatu (4) zahtjevnom poslu utvrđivanja stanja u JLS, i (5) važnim elementima prostornih planova JLS. U cilju realizacije ovog projekta potrebno je objedinjavanje svih društvenih, stručnih i financijskih potencijala na području regije; stoga je predloženo osnivanje konzorcija „Slavonska mreža“ koji bi usuglašavao postupke i koordinirao provedbu ključnih etapa projekta. Članovi Konzorcija bili bi: pet slavonskih županija, Elektrotehnički fakultet Osijek; „Panon“ – institut za strateške studije Osijek i zainteresirani telekomunikacijski operateri.

3. Katastar vodova – nužnost u planiranju i izgradnji javne i komunalne infrastrukture

Osiguranje prostornih pretpostavki za izgradnju javne i komunalne infrastrukture provodi se kroz prostorno planiranje. Zanemarivanje ovog problema ima za posljedicu nemogućnost dobivanja dozvola. Temelj za prostorno planiranje su podaci o izgrađenoj infrastrukturi, koje upravitelji vodova dostavljaju iz svog katastra vodova. Od 1969. g. postoji zakonska obveza, katastar vodova izraditi i voditi temeljem geodetske izmjere vodova. Svaki se vod u prostoru evidentira kao linija čiji su lomovi određeni koordinatama (Y,X,Z). Ovakav sustav jednoznačno određuje položaj voda u prostoru, čime je znatno poboljšana praksa koja je do tada bila, da se dokumentacija o vodovima izrađivala odmjeravanjem od postojećih objekata. Rušenjem objekta položaj podzemnog voda postaje neodređen pa je dolazilo do značajnih šteta. Kako je i katastar zemljišta temeljen na geodetskoj izmjeri, evidencija je pogodna i za imovinsko pravno uređivanje odnosa između vlasnika zemljišta i upravitelja vodova [14].

Upravo katastar treba biti temeljna evidencija za prostorno planiranje jer sadrži informacije o postojećim vodovima [15]. Do 1999. g. evidenciju o vodovima su vodili uredi za katastar. Od 1999. katastar vodova je obveza lokalne samouprave [16]. Radi ilustracije navodimo

podatak da je do sada samo pet gradova osnovalo svoje službe za katastar vodova (Zagreb, Split, Velika Gorica, Koprivnica i Osijek).

Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina [17] u čl. 95-100 regulira geodetske poslove u lokalnoj samoupravi. Među tim poslovima je i osnivanje i vođenje katastra vodova. Od 2008. g. postoji obveza telekomunikacijskih operatera da sukladno zakonu nadoknade štetu vlasnicima nekretnina na kojima je izgrađena elektronička komunikacijska infrastruktura. Pravilnik o potvrdi i naknadi za pravo puta [18] pobliže propisuje postupak i iznos naknade koju telekomunikacijski operateri moraju plaćati godišnje. Time se interes lokalne samouprave za registrom svojih nekretnina aktualizira i osnivanje katastra vodova postaje uvjet ekonomičnijeg razvoja lokalne samouprave. S druge strane telekomunikacijski operater može pravno urediti odnose s vlasnicima zemljišta [19] [20].

Katastar vodova kao zbirna evidencija značajno ukazuje na zauzetost prostora. Posebno se aktualizira problem rezervacije prostora za novu infrastrukturu. Mora se naglasiti i da se promjenom medija, posebno u telekomunikacijama (svjetlovodni kabel je neutralan i ne podliježe utjecaju drugih medija, kao što na bakar utječu elektromagnetske smetnje) kao i zbog minijaturizacije - potreba za prostorom smanjuje; to znači da su stečeni uvjeti i za promjenu dosadašnjih propisa koji su određivali sigurnosna rastojanja kod vodova.

Izradu zbirne evidencije vodova (svaki vlasnik vodi svoj katastar) neke države u Europi su pravdale značajnim uštedama smanjenog broja kidanja vodova. Tako je Nizozemska pravdala uvođenje zbirnog katastra vodova neposrednom godišnjom uštedom 40,1 mil. €, Danska 28,2 mil. €, Velika Britanija 164 mil. €, Slovenija preko 2,1 mil. €. Posredna šteta (gubitak zbog isključenosti korisnika) procjenjuje se 3,5 - 4 puta većim od iznosa neposredne štete [21].

3.1. Štete na infrastrukturnim instalacijama

Ovdje treba ukazati i na vrlo važnu novost za sve investitore i izvođače građevinskih radova: od 1.1.2013. g. u Republici Hrvatskoj stupio je na snagu Kazneni zakon [22] po kojem se uništenje ili oštećenje javnih naprava strogo sankcionira. Prema čl. 216. st. 1: ovog zakona *"Tko uništi, ošteti, izmijeni, učini neuporabljivim, ukloni, isključi ili ometa u radu napravu javne uporabe za vodu, toplinu, plin, električnu ili drugu energiju, ili elektroničku komunikacijsku opremu i time izazove poremećaj u redovitom životu stanovništva, kaznit će se kaznom zatvora od šest mjeseci do pet godina."* Zakon je usklađen s EU propisima i važan je ne samo za održavanje optičkih mreža nego i za sve radove na gradilištima (iskopavanja) te se o tome strogo mora voditi računa. Veliki broj prekida komunikacijskih, i energetskih kabela (cijevi) u prošlosti upravo govori o nužnosti što hitnijeg uređenja katastra vodova.

Najčešće štete su na elektroničkoj komunikacijskoj infrastrukturi i na plinu. Uspostava katastra vodova u Sloveniji kroz sustav „nazovi prije kopanja" planira se reducirati kidanje na prihvatljivu razinu na način tako da izvođač radova putem elektroničke pošte u roku 24 sata dobije podatke o vodovima u zoni planiranog iskopa. [21]

3.2. Prijedlog modela za regiju Slavonija i Baranja

Slavonija i Baranja kao jedinstveni regionalni prostor ima više zajedničkih karakteristika zbog kojih se predlaže jedinstveni model provođenja Strategije širokopojasnog pristupa:

1. Značajno ekonomsko zaostajanje za prosjekom države
2. Izrazito negativan demografski trend
3. Ruralna rasprostranjenost
4. Velik dio prostora imovinsko-pravno uređen kroz postupak komasacije zemljišta
5. Tradicija geodetskog snimanja vodova prisutnija nego u drugim područjima

Fondovi EU namijenjeni za infrastrukturu iziskuju poštivanje svih procedura. Kao glavne elemente na koje treba obratiti pozornost su:

1. Prostorni planovi
2. Katastar vodova
3. Imovinsko pravno uređenje koridora za infrastrukturu
4. Inicijalna sredstva

Liberalizacijom telekomunikacijskog tržišta nestao je infrastrukturni operator s javnim ovlastima, što otežava izradu prostornih planova. Objedinjavanje potreba i koordinaciju za elektroničkom komunikacijskom infrastrukturom, koja mora biti u prostorno planu, je preuzeo HAKOM (Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije). [24]

Podaci o broju i dužini vodova po naseljima ukazuju da većina lokalnih samouprava ne može ekonomično osnovati i održavati katastar vodova. [25] [26] [27]Nameče se logika osnivanja katastra vodova za više lokalnih samouprava odnosno za cijelu županiju. Zakon [17] predviđa da se tehnički dio katastra vodova može organizirati izvan lokalne samouprave u jednom od organizacijskih oblika (trgovačko društvo ili ured ovlaštenog inženjera geodezije) povjeravanjem tih poslova geodetskoj tvrtci.

Imovinsko-pravno uređenje koridora treba provoditi sukladno Zakonu o cestama [28] jer se koridori ceste i komunalne infrastrukture u najvećem dijelu podudaraju. Katastarske čestice izvan cestovnih koridora, a koje će se sukladno prostornom planu, koristiti za izgradnju javne i komunalne infrastrukture treba imovinsko-pravno urediti po postupku katastra nekretnina (povećanje kvalitete evidencije).

Izgradnja infrastrukture spada u nisko profitabilne investicije, ali s velikom indirektnom koristi za sve građane. Takove se investicije potpomažu i sredstvima iz EU fondova. Za elektroničku komunikacijsku infrastrukturu to može iznositi i 80% nepovratnih sredstava od ukupne investicije. Problem nastaje sa inicijalnim sredstvima i vlastitim učešćem. Procjenjujemo da naknada od služnosti ili prava puta može biti značajna za lokalnu samoupravu (naplata korištenja nekretnina u vlasništvu lokalne samouprave). Na području lokalne samouprave oko 70% sredstava pripada lokalnoj samoupravi, a ostalih 30% je disperzirano na velik broj vlasnika, od kojima nekima pripada naknada svega po desetak kuna. [4] [19] U okviru nacrta Slavonskog modela razmatra se i ideja o prenošenju ovlasti s fizičkih osoba na lokalnu samoupravu za naplatu služnosti/prava puta, čime bi se iznos inicijalnih sredstava značajno povećao.

4. Zaključak

- Razmatranja u ovom radu ukazuju da postoji niz zakonskih obveza investitora i lokalne samouprave pri izgradnji javne, komunalne i druge infrastrukture (opskrba pitkom vodom, odvodnja i pročišćavanje otpadnih voda, održavanje nerazvrstanih cesta, toplovod i javna rasvjeta te elektronička komunikacijska infrastruktura) među kojima je i obveza prijave instalacija u katastar vodova.

- Naša analiza ukazuje da praksa glede katastra vodova u RH, a posebno na području regije Slavonija i Baranja još nije, u najvećem dijelu infrastrukture, razvijena – što ima značajne utjecaje na neučinkovito gospodarenje prostorom i veće troškove u zajednici.

- Ukazano je, također, da se planiranjem i koordiniranjem izgradnje svih vrsta javne, komunalne i druge infrastrukture mogu smanjiti troškovi izgradnje te skratiti rokovi kod polaganja komunalne infrastrukture.

- Razvoj kvalitetnijih, bržih, pouzdanijih i jeftinijih javnih usluga i poslovanja u javnom sektoru - ovisi o stupnju pokrivenosti teritorije IT infrastrukturom, tj. mrežom svjetlovodnih kablova (širokopojasni pristup) koja omogućuje brzi Internet. Republika Hrvatska zaostaje za zemljama EU o izgradnji IT infrastrukture te je usvojena Strategija razvoja široko-pojasnog pristupa u RH od 2012. do 2015. g. u okviru čije provedbe je pokrenut i projekt izgradnje optičke infrastrukture na području regije Slavonija i Baranja pod nazivom „Slavonska mreža“.

- Koordiniranom izgradnjom svih vrsta javne, komunalne i druge infrastrukture može se ubrzati provedba projekta „Slavonska mreža“ tj. izgradnja optičke mreže na području regije te u isto vrijeme i smanjiti troškovi kod svih ostalih investitora te skratiti rokovi izgradnje u ukupnoj investicijskoj aktivnosti na lokalnom području.

- Stoga se predlaže nadležnim županijskim tijelima na području regije da ubrzano provode aktivnosti na uvođenje katastra vodova te pokrenu aktivnosti na koordiniranom izvođenju zemljanih (građevinskih) radova kod izgradnje infrastrukture na svojem području.

5. Literatura

[1] * * * Zakon o prostornom uređenju i gradnji; NN 50/2012

[2] * * * Zakon o komunalnom gospodarstvu; NN 144/2012

[3] * * * Uredba o mjerilima razvoja elektroničke komunikacijske infrastrukture i druge povezane opreme; NN 131/12

[4] Ambroš, F.; Mesarić, D.; Antunović, M.; Ivanović. M. Razvoj i održavanje optičke mreže nove generacije na području Slavonije i Baranje; 22. Znanstveno-stručni skup OTO '2013.; Osijek, 25.-26. travnja 2013.

[5] Žuti, V. Planiranje i gradnja integrirane infrastrukture;, 26. međunarodni simpozij „Nove tehnologije“, EDZ, Šibenik, 5.-8. 5. 2013. Zbornik, pp 123-129,

[6] Ambroš, F. Katastar telefonskih vodova, Geodetski fakultet, Zagreb

[7] Ivanović, M., Keser, T.; Blažević, D. A Capitalization of Knowledge – innovation Processes in Transition Countries; ISSN 1330-3651 Technical Gazette, Vol.18 No.1,

[8] EC. A Digital Agenda for Europe, COM (2010) 245, Brisel, May

[9] Ivanović, M. Jović F. The Triple Helix Model for Innovation Processes in Transition Countries, 7th International Conference VIPSI, Opatija 6.-9.4. 2008.VIPSI Beograd, ISBN 88-7466-117-3, Proceedings, pp 6.1.– 6.6;

[10] OECD. Ministerial Background Report DSTI/ICCP/IE(2007)3/FINAL: Broadband and the economy, 2008

[11] Vlada RH . Strategija razvoja širokopojasnog pristupa u RH od 2012. do 2015. Zagreb

[12] Mesarić D.; Ambroš F.; Ivanović, M. Development of Broadband Network in Slavonia and Baranja; 2nd International scientific conference „Economy of Easter Croatia - Yesterday, today and tomorrow“, Osijek, May 23-25, 2013. Proceedings, pp 54-64

[13] Mesarić D.; Ambroš F.; Ivanović, M. Slavonska mreža - ETF, Osijek, 2012.

[14] Ambroš, F.: Četrdeset godina katastra vodova na geodetskim načelima, info trend br.167. (2009.) (http://www.infotrend.hr/clanak/2009/2/geoinformatika,32,579)

[15] * * * Zakon o Nacionalnoj infrastrukturi prostornih podataka; NN 56/2013.

[16] * * * Pravilnik o katastru vodova, Državna geodetska uprava, 2008.

[17] * * * Zakon o državnoj izmjeri i katastru nekretnina, NN 16/2007; 124/2010.

[18] * * * Pravilnik o potvrdi i naknadi za pravo puta, NN 31/2009

[19] Ambroš, F. Problem imovinsko-pravnog uređenja infrastrukture, ETF, Osijek

[20] Salopek, D, Ambroš, F. Iskustvo Hrvatskog telekoma d.d. u imovinsko pravnom uređenju svoje elektroničke komunikacijske infrastrukture, Simpozij o inženjerskoj geodeziji, Slavonski Brod, 2012.

[21] Šarlah, N. Zbirni katastar gospodarske javne infrastrukture Slovenije, 3.simpozij ovlaštenih inženjera geodezije, HKOIG, Opatija, 2010.

[22] * * * Kazneni zakon RH, NN 125/2011

[23] Popović, Ž. Izgradnja digitalnih gradova; Revija Ericsson Nikola Tesla, 22/2008

[24] HAKOM, Pravilnik o tehničkim i uporabnim uvjetima za svjetlovodne distribucijske mreže, 2010.

[25] OBž, Informacija o organiziranosti i stanju komunalnog gospodarstva na području Osječko-baranjske županije, 2012.

[26] Zavod za prostorno planiranje. Izvješće o stanju u prostoru Republike Hrvatske 2008.-2012.; Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja, Zagreb

[27] Zoletić, H. Praktična iskustva primjene mikro-cijevnih sustava u izgradnji svjetlovodne mreže i FTTH kućnih instalacija, ETF, Osijek, 2012.

[28] * * * Zakon o cestama, NN 84/2011, 22/2013, 54/2013

Tehnologije za pročišćavanje dimnih plinova
Technology for flue gas purification

Z. Harambašić[1], M. Stojkov[2*], E. Hnatko[2], M. Holik[2], D. Šljivac[1], V. Medica[3]

[1]Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Osijek, Hrvatska
[2]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska
[3]Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: mstojkov@sfsb.hr

Sažetak

Utjecaj dimnih plinova se očituje kroz nastajanje stakleničkih plinova, poglavito ugljičnog dioksida (CO_2) ali i nastajanje i utjecaj sumpornog dioksida (SO_2) i dušikovih oksida (NO_X) koji svojim utjecajem stvaraju "kisele kiše". Emisija sumpornog dioksida smanjuje se metodama kao što su čišćenje ugljena, mokro i suho odsumporavanje dimnih plinova. Također, prema komponentama elektrane, ubrizgavanje upijača može biti u ložište ili u dimne plinove. Smanjenje emisije dušikovih oksida postiže se pravilnim odabirom goriva i konstrukcijom ložišta. Koriste se plamenici s niskom emisijom NO_X.

Ključne riječi: dimni plinovi, emisija, tehnologije za smanjenje emisija, klimatske promjene, utjecaj na okoliš

Abstract

The impact of flue gases is shown through the formation greenhouse gases, at first carbon dioxide (CO_2), but also formation and impact of sulfur dioxide (SO_2) and nitrous oxides (NO_X), which participate in creation of the "acid rains". The emission of sulfur dioxide is reduced using methods such as coal cleaning and sulfur deoxidizing – wet and dry method. Also, absorber injection is located either before burning in furnace or after burning in flue chimney. The emission of nitrogen oxide is reduced by choosing the adequate fuel and proper furnace construction. Burners with low emission of NO_X are used.

Key words: flue gases, emission, reducing emissions reducing technologies, climate change, environmental impact

1. Uvod

Od početka 19. stoljeća pojavom prve industrijske revolucije i uvođenjem parnog stroja koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi neprekidno raste. Poglavito je ova pojava značajna u posljednjih 50 godina. Kada se govori o stakleničkim plinovima, prije svega se podrazumijeva ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4) i dušikovi oksidi (N_2O). Staklenički plinovi poglavito nastaju pretvorbom i korištenjem energije. Na ovaj način nastaje čak 85% ugljičnog dioksida. Staklenički plinovi imaju za posljedicu globalno zagrijavanje, pojavu vremenskih neprilika u pojedinim područjima pa onda indirektno utječu i na ljudske živote i zdravlje, ekologiju, opskrbu vodom i usjeve, [1]. Da bi se usporio utjecaj globalnog zagrijavanja potrebno je smanjiti potrošnju energije čime se smanjuje i udio energije dobivene procesom izgaranja primarnog energenta, povećati učinkovitost pretvorbe energije, povećati kvalitetu goriva i tehnologiju pretvorbe radi smanjenja emisija (npr. rasplinjavanje ugljena) i koristiti tehnologije izdvajanja i pohrane emitiranih plinova, poglavito ugljičnog dioksida. U skladu s rečenim, sve je veća potreba za smanjenje štetnih emisija iz dimnih plinova koje direktno utječu na ekosustav (staklenički plinovi i kisele kiše). Pod štetnim emisijama podrazumijevaju se emisije sumporovog dioksida, dušikovih oksida te krutih čestica. Postoje metode smanjenja štetnih emisija iz dimnih plinova koje su već godinama u konvencionalnoj upotrebi, ali postoji i nekoliko metoda koje su tek u postupku razvoja. U ovom radu će se opisati metode koje se koriste za smanjenje emisije sumporovog dioksida, kao što su: čišćenje ugljena, ubrizgavanje upijača u kanal dimnih plinova, ubrizgavanje upijača u ložište te mokro i suho odsumporavanje dimnih plinova i metode za smanjenje emisije dušikovih oksida.

2. Tehnologije za smanjenje emisija sumporovog dioksida

Emisije sumpornih dioksida ovise o količini sumpora u gorivu. Prirodni plin sadrži manje od 0,1% sumpora (uglavnom u obliku H_2S) i emisije su male. Laka loživa ulja koja se npr. koriste u turbinskim postrojenjima obično sadrže malo sumpora i emisije su također male. Ugljen i teška ulja (mazut) mogu sadržavati dosta sumpora i zbog toga izgaranjem nastaju velike emisije sumporovih oksida. Nadalje će se ukratko opisati metode za smanjenje emisija sumporovog dioksida.

2.1. Čišćenje ugljena

Sumpor u ugljenu je organskog i anorganskog porijekla. Porijeklo organskog sumpora vezano je za biljnu materiju (posebno bjelančevine). Anorganski se sumpor dijeli na piritni i sulfatni, od kojih piritni čini značajniji udio, pa se obično, kada se govori o piritu, misli općenito na anorganski sumpor u ugljenu. U početku, glavna zadaća čišćenja ugljena je bila uklanjanje pepela i vlage, da bi se smanjili troškovi transporta i povećala učinkovitost elektrane. U Sjedinjenim državama se 1970. godine usvojio pravni akt o čistoći zraka koji je obvezivao nove termoelektrane koje su koristile ugljen na bitno smanjenje emisije sumpornog dioksida. Od tada do danas razvijen je niz postupaka i metoda čiji je cilj bio postići što bolje rezultate na ovom polju. Tako je sedamdesetih godina smanjena

potencijalna emisija sumpornog dioksida u novim elektranama na 80%, do devedesetih su norme propisivale 90% smanjenja emisije, da bi danas efikasnost ovakvih sustava bila čak 99%, [1]. U posljednje vrijeme je težište prebačeno na uklanjanje sumpora iz ugljena, zbog rastućeg problema kiselih kiša nastalih od emisija sumpornih dioksida iz procesa izgaranja ugljena. Kako su današnje metode pridobivanja ugljena neselektivne, njihov rezultat je velika količina nečistoća u ugljenu. Fizičko čišćenje ugljena, kojim se uklanja pepeo i dio pirita, metoda je koja se primjenjuje dugi niz godina.

Konvencionalne metode čišćenja većinom se zasnivaju na gravitacijskoj separaciji pepela i sumpornih sastojaka prije nego se ugljen pretvori u ugljenu prašinu i uvede u kotao. Važno je spomenuti da se na ovaj način znatno smanjuje i sadržaj čestica u dimnim plinovima. Konvencionalno čišćenje obično počinje lomljenjem ugljena na komade promjera manjeg od 50 mm, nakon čega slijedi razdvajanje na krupne, srednje i fine čestice. Lomljenjem se oslobađaju materijali koji tvore pepeo i anorganski vezan sumpor (npr. piriti, FeS_2). Što su čestice sitnije, separacija je bolja. Kako mineralne tvari imaju veću gustoću nego čestice ugljena, može ih se iz krupnih i srednjih čestica ukloniti metodama fizičkog čišćenja. Separacija sitnih čestica može se raditi pomoću flotacije, korištenjem površinske razlike između ugljena i pepela.
Troškovi ovog procesa se kreću od 0,8 - 8 EUR/tona ovisno o kvaliteti ugljena, korištenoj metodi i stupnju pročišćavanja, [2].

2.2. Odsumporavanje dimnih plinova

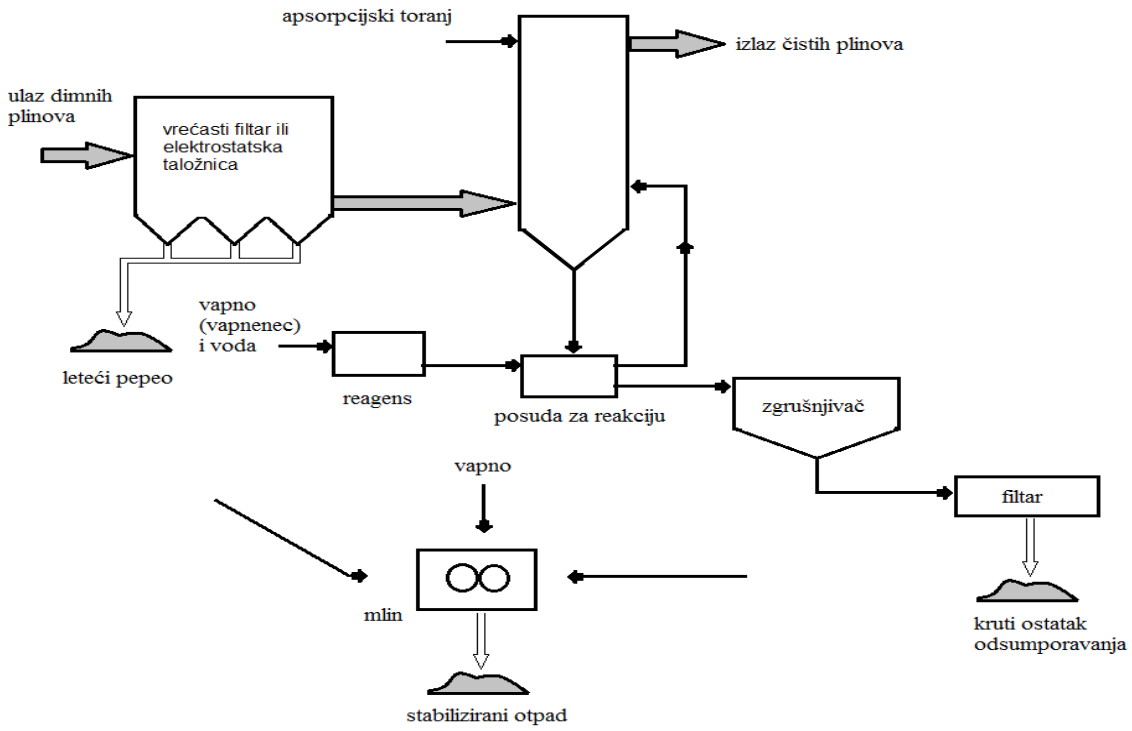
Smanjenje emisije SO_2 odsumporavanjem dimnih plinova može se podijeliti na dva osnovna postupka: regeneracijski i neregeneracijski postupak. Kod regeneracijskih postupaka dobije se SO_2 koji se dalje može koristiti za dobivanje sumporne kiseline, elementarnog sumpora ili tekućeg SO_2. Ovakvi uređaji su u manjini jer su znatno složeniji i skuplji. Kod neregeneracijskih postupaka dobije se sporedni proizvod koji se ili trajno odlaže ili se koristi kao sirovina u cementnoj ili građevinskoj industriji. Oba postupka se dalje dijele na mokre i suhe postupke. Od mokrih prema suhim postupcima, učinkovitost odsumporavanja i cijena uređaja padaju. Troškovi postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova ovise o tržišnim i ostalim konvencionalnim uvjetima. Osim toga, cijena ovisi i o tehničkim faktorima kao količini dimnih plinova, koncentraciji SO_2 u dimnim plinovima, potrebnom stupnju odsumporavanja, ograničenjima vezanim za okoliš i količini otpadnih voda, [3].

2.2.1. Mokro odsumporavanje dimnih plinova

Dimni plinovi ulaze u veliku posudu te se u nju ubrizgava vodena otopina sa 10% vapna ili vapnenca. Kalcij iz otopine reagira sa SO_2 i tvori kalcijev sulfat (gips) ili sulfit. Dio otopine odlazi u posudu za taloženje gdje se kruti dio taloži prije odlaska u filtar u kojem se uklanja voda i ostaje 50 - postotni udio krute tvari. Otpadni kalcijev sulfit se miješa sa pepelom (omjer 1:1) te odlaže na odlagalištima Još se također ugrađuju i eliminatori magle koji

sakupljaju otopinu i uklanjaju vlagu iz dimnih plinova. Smješteni su na izlazu iz tornja. Nakon izlaska iz postrojenja za uklanjanje čestica, plinovi ulaze u toranj za raspršivanje ili apsorber. Tu se ubrizgava vodena otopina na bazi kalcija koji sa SO_2 tvori kalcijev sulfit ili kalcijev sulfat koji se uklanjaju otpuštanjem vode i taloženjem u predviđenoj posudi. Nastao otpad obično se miješa sa pepelom prikupljenim u filtru ili elektrostatskoj taložnici i sa vapnom u miješalici, te se odlaže na odlagalište, [4].

Prednosti mokrog odsumporavanja su dobra učinkovitost i dodatno uklanjanje čestica. Mana im je taloženje kamena i sklonost začepljivanju, značajan pad tlaka dimnih plinova te značajniji investicijski i pogonski troškovi.



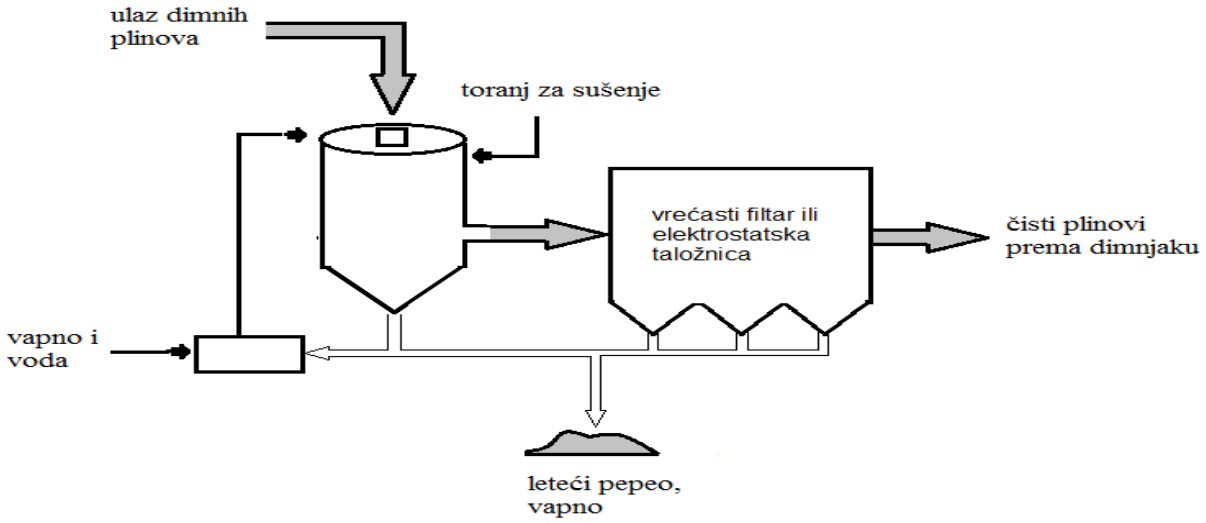
Slika 1. Konvencionalno odsumporavanje pomoću vapna ili vapnenca

Ako se govori o učinkovitosti ove tehnologije, uobičajena izvedba omogućava uklanjanje sumpora između 80 - 90%. Aditivi (vapno sa dodatkom magnezija) postižu veću učinkovitost za 5 - 10%, tako da ona naposljetku iznosi 95 - 99%.

Za ugradnju ove tehnologije na već postojeće postrojenje potrebno je 3 - 6 tjedana uz uvjet da ima dovoljno prostora. Investicijski troškovi za već postojeće postrojenje su 115 - 208 EUR/kW, a za novo postrojenje 92 - 161 EUR/kW. Ukupni troškovi pogona i održavanja su 0,51 - 0,92 EUcent/kWh za postojeća postrojenja, dok za nova postrojenja iznose 0,57 - 1,0 EUcent/kWh, [2].

2.2.2. Suho odsumporavanje dimnih plinova

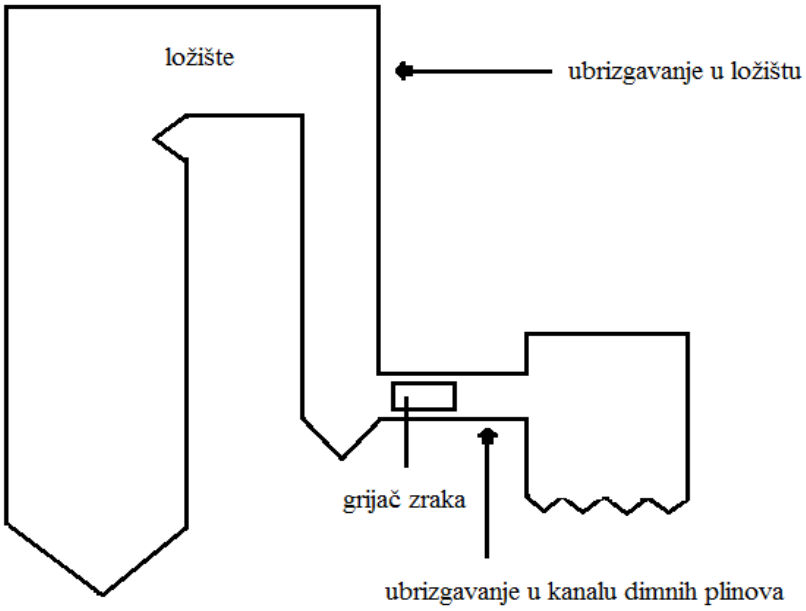
Suho odsumporavanje dimnih plinova radi tako da se u toranj za raspršivanje dovodi otopina kalcijevog hidroksida (vapno pomiješano sa vodom). Otopina se raspršuje i ubrizgava u dimne plinove. Dok isparavaju, kapljice reagiraju sa SO_2 u posudi. Količina vode se uzima tako da sva voda mora ispariti prije nego apsorbent padne na dno posude, stoga se ovaj proces naziva suhi proces. Sporedni proizvod koji pri tom nastaje sakuplja se na dnu tornja za sušenje i u opremi za uklanjanje čestica. Sporedni proizvod je nereagirano vapno i leteći pepeo, a uklanja se pomoću filtra ili elektrostatske taložnice. Kod ugljena s niskim udjelom sumpora otklanja se 70 % sumporovog dioksida. Investicijski troškovi za postojeća postrojenja iznose 108 - 161 EUR/kW, dok za nova postrojenja iznose 85 - 127 EUR/kW. Ukupni troškovi pogona i održavanja za postojeća postrojenja iznose 0,46 - 0,69 EUcent/kWh, dok za nova iznose 0,57 - 0,85 EUcent/kWh. Ulaganja u metodu suhog odsumporavanja su manja u odnosu na ulaganja u metodu mokrog odsumporavanja, a uz sve to jednostavniji su za pogon i održavanje. Na postojećim postrojenjima potrebno je 3 - 6 tjedana za ugradnju jedinice za suho odsumporavanje dimnih plinova. Prednosti ove metode su jednostavnost i manji pogonski i investicijski troškovi, dok im je jedini nedostatak manje učinkovitost (cca 70%), [5].



Slika 2. Suho odsumporavanje dimnih plinova

2.3.1. Ubrizgavanje upijača u ložište

Kod ubrizgavanja u ložište, upijač (suhi praškasti materijal), se zajedno sa zrakom ubrizgava iznad područja izgaranja kroz posebne ulaze za ubrizgavanje. Iz upijača se u ložištu kalcinacijom odvaja vapno koje reagira sa SO_2 i tvori kalcijev sulfat (gips). Upijač može biti vapnenac ili vapno. Kalcijev sulfat (gips) i leteći pepeo uklanjaju se pomoću elektrostatske taložnice ili vrećastih filtra. Na slici 3. je prikazan mogući položaj točke ubrizgavanja upijača.



Slika 3. Točke ubrizgavanja upijača

Učinkovitost uklanjanja SO_2 iznosi 30 - 60%. Važno je naglasiti da je ova metoda još u fazi ispitivanja. Moraju se riješiti još neke poteškoće koje se javljaju kod ove metode, npr. učinkovitost upijača se mora povećati da bi metoda postala ekonomski atraktivnija. Drugi problem je što ubrizgavanje upijača negativno utječe na rad taložnice. Ova metoda zahtjeva manje ulaganja nego mokro i suho odsumporavanje plinova, potreban je manji prostor i jednostavniji je pogon i održavanje.

2.3.2. Ubrizgavanje upijača u kanal dimnih plinova

Ubrizgavanje upijača u kanal dimnih plinova je ubrizgavanje ispred taložnice, slično je ubrizgavanju u ložištu. Potrebna je slična oprema. Potrebna je posuda za reakciju (apsorber) kao i oprema za uklanjanje čestica (elektrostatska taložnica, vrećasti filtar).

Kalcijev hidroksid se ubrizgava u posudu za reakciju, gdje se miješa sa dimnim plinovima. Prilikom ulaska plinova u apsorber, oni se hlade na "prilaznu temperaturu" ubrizgavanjem vode. Nereagirani upijač i pepeo hvataju se u tvorničkom filtru smještenom iza apsorbera i odlažu se na odlagalište, a čisti dimni plinovi odlaze u dimnjak.

Ubrizgavanjem ispred elektrostatske taložnice može se ukloniti 30 - 70% SO_2, a ubrizgavanjem iza taložnice 80 - 90%. Učinkovitost također još ovisi i o količini upijača i o prilaznoj temperaturi. Ova tehnologija još nije široko zastupljena budući da je još u procesu razvoja i komercijalizacije.

3. Tehnologije za smanjenje emisije dušikovih oksida (NO_X)

Emisije dušikovih oksida povezane su s kiselim kišama i fotokemijskim smogom te ozonom u troposferi. Iz tog razloga uvedene su tehnologije za regulaciju emisije NO_X iz novih, a isto tako i iz starih postrojenja za proizvodnju električne energije.

Emisija NO_X može se smanjiti sljedećim načinima:

- izborom goriva
- konstrukcijom ložišta
- primarnim mjerama (promjenom u izgaranju)

3.1. Primarne mjere

To su promjene u kotlu, odnosno promjene pri izgaranju a uključuju: promjene radnih uvjeta i promjene na uređajima za izgaranje. Pod promjenama radnih uvjeta ubrajaju se smanjenje količine zraka za izgaranje, smanjenje količine ugrijanog zraka te smanjenje opterećenja ložišta. Smanjenje zraka je često korištena metoda za smanjenje emisije NO_X, ali se koristi i kao metoda za smanjenje potrošnje energije. Znatna redukcija emisije dušikovih oksida može se ostvariti već primarnim mjerama, tijekom izgaranja, što se postiže odgovarajućom konstrukcijom plamenika i stupnjevitim dovođenjem zraka i goriva. Time se smanjuju maksimalne temperature u jezgri plamena i smanjuje se koncentracija kisika u zoni izgaranja. Količina emisije NOx u atmosferu se na ovaj način može smanjiti na vrijednost manju od 300 mg/m^3 (do 40 %), [6]. Primarne mjere za smanjenje emisije dušik-oksida su smanjenje količine zraka za izgaranje, smanjenje temperature zraka za izgaranje i smanjenje opterećenja ložišta, koje imaju učinkovito smanjenje emisije dušikovih oksida [5]. Kod metode smanjenja količine zraka postoji niz prednosti: smanjenje gubitaka topline dimnih plinova i smanjenje potrošnje goriva (za oboje se dobiva veća energetska učinkovitost), nepotrebnost dodatnih investicija i smanjenje nisko-temperaturne korozije, ali i nedostataka: zahtjevi za preciznom regulacijom izgaranja, moguća povećana emisija čestica i intenzivnije taloženje na unutarnjim stjenkama što smanjuje prijenos topline i povećava troškove održavanja. U ovom je slučaju postrojenje učestalije i dulje izvan uporabe. Metoda smanjenja temperature zraka za izgaranje ima svoje prednosti: jednostavnost izvedbe i nepotrebnost investicija, ali i nedostataka: smanjenje energetske učinkovitosti i povećanje utroška goriva. Slično je i kod primarne mjere smanjenja emisije dušikovih oksida smanjenjem opterećenja ložišta što je jednostavno i bez dodatnih investicija (prednosti), ali se pri tome smanjuje raspoloživa snaga, povećava specifični trošak goriva i dobiva privremeno rješenje (nedostaci).

3.2. Plamenici s niskom emisijom NO_X

Plamenici svojom konstrukcijom dosta utječu na stvaranje NO_X. Izmjenama na plamenicima regulira se izgaranje ugljika i vodika uz prihvatljivo stvaranje NO_X.
Osnovni načini poboljšanja plamenika su:

- plamenik s poboljšanim miješanjem
- plamenik s dijeljenjem plamena
- samorecirkulirajući plamenik
- plamenik s podstehiometrijskim izgaranjem
- plamenik s izgaranjem u dva stupnja.

3.3. Selektivna nekatalitička redukcija (SNCR)

SNRC je kemijski proces koji pretvara dušikove okside NO_X u molekularni dušik N_2. U ovom postupku ne postoji katalizator, a redukcijsko sredstvo (amonijak, amidi) ubacuje se direktno u dimovod u zonu visoke temperature. Ova kemijska reakcija se događa na visokoj temperaturi (870 - 1200°C). U ovom je procesu potrebno pažljivo kontrolirati temperaturu. Plinovito ili tekuće reakcijsko sredstvo na bazi dušika se ubacuje i miješa sa vrućim dimnim plinovima. Reakcijsko sredstvo reagira sa NO_X u struji dimnih plinova i pretvara ga u atmosferski dušik i vodenu paru koji su neopasni. Reakcijsko sredstvo primarno reagira s NO_X, a ne s kisikom ili drugim komponentama dimnih plinova. Kod ove tehnologije ne stvara se nikakav kruti ili tekući otpad. Ovako se može smanjiti emisija NO_X za 35 - 70% bez utjecaja na rad postrojenja. Na temperaturama ispod optimalnih, reakcija je slaba tako da je smanjenje NO_X jako malo, gotovo zanemarivo. Tehnologija je prvo razvijena za kotlove na mazut i prirodni plin, a za ložišta na ugljen je još u fazi ispitivanja. Troškovi ugradnje ove tehnologije za već postojeća postrojenja iznose 8 - 15 EUR/kW, a na novim postrojenjima 4 - 8 EUR/kW. Razliku u cijeni stvara potreba za ugradnjom ulaza za ubrizgavanje reagensa. Troškovi pogona i održavanja su 0,08 - 0,15 EUcent/kWh. Zbog jako jednostavnih komponenti koje je potrebno ugraditi instaliranje ove tehnologije puno je lakše od ostalih. Za ugradnju kod već postojećih postrojenja potrebno je 2 - 5 tjedana, [2].

3.4. Selektivna katalitička redukcija

Široko se primjenjuje za ugljen s niskim udjelom sumpora, ali je vrlo skupa i postoji potreba za prilagodbom raznim vrstama ugljena. Princip rada ove metode temelji se na smanjenju NO_X pretvorbom u N_2 i H_2O reakcijom NO_X i amonijaka uz pomoć katalizatora. Primarna reakcija koja se događa kod ove metode zahtjeva kisik, a djelovanje katalizatora je najbolje kod razine kisika iznad 2 -3%. Ova tehnologija se zasniva na ubrizgavanju amonijaka u dimne plinove da bi NO_X prešao u elementarni dušik i vodu. Radi na gotovo isti način kao i selektivna nekatalitička redukcija. Jedina razlika je u tome što je kod selektivne katalitičke redukcije potreban reagens koji ubrzava kemijsku reakciju. SCR sustav sadrži opremu za mjerenje NO_x, potrebnu za precizno doziranje reagensa, kako ne bi došlo do ispuštanja amonijaka u okoliš. Katalizator je potreban jer se proces odvija na znatno nižim temperaturama nego kod selektivne nekatalitičke redukcije. Karakteristične temperature za ovaj proces su 340 - 380°C. Najčešći katalizatori su spoj vanadija i titana te zeolitni materijali. Ova tehnologija se sredinom sedamdesetih godina počela koristiti u Japanu, u zapadnoj Europi osamdesetih godina u termoelektranama na ugljen, a u SAD-u početkom devedesetih godina također u termoelektranama na ugljen. Troškovi investicije

su visoki i iznose 38 - 77 EUR/kW ovisno o smještaju jedinice, cijeni katalizatora, cijeni amonijaka i vrsti sustava (vrući, hladni). Vrući sustav obično košta 38 - 77 EUR/kW, a hladni sustav 92 - 115 EUR/kW. Troškovi za pogon i održavanje su 0,31 - 0,61 EUcent/kWh ovisno o životnom vijeku katalizatora koji je obično 3 - 5 godina, te o cijeni katalizatora (7 - 13 EUR/m^3). Za ugradnju vrućeg sustava na već postojećem postrojenju potrebno je 2 - 3 mjeseca, a za hladni sustav 3 - 6 tjedana. Učinkovitost ove metode je 70 - 90%, [5].

4. Tehnologije za kombinirano uklanjanje SO_X i NO_X

Sumporov dioksid SO_2 i dušikovi oksidi NO_X su prisutni u dimnim plinovima. Poželjno je da se za smanjenje emisija SO_2 i NO_X koristi isti proces. U praksi se za kontrolu koriste odvojene metode. Konvencionalne metode odsumporavanja dimnih plinova služe za smanjenje emisije SO_2, dok se za smanjenje emisije NO_X koristi selektivna katalitička redukcija. Kombinirani sustavi bi trebali raditi na način da im je učinkovitost uklanjanja SO_2 i NO_X podjednaka, [3].

Granične vrijednosti emisija novih postrojenja na ugljen snage >100 MW za EU (uključivo i RH) za sumporne i dušične okside iznose 200 mg/m^3, [6].

5. Zaključak

Radom termoelektrane nastaje i sumporov dioksid SO_2, te je jedna od mjera za smanjenje nastanka ovoga plina korištenje prirodnog plina kao primarnog energenta koji ima gotovo zanemarivu količinu sumpora (TE na plin imaju emisiju SO_2 0,02 - 0,42 g/kWh, TE na tekuća goriva imaju 3,77 - 4,61 g/kWh, TE na ugljen imaju 0,68 - 24,51 g/kWh). Nadalje, smanjenje emisije SO_2 postiže se i čišćenjem ugljena s učinkovitošću od 60%. Nakon postupka čišćenja ugljena postotak ugljena iznosi 60 - 90% početne mase, a postotak ogrjevne moći je 85 - 98%. Metodom mokrog odsumporavanja postiže se učinkovitost 80 - 90% u uklanjanju sumpora. Dodavanjem vapna učinkovitost uklanjanja SO_2 penje se na 95 - 99%. Metoda suhog odsumporavanja se koristi kod termoelektrana na ugljen s malim udjelom sumpora u samom ugljenu. Učinkovitost metode je 70 - 90%. Ova metoda je investicijski najpovoljnija i najjednostavnija za ugradnju i održavanje. Kako bi se smanjila emisija dušikovih oksida NO_X koriste se plamenici s niskom emisijom NO_X (npr. plamenici s dijeljenjem plamena – smanjenje emisije 20 - 40%, koriste se u velikim postrojenjima s tekućim gorivima; samorecirkulirajući plamenik- učinkovitost 20%; plamenik s redukcijom u dva stupnja – učinkovitost 30 - 55%). Općenito gledajući, metoda korištenja plamenika s niskom emisijom NO_X postiže učinkovitost smanjenja emisije NO_X za 40 - 50%. Selektivnom nekatalitičkom redukcijom postiže se uklanjanje NO_X 35 - 70%, a koristi se za mazut i prirodni plin. Selektivna katalitička metoda se koristi za ugljen s niskom emisijom sumpora, učinkovitost je 70 - 90%, ali je ova metoda skuplja od nekatalitičke uz vrijeme ugradnje u rasponu od 2 - 3 mjeseca, dok je kod nekatalitičke redukcije to vrijeme 2 - 5 tjedana. Za vrijeme ugradnje postrojenje ne radi, te se time nagomilavaju dodatni troškovi.

6. Literatura

[1] Edward Rubin, Climate Change, Technology Innovation and the Future of Coal, Corner Stone, The Official Journal oft he world Coal Industry, Volume 1, Issue 1, 2013.

[2] D. Feretić, D. Škanata, D. Subašić, N. Čavlina, Ž. Tomšić, Elektrane i okoliš, Element, Zagreb, 2000.

[3] R. Kamall, Flue gas desulphurisation, London, 2000.

[4] http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/232a%20u%20energ.%20postr.%20-%20pogl.%208.pdf

[5] Z. Prelec, Tehnike za smanjenje emisija, (skripta), Zagreb, 2010.

[6] Ž. Bogdan, S.A. Živković, V. Dokmanović, J. Merić, Tehnologije čistog ugljena u strategiji razvoja elektroenergetskog sustava, Energija, god. 56(2007), br.4., 398 - 431

[7] G. Bedeković, B. Salopek, Zaštita zraka, Interna skripta, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2010.

Teorijska analiza optimalnog režima rada Braytonova ciklusa
Theoretical analysis of the optimal operation mode of Brayton cycle

M. Holik[1], Z. Janković[1], A. Galović[2]

[1]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska
[2]Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: mholik@sfsb.hr

Sažetak

U radu se analizira optimalni režim rada Braytonovog ciklusa po kriteriju maksimalnog termičkog stupnja djelovanja i po kriteriju maksimalnog neto rada. Pri tome se za varijable uzima omjer tlakova prije i nakon adijabatske kompresije u kompresoru, omjer ulazne temperature plinova u turbinu i ulazne temperature zraka u kompresor kao i izentropski stupanj djelovanja kompresora odnosno turbine. Omjer temperatura je variran na način da je držana temperatura zraka na ulazu u kompresor konstantnom i jednakom 25 °C, dok je temperatura dimnih plinova na ulazu u turbinu varirana od 800 °C do 1100 °C. U adijabatskoj komori za izgaranje potpuno izgara metan s faktorom pretička zraka koji je određen zadanom temperaturom dimnih plinova na ulazu u turbinu. Analiza nadalje obuhvaća i temperaturnu promjenljivost molarnih toplinskih kapaciteta zraka i dimnih plinova, a time i temperaturnu promjenljivost njihovih izentropskih eksponenata. Rezultati provedene analize su interpretirani i prikazani u odgovarajućim dijagramima.

Ključne riječi: Braytonov ciklus, potpuno izgaranje,maksimalni termički stupanj djelovanja, maksimalni rad po ciklusu, temperaturno ovisna fizikalna svojstva

Abstract

In this work the optimal working regime of Brayton cycle according criteria of maximal thermal efficiency and maximal net work per cycle is analysed. The variables are the pressure ratio before and after adiabatic (isentropic) expansion in the compressor, the ratio of turbine inlet and compressor inlet temperature and the isentropic efficiency of the turbine and compressor. The ratio of turbine inlet and compressor inlet temperature is varied in a way that the air temperature at the compressor inlet was kept constant and equal to 25 °C, while the temperature of flue gases at the turbine inlet was varied from 850 to 1100 °C. In the adiabatic combustion chamber methane completely burns with the factor of excess air which is determined by the temperature of flue gases at the turbine inlet. The

analysis further includes temperature variability of the molar heat capacities of the air and flue gases and thus temperature variability of their isentropic exponents. Results of the analysis are interpreted and presented in the relevant diagrams.

Key words: Brayton cycle, complete combustion, maximal thermal efficiency, maximal net work per cycle, temperature dependent physical properties

1. Uvod

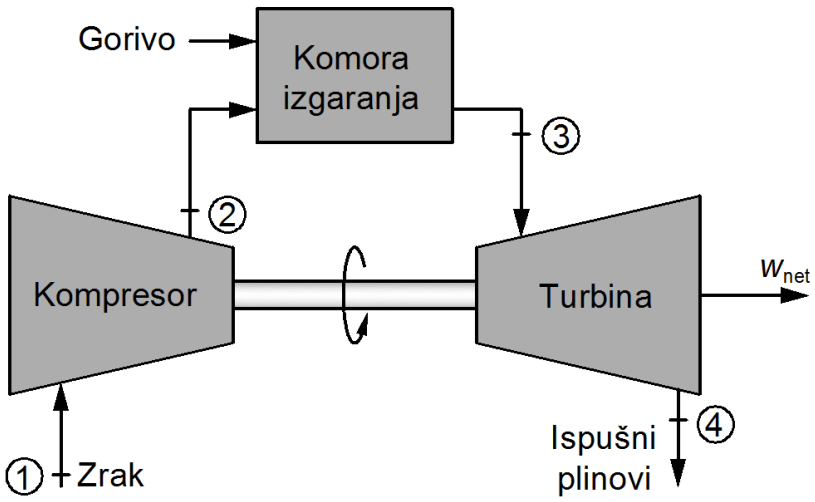
U mnogim se knjigama iz područja tehničke termodinamike toplinski kružni procesi (ciklusi) s idealnim plinom kao radnoj tvari tretiraju po tzv. standardnom modelu sa zrakom [1,2,3]. U takvom je modelu konstantan kako sastav, tako i fizikalna svojstva idealnog plina. Dobiveni rezultati daju relevantne smjernice za rad takvih procesa s ciljem poboljšanja njihove toplinske efikasnosti.

No razvojem računala, takve je procese moguće analizirati kako s promjenjivim sastavom dimnih plinova, tako i s promjenjivim fizikalnim svojstvima, njihovih molarnih (specifičnih) toplinskih kapaciteta tako i njihovih izentropskih eksponenata. Stoga je za cilj ovog rada odabran jedan Braytonov desnokretni ciklus, koji je obrađen po oba modela, a rezultati provedene analize su međusobno uspoređeni.

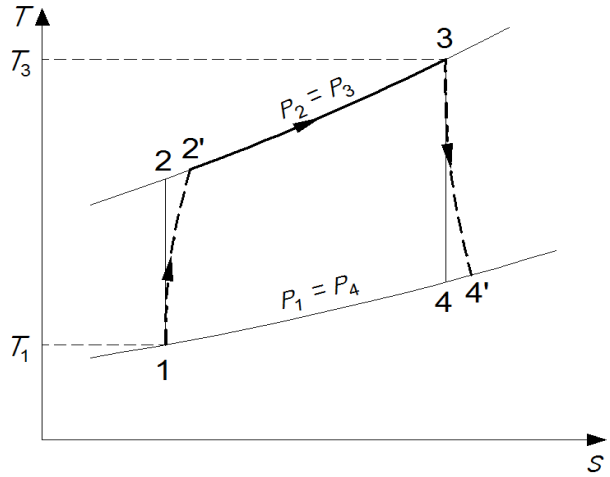
2. Matematička razrada problema

2.1. Promjenljivi sastav radne i temperaturno ovisna fizikalna svojstva

Skicu uređaja zajedno s prikazom procesa u *T,s* – dijagramu prikazuju slike 1 i 2.



Slika 1. Skica uređaja



Slika 2. Prikaz Braytonovog procesa u *T,s* – dijagramu

Shodno navedenim oznakama karakterističnih točaka procesa, može se napisati jednadžba za dobiveni rad po jednom ciklusu Braytonovog procesa, izraženog po jedinici količine goriva.

$$w_{\mathrm{cikl,Br}} = w_{\mathrm{turb}} - \left|w_{\mathrm{komp}}\right| = n_{\mathrm{dpl}}\left[C_{\mathrm{mpdpl}}\right]_{\vartheta_4}^{\vartheta_3}\left(T_3 - T_4^*\right) - n_{\mathrm{zr,stv}}\left[C_{\mathrm{mp,zr}}\right]_{\vartheta_1}^{\vartheta_2^*}\left(T_{2^*} - T_1\right). \tag{1}$$

Koristeći izraze za izentropske stupnjeve djelovanja turbine i kompresora [4], gornji se izraz može lako normirati na sljedeći oblik

$$\frac{w_{\mathrm{cikl,Br}}}{T_1 n_{\mathrm{zr}}\left|C_{\mathrm{mpzr}}\right|_{\vartheta_1}^{\vartheta_2^*}} = \frac{n_{\mathrm{dpl}}\left|C_{\mathrm{mpdpl}}\right|_{\vartheta_4^*}^{\vartheta_3}\eta_{\mathrm{turb}} r_T}{n_{\mathrm{zr}}\left|C_{\mathrm{mpzr}}\right|_{\vartheta_1}^{\vartheta_2^*}}\left(1 - \left(\frac{1}{r_p}\right)^{\frac{\kappa_{\mathrm{turb}}-1}{\kappa_{\mathrm{turb}}}}\right) + \frac{1 - \left(r_p\right)^{\frac{\kappa_{\mathrm{komp}}-1}{\kappa_{\mathrm{komp}}}}}{\eta_{\mathrm{komp}}}. \tag{2}$$

U jednadžbi (2) zadan je omjer temperatura $r_T = T_3/T_1$, te stanje zraka na ulazu u kompresor T_1 i p_1. Veličine n_{dpl} odnosno n_{zr} određene su iz uvjeta potpunog izgaranja metana.. Osim temperature zraka na ulazu u kompresor, zadana je temperatura dimnih plinova na ulazu u turbinu, koja se varira u rasponu od 800 do 1100 °C. Temperatura dimnih plinova na ulazu u turbinu određena je faktorom pretička zraka λ s kojim dano gorivo potpuno izgara u komori za izgaranje. Budući da u komoru za izgaranje dolazi i zagrijani zrak nakon kompresije, tada se faktor pretička zraka određuje prema sljedećoj jednadžbi:

$$\lambda = \frac{H_{\mathrm{md}}(0^{\circ}\mathrm{C}) - \vartheta_3\left(n_{\mathrm{CO_2}}\left[C_{\mathrm{mpCO_2}}\right]_0^{\vartheta_3} + n_{\mathrm{H_2O}}\left[C_{\mathrm{mpH_2O}}\right]_0^{\vartheta_3} + n_{\mathrm{N_2}}\left[C_{\mathrm{mpN_2}}\right]_0^{\vartheta_3} - O_{\min}\left[C_{\mathrm{mpO_2}}\right]_0^{\vartheta_3}\right)}{O_{\min}\left[C_{\mathrm{mpO_2}}\right]_0^{\vartheta_3} - n_{\mathrm{zrmin}}\left[C_{\mathrm{mpzr}}\right]_0^{\vartheta_2^*}\vartheta_2^*}. \tag{3}$$

Nakon određivanja faktora pretička zraka λ, količinu zraka i količinu pojedinih sudionika u plinovima izgaranja, lako se odredi prema sljedećim jednadžbama:

$$n_{zr} = \lambda \cdot \frac{O_{min}}{0{,}21} = \lambda \cdot \frac{2}{0.21} = 9{,}524\lambda \text{ kmol/kmol} \tag{4a}$$

$$O_{min} = 2 \text{ kmol/kmol} \tag{4b}$$

$$n_{zrmin} = 9{,}524 \text{kmol/kmol} \tag{4c}$$

$$n_{CO_2} = 1 \text{ kmol/kmol} \tag{4d}$$

$$n_{H_2O} = 2 \text{ kmol/kmol} \tag{4e}$$

$$n_{N_2} = 0{,}79 \cdot n_{zr} = 7{,}524\lambda \text{ kmol/kmol} \tag{4f}$$

$$H_{md}(0\ ^{\circ}\text{C}) = 800000 \text{ kJ/kmol, [1].} \tag{4g}$$

Vrijednosti srednjih molarnih toplinskih kapaciteta zraka i pojedinih sudionika u plinovima izgaranja određivane su prema analitičkim izrazima koji se mogu naći u [5].

Termički stupanj djelovanja ovog procesa računa se prema jednadžbi:

$$\eta_{Br} = \frac{w_{cikl,Br}}{H_{md}(0\ ^{o}\text{C}) + n_{zr}\left[C_{mpzr}\right]_0^{\vartheta_2^*} \vartheta_2^*}. \tag{5}$$

Sustavom jednadžbi (1) – (5) u potpunosti je određen algoritam rada Braytonova ciklusa s promjenljivim fizikalnim svojstvima radne tvari u samom procesu. Kako se vidi u tom modelu sastav radne tvari nije konstantan, kao što nisu konstantni njihovi molarni toplinski kapaciteti i njihovi izentropski eksponenti na strani kompresora odnosno na strani turbine. U radu se varira, kako je naglašeno, omjer temperature dimnih plinova na ulazu u turbinu i temperature zraka na ulazu u kompresor, a kao dodatne varijabla uveden je i omjer tlakova $r_p = p_2/p_1$. Praćenjem strukture gore navedenog sustava jednadžbi, evidentno je da sam način rješavanja istog, zahtijeva iteracijski postupak rješavanja.

2.2. Konstantni sastav radne tvari i konstantna fizikalna svojstva (tzv. zračni standardni model)

Za ovaj slučaj neto rad, po ciklusu, Braytonovog procesa dan je jednadžbom

$$\frac{w_{cikl,Br}}{c_p T_1} = \frac{1 - r_p^{\frac{k-1}{k}}}{\eta_{comp}} + \eta_{turb}\, r_T \left(1 - r_p^{\frac{k-1}{k}}\right). \tag{6}$$

dok se za termički stupanj djelovanja ovog procesa može lako izvesti sljedeća jednadžba

$$\eta = \frac{1 - r_p^{\frac{k-1}{k}} + \eta_{comp}\eta_{turb} r_T \left(1 - r_p^{\frac{k-1}{k}}\right)}{\eta_{komp}\left(r_T - 1\right) + 1 - r_p^{\frac{k-1}{k}}}. \tag{7}$$

Lako se dokazuje da jed. (6) ima lokalni ekstrem i to maksimum, što znači da postoji tzv. optimalni omjer tlakova $(r_p)_{opt}$, za koji se dobiva maksimalni iznos rada ovog Braytonova ciklusa, i taj je optimalni omjer tlakova jednak

$$\left(r_p\right)_{\text{opt}} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{\text{opt}} = \left(\eta_{\text{turb}}\eta_{\text{comp}}r_T\right)^{\frac{k}{2(k-1)}}. \tag{8}$$

pa maksimalni rad po ciklusu, je jednak

$$\left(\frac{w_{cikl,\text{Br}}}{c_p T_1}\right)_{\max} = \frac{\left(1-\sqrt{\eta_{\text{turb}}\eta_{\text{comp}}r_T}\right)^2}{\eta_{\text{comp}}}. \tag{9}$$

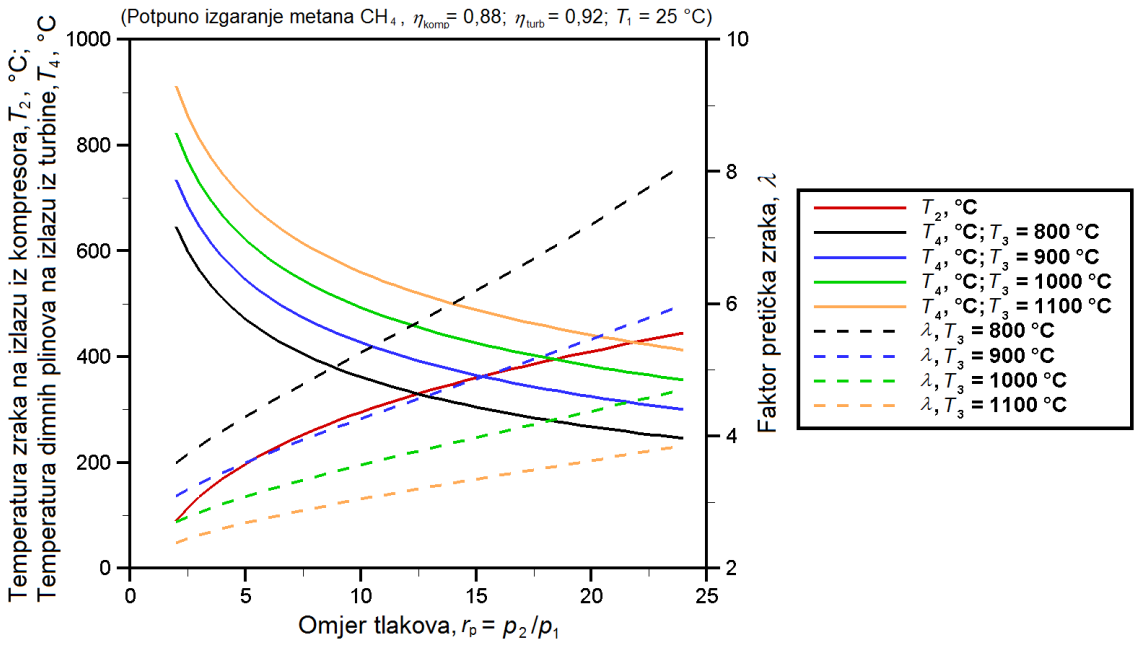
I jednadžba (7) ima svoj lokalni ekstrem, tj. postoji optimalni omjer tlakova, za koji se dobiva maksimalni termički stupanj djelovanja η_{max}. Taj je omjer tlakova opisan sljedećom jednadžbom

$$\left(r_p\right)_{\text{opt},\eta_{\max}} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{\text{opt},\eta_{\max}} = \left(\frac{\eta_{\text{turb}}r_T - \sqrt{\left(r_T-1\right)\left[\left(1-\eta_{\text{turb}}\right)\eta_{\text{comp}}r_T + 1 - \eta_{\text{comp}}\right]}}{\eta_{\text{comp}}\left(r_T-1\right) - r_T + 1}\right)^{\frac{k}{k-1}}. \tag{10}$$

Iz izvedenog proizlazi da se ne podudaraju vrijednosti optimalnih tlakova po kriteriju maksimalnog rada po ciklusu i kriteriju maksimalnog termičkog stupnja djelovanja procesa. Kao što se vidi iz struktura jed. (6) – (10) u njima figuriraju konstantna fizikalna svojstva, pa je i njihovo rješavanje daleko jednostavnije.

3. Prikaz i interpretacija rezultata proračuna

Kako se vidi iz prethodnog poglavlja u ovom se radu uspoređuju rezultati proračuna Braytonova ciklusa po dva odabrana modela. U modelu opisanom u poglavlju 2.1. dane su konkretne vrijednosti temperatura radne tvari u karakterističnim točkama procesa, pa stoga dijagram na slici 3 prikazuje temperaturu zraka na izlazu iz kompresora (crvena linija) u ovisnosti o omjeru tlakova r_p. Jasno je da je ta temperatura ista u svim slučajevima bez obzira na vrijednost odabrane temperature dimnih plinova na ulazu u turbinu te da kontinuirano raste s povećavanjem varijable r_p, i u promatranom slučaju ona se mijenjala od 90 °C za r_p = 2,0 do do 444 °C za r_p = 24,0.

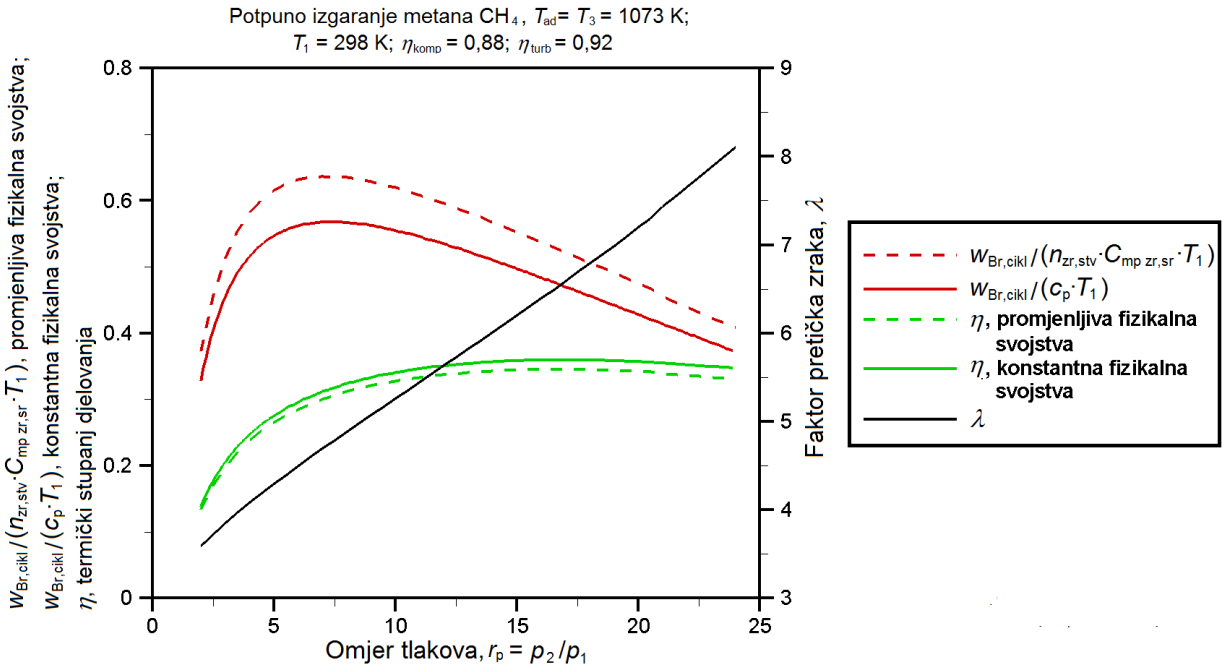


Slika 3 Temperatura zraka $T_{2'}$ na izlazu iz kompresora, temperature $T_{4'}$ na izlazu iz turbine, kao i faktori pretička zraka u ovisnosti o omjeru tlakova r_p i omjeru temperatura r_T

Nasuprot tome temperatura dimnih plinova na izlazu iz turbine ovisi o omjeru temperatura r_T kao i o omjeru tlakova r_p (pune linije osim crvene na slici 2), tako da ona raste s povećanjem r_T, i kontinuirano se smanjuje s povećavanjem r_p. U promatranom slučaju veličina r_T imala je vrijednosti 3,60; 3,936; 4,272 i 4,607, pa se vrijednost izlazne temperature $\vartheta_{4'}$ smanjivala od 645 °C do 246 °C za r_T = 3,60 odnosno od 912 °C do 412 °C za r_T = 4,607. Nasuprot tome iz gornjeg se dijagrama vidi da faktor pretička zraka λ kontinuirano raste s porastom r_p, ali se smanjuje s porastom varijable r_T, a što je u skladu s jed. (3). Tako npr. r_T = 3,60 vrijednost λ raste od 3,59 do 8,10, dok za r_T = 4,607 ta vrijednost raste od 2,38 do 3,85.

Sljedeći dijagrami prikazuju izračunate vrijednosti neto rada po jednom ciklusu i termičke stupnjeve djelovanja računate prema jed.(2) i (6) odnosno prema jed.(5) i (7), za odabrane vrijednosti temperatura dimnih plinova na ulazu u turbinu 800 °C; 900 °C; 1000 °C i 1100 °C, a što odgovara prethodno odabranim temperaturnim omjerima r_T = 3,60; 3,936; 4,272 i 4,607.

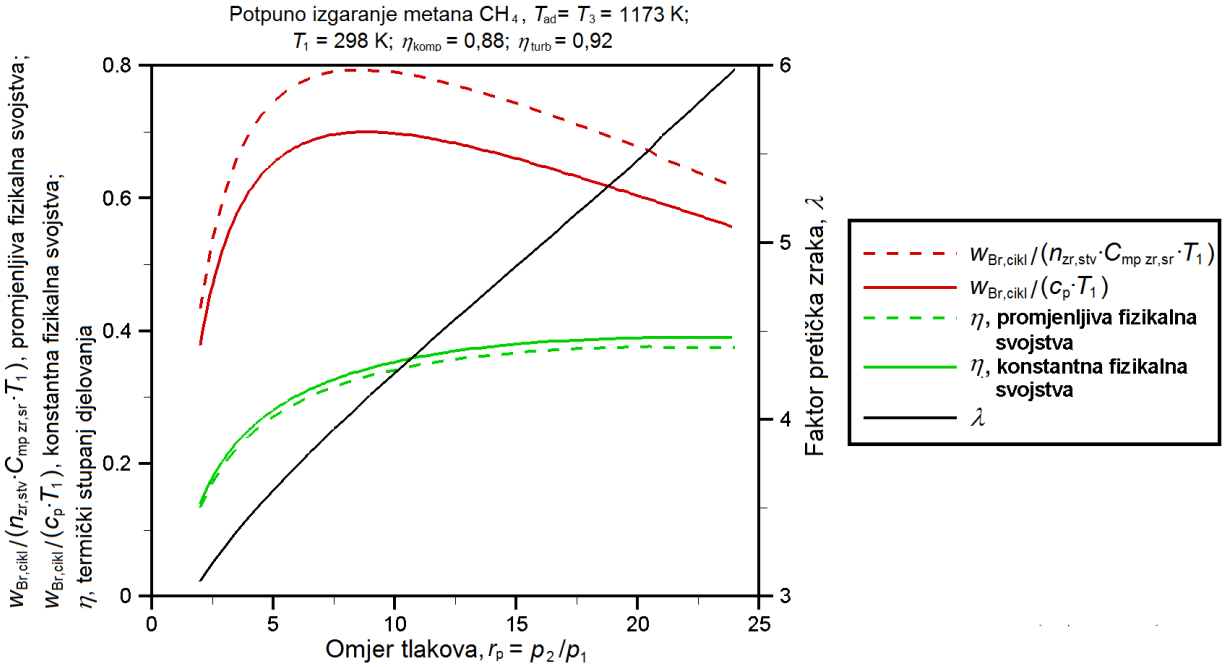
Dijagram na slici 4 prikazuje rad po ciklusu i termički stupanj djelovanja procesa za r_T = 3,60.



Slika 4 Ovisnost rada po ciklusu, termičkog stupnja djelovanja i faktora pretička zraka o omjeru tlakova nakon i prije kompresije, kod desnokretnog Braytonova ciklusa, za konstantna i promjenljiva fizikalna svojstva radne tvari ($T_{ad} = T_3 = 1073$ K; (800 °C), $\eta_{komp} = 0{,}88$; $\eta_{turb} = 0{,}92$)

Pri istom omjeru tlakova $r_p = p_2/p_1$ dobivaju se nešto više bezdimenzijske vrijednosti radova po jednom ciklusu za slučaj promjenljivih fizikalnih svojstava, (crvena crtkana linija), u odnosu na slučaj s konstantnim fizikalnim svojstvima, (crvena puna linija). No optimalna vrijednost omjera tlakova za koju se dobiju maksimalni iznosi radova po ciklusu praktički je ista za oba slučaja. Za slučaj s konstantnim fizikalnim svojstvima taj je omjer tlakova $(p_2/p_1)_{opt} = 7{,}357$, dok se iz ispisa dobivenih rezultata za promjenljiva fizikalna svojstva iščitava optimalni omjer $(p_2/p_1)_{opt} = 7{,}1$. Što se tiče termičkog stupnja djelovanja, zelena crtkana i puna linija na slici 3, evidentno je da su njihove numeričke razlike za promatrane modele praktički minimalne. Također obje krivulje pokazuju praktički isti omjer tlakova pri kojem se javlja maksimalni iznos termičkog stupnja djelovanja. Tako za konstantna fizikalna svojstva taj omjer tlakova, računat prema jed.(10), iznosi $(p_2/p_1)_{opt,etamax} = 16{,}887$, dok se iz ispisa rezultata za promjenljiva fizikalna svojstva iščitava vrijednost $(p_2/p_1)_{opt,etamax} = 16{,}8$. Pripadajuće vrijednosti maksimalnih termičkih stupnjeva djelovanja za ta dva slučaja su 0,359 odnosno 0,345. Iz dijagrama je vidljivo da se optimalne vrijednosti omjera tlakova ne podudaraju po kriteriju maksimalnog rada po ciklusu odnosno maksimalnog stupnja djelovanja procesa. Glede maksimalno dobivenog rada po ciklusu, iz dijagrama se jasno uočava da je optimalno područje rada uređaja unutar intervala $5 < r_p < 10$. Izvan tog intervala dobiveni rad po ciklusu se naglo smanjuje.

Dijagram na slici 5 prikazuje prethodno navedene veličine, ali za zadanu temperaturu dimnih plinova na ulazu u turbinu 900 °C, što odgovara temperaturnom omjeru r_T = 4,607.

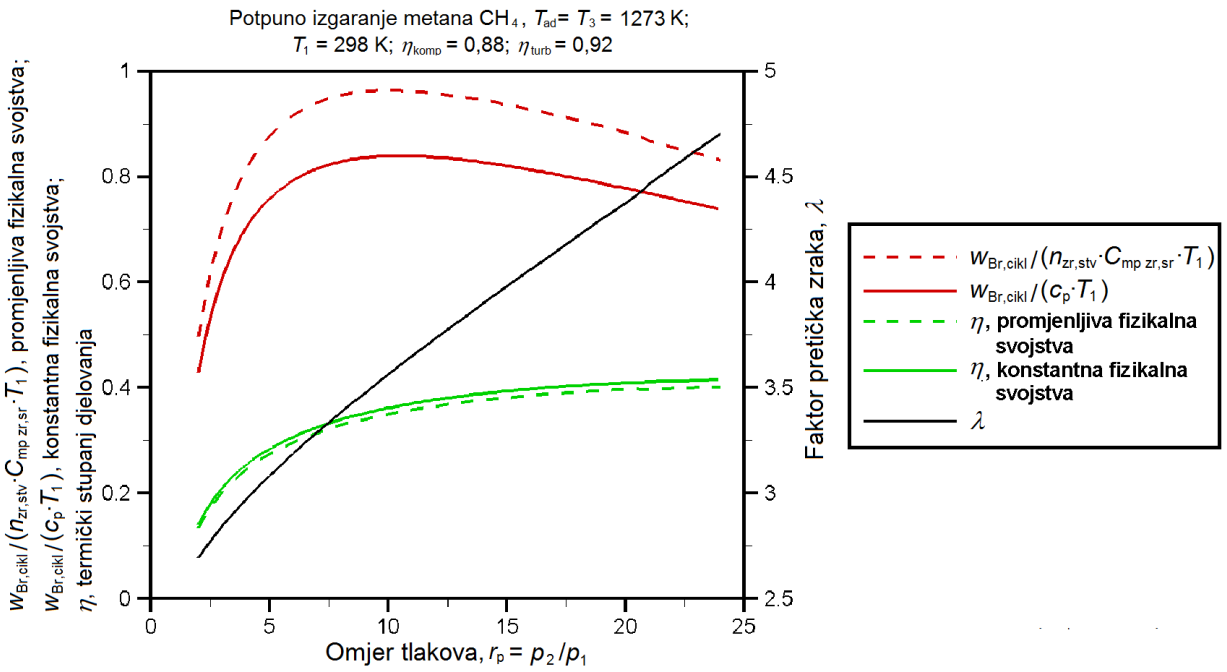


Slika 5 Ovisnost rada po ciklusu, termičkog stupnja djelovanja i faktora pretička zraka o omjeru tlakova nakon i prije kompresije, kod desnokretnog Braytonova ciklusa, za konstantna i promjenljiva fizikalna svojstva radne tvari
(T_{ad} = T_3 = 1173 K; (900 °C), η_{komp} = 0,88; η_{turb} = 0,92)

Dijagram i u ovom slučaju prikazuje slično ponašanje promatranih veličina samo što su vrijednosti dobivenih radova po ciklusi i dobivenih termičkih stupnjeva djelovanja veće u odnosu na prethodne slučajeve. Za konstantna fizikalna svojstva optimalni je omjer tlakova, dobiven iz jed.(8), jednak $(p_2/p_1)_{opt}$ = 8,834, dok se iz ispisa dobivenih rezultata za promjenljiva fizikalna svojstva iščitava taj optimalni omjer $(p_2/p_1)_{opt}$ = 8,6. U ovom slučaju je nešto sporije opadanje vrijednosti rada po ciklusu, u odnosu na prethodni slučaj, za omjere tlakova veće od optimalnog.

Što se tiče termičkog stupnja djelovanja, zelena crtkana i puna linija na slici 4, evidentno je da su njihove numeričke razlike za promatrane modele praktički minimalne. Također i u ovom slučaju obje krivulje pokazuju praktički isti omjer tlakova pri kojem se javlja maksimalni iznos termičkog stupnja djelovanja. Tako za konstantna fizikalna svojstva taj omjer tlakova, računat prema jed.(10), iznosi $(p_2/p_1)_{opt,etamax}$= 22,398, doka se iz ispisa rezultata za promjenljiva fizikalna svojstva iščitava vrijednost $(p_2/p_1)_{opt,etamax}$= 22,0. Pripadajuće vrijednosti maksimalnih termičkih stupnjeva djelovanja za ta dva slučaja su 0,575145 odnosno 0,575411.

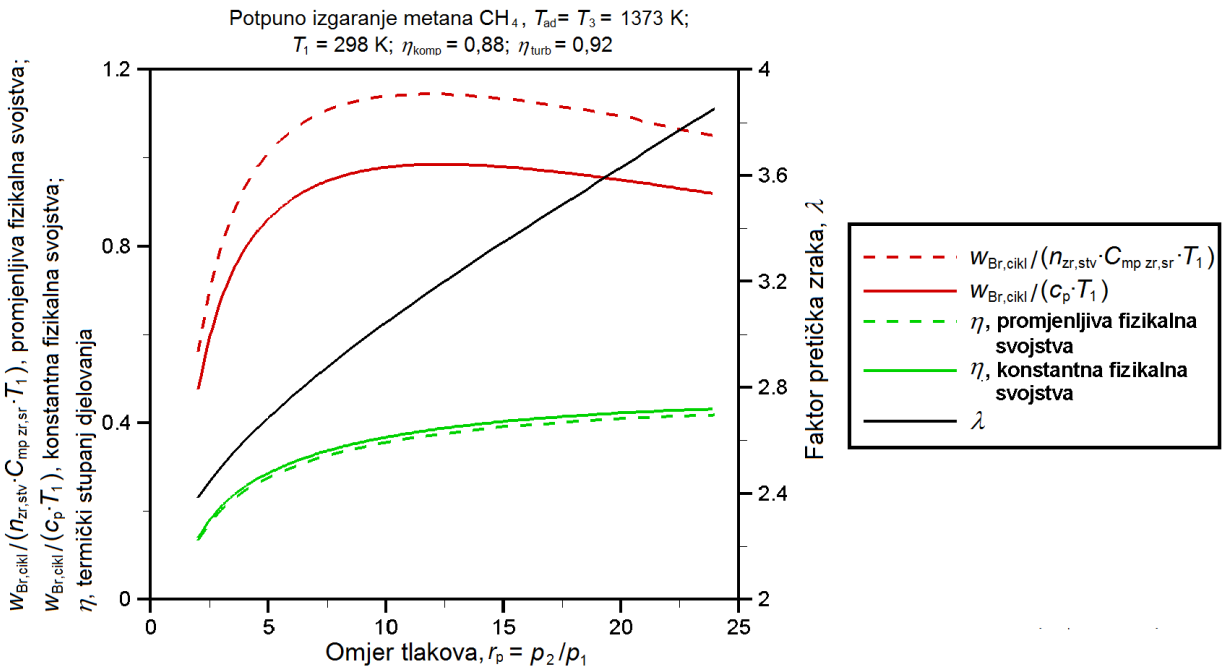
Dijagram na slici 6 prikazuje prethodno navedene veličine, ali za zadanu temperaturu dimnih plinova na ulazu u turbinu 1000 °C, što odgovara temperaturnom omjeru r_T = 4,272.



Slika 6 Ovisnost rada po ciklusu, termičkog stupnja djelovanja i faktora pretička zraka o omjeru tlakova nakon i prije kompresije, kod desnokretnog Braytonova ciklusa, za konstantna i promjenljiva fizikalna svojstva radne tvari ($T_{ad} = T_3 = 1273$ K; (1000 °C), $\eta_{komp} = 0{,}88$; $\eta_{turb} = 0{,}92$)

Optimalna vrijednost omjera tlakova za koju se dobiju maksimalni iznosi radova po ciklusu praktički je ista za oba slučaja. Za konstantna fizikalna svojstva taj je omjer tlakova dobiven iz jed.(8), jednak $(p_2/p_1)_{opt} = 10{,}486$, dok se iz ispisa dobivenih rezultata za promjenljiva fizikalna svojstva iščitava taj optimalni omjer $(p_2/p_1)_{opt} = 10{,}1$. Što se tiče termičkog stupnja djelovanja, (zelena crtkana i puna linija na slici 5), evidentno je da su njihove numeričke razlike za promatrane modele praktički minimalne. Također obje krivulje pokazuju praktički isto omjer tlakova pri kojem se javlja maksimalni iznos termičkog stupnja djelovanja. Tako za konstantna fizikalna svojstva taj omjer tlakova, računat prema jed.(10), iznosi $(p_2/p_1)_{opt,etamax} = 29{,}193$, što znači da taj omjer tlakova za oba slučaja izlazi iz promatranog intervala omjera tlakova.

Dijagram na slici 7 prikazuje prethodno navedene veličine, ali za zadanu temperaturu dimnih plinova na ulazu u turbinu 1100 °C, što odgovara temperaturnom omjeru $r_T = 3{,}936$.



Slika 7 Ovisnost rada po ciklusu, termičkog stupnja djelovanja i faktora pretička zraka o omjeru tlakova nakon i prije kompresije, kod desnokretnog Braytonova ciklusa, za konstantna i promjenljiva fizikalna svojstva radne tvari
(T_{ad} = T_3 = 1373 K; (1100 °C), η_{komp} = 0,88; η_{turb} = 0,92)

I u ovom slučaju vidi se slično ponašanje krivulja dobivenog rada po ciklusu, kao i u prethodnim slučajevima. Samo su u ovom slučaju te dobivene vrijednosti po iznosu veće. I ovdje se dobivaju veći iznosi rada po ciklusu razlikuju po iznosu pri istom omjeru tlakova $r_p = p_2/p_1$ za slučaj promjenljivih fizikalnih svojstava, crvena crtkana linija, jed.(2), u odnosu na konstantna fizikalna svojstva, crvena puna linija, jed.(6). I optimalne vrijednosti omjera tlakova za koju se dobiju maksimalni iznosi radova po ciklusu praktički su isti za oba slučaja. Za konstantna fizikalna svojstva taj je omjer tlakova dobiven iz jed.(8), jednak $(p_2/p_1)_{opt}$ = 12,326, dok se iz ispisa dobivenih rezultata za promjenljiva fizikalna svojstva iščitava taj optimalni omjer $(p_2/p_1)_{opt}$ = 11,8. Nadalje se može uočiti, da je ovdje još jače izraženo smanjenje rada po ciklusu za $r_p > r_{popt}$, nego li u prethodnim slučajevima.

Što se pak tiče vrijednosti termičkog stupnja djelovanja, razlike su za oba slučaja praktički zanemarive, što se vidi iz tijeka zelene crtkane i zelene pune linije. Za oba slučaja optimalni omjer tlakova pri kojem se dobiva maksimalni termički stupanj djelovanja izlazi iz promatranog intervala odabranog omjera tlakova.

5. Zaključak

Provedena je analiza Braytonova ciklusa koristeći dva modela: model s promjenljivim sastavom i promjenljivim fizikalnim svojstvima radne tvari kao i model s konstantnim fizikalnim sastavom i konstantnim fizikalnim svojstvima radne tvar, tzv. standardni model

sa zrakom, pri čemu je potonji dominantno zastupljen kako u mnogim knjigama tako i u mnogim znanstvenim radovima. Dobiveni rad po ciklusu za oba modela je normiran i rezultati pokazuju isto kvalitativno ponašanje izračunatih vrijednosti, s time da su veće normirane vrijednosti kod modela s promjenljivim sastavom i svojstvima po iznosu veće. Što se tiče termičkog stupnja djelovanja oba su modela pokazala praktičke iste rezultate, ali se pokazalo da se optimalne vrijednosti tlaka, za koje se dobiva maksimalni termički stupanj djelovanja procesa, veće u odnosu na optimalne vrijednosti tlaka za koje se dobiva maksimalni rad po jednom ciklusu procesa. Analiza je za oba slučaja provedena za dvije odabrane vrijednosti izentropskog stupnja djelovanja kompresora odnosno turbine η_{komp} = 0,88 i η_{turb} = 0,92, te za četiri odabrane temperature dimnih plinova na ulazu u turbinu: 800 °C; 900 °C, 1000 °C i 1100 °C, i dobiveni su rezultati pokazali signifikantni utjecaj te temperature, kao i omjer tlakova prije i nakon kompresije na iznos ispitivanih veličina.

Predloženi model s promjenljivim sastavom tvari i njihovim promjenljivim fizikalnim svojstvima je bliži stvarnim uvjetima i sam algoritam tog modela je relativno korisnički jednostavan, pogotovo primjenom računala.

6. Literatura

[1] Bošnjaković, Fran. Nauka o toplini, I. dio, IV. preuređeno izdanje. Zagreb: Tehnička knjiga, 1970.

[2] Rant, Zoran. Termodinamika – knjiga za uk in prakso. Ljubljana: Fakultet za strojništvo, 2000. (ISBN 961-6238-47-7)

[3] Stephan, Karl; Mayinger, Franz. Thermodynamik. Grundlagen und technische Anwendungen, 12. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin: Springer Verlag, 1986. (ISBN 978-3-540-36709-3)

[4] Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A. Thermodynamics, An Engineering Approach. VI. Edition. Boston: Mc Graw-Hill, 2007. (ISBN 978-0-077-36674-2)

[5] Galović, Antun; Virag, Zdravko; Živić, Marija; Holik, Mario. Eksergijska efikasnost procesa potpunog izgaranja zasićenih ugljikovodika // *Zbornik radova 8. skupa o prirodnom plinu, toplini i vodi, 1. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi* / Stojšić, Josip(ur.). (ISBN 978-953-6048-58-8). Osijek: 2010. 03-1-03-10

Pregledni prikaz algoritama za praćenje točke maksimalne snage u fotonaponskim sustavima
Overview of the Algorithms for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems

D. Vulin*, M. Štefok, D. Pelin

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

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

Sažetak
Strujno-naponska karakteristika fotonaponskog (FN) sustava ovisi o promjenama temperature panela, sunčevog zračenja i opterećenja. Algoritam za praćenje točke maksimalne snage (eng. *Maximum Power Point Tracking* – MPPT) implementiran je u energetskom pretvaraču kako bi osigurao maksimalnu izlaznu snagu iz sustava unatoč navedenim promjenama ulaznih veličina. Cilj ovog rada je dati sažet i sveobuhvatan prikaz MPPT algoritama u fotonaponskim sustavima. Nakon toga su oni najčešće korišteni algoritmi, Pomak i promatranje (eng. *Perturb and Observe* - P&O), Inkrementalni algoritam (eng. *Incremental Conductance* - InCond), i Upravljanje neizrazitom logikom (eng. *Fuzzy Logic Control* - FLC), detaljno analizirani i uspoređeni.

Abstract
The current-voltage characteristic of a photovoltaic (PV) system depends on fluctuations of the panel temperature, solar irradiation, and load. The Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm is implemented in a power converter to obtain maximum output power from a PV system despite those fluctuations. The objective of this paper is to give brief and comprehensive overview of MPPT algorithms in photovoltaic systems. Then the most commonly used algorithms, Perturb and Observe (P&O), Incremental Conductance (InCond) and Fuzzy Logic Control (FLC) are analyzed in detail and compared.

Ključne riječi: fotonaponski sustavi, praćenje točke maksimalne snage, MPPT algoritmi, elektronički energetski pretvarači

1. Uvod
Unatoč znatnijim ulaganjima u istraživanje i razvoj fotonaponske tehnologije u posljednjih desetak godina, danas je cijena fotonaponskih ćelija, odnosno fotonaponskih sustava i dalje visoka, te su oni komercijalno konkurentni drugim uobičajenim izvorima električne energije samo u određenim područjima primjene, recimo tamo gdje ne postoji mogućnost

priključenja određenih trošila na elektroenergetsku mrežu ili tamo gdje je priključenje na elektroenergetsku mrežu ekonomski neisplativo.

Međutim, vodeći svjetski stručnjaci u području energetike procijenili su da će upravo fotonaponska tehnologija u 21. stoljeću dominirati u zadovoljavanju potreba za električnom energijom zbog opadanja raspoloživih zaliha konvencionalnih goriva [1]. Također, svakim danom cijena fotonaponske opreme pada, pri čemu efikasnost fotonaponskih ćelija raste, što može u bliskoj budućnosti dovesti do toga da fotonaponski sustavi postanu komercijalno konkurentni konvencionalnim izvorima električne energije.

Efikasnost fotonaponskog sustava određena je trima faktorima: efikasnost fotonaponskih ćelija (efikasnost ćelija u komercijalnoj primjeni iznosi od 8% do 15%), efikasnost energetskog pretvarača (kreće se između 95% i 98%), te efikasnost MPPT algoritma (više od 98%). Povećanje efikasnosti ćelija i pretvarača nije jednostavno postići jer ovisi o dostupnim tehnologijama, pri čemu zahtijeva bolje, a samim time i skuplje komponente, te može značajno utjecati na ukupnu cijenu fotonaponskog sustava. Suprotno tome, povećanje efikasnosti MPPT algoritma, poboljšanjem postojećega ili implementiranjem novoga, znatno je jeftinije i može biti provedeno čak i na fotonaponskom sustavu koji je već u pogonu.

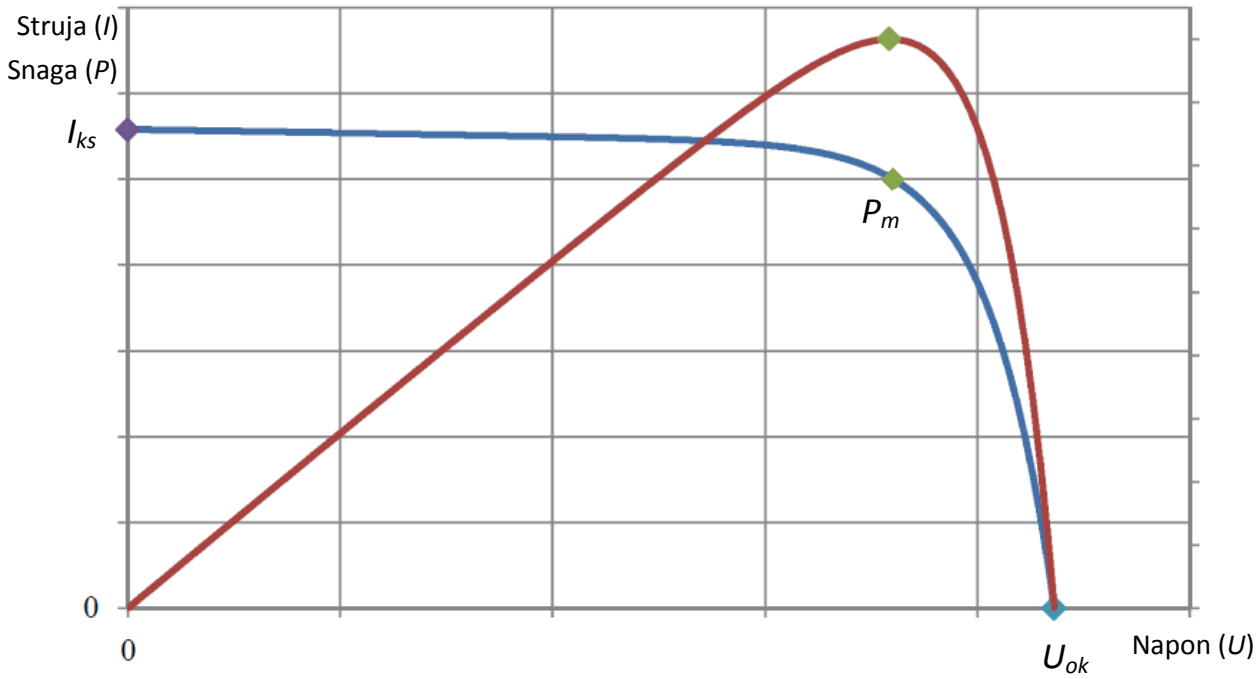
2. Strujno-naponska karakteristika fotonaponskog sustava

Osnovni zadatak MPPT algoritama je traženje točke maksimalne snage na strujno-naponskoj karakteristici fotonaponskog sustava i pozicioniranje radne točke sustava u točku maksimalne snage, odnosno što bliže toj točki. Pri tome treba uzeti u obzir da karakteristika, a time i položaj točke maksimalne snage ovisi o intenzitetu sunčevog zračenja i temperaturi fotonaponskih panela. S porastom sunčevog zračenja cijela karakteristika, a time i točka maksimalne snage, pomiče se prema gore. S porastom temperature ćelija cijela karakteristika, a time i točka maksimalne snage, pomiče se ulijevo.

Bitno je i napomenuti da pojam MPPT-a ne obuhvaća mehanički sustav praćenja koji fizički okreće panel prema suncu.

Karakteristika fotonaponskog sustava prolazi kroz tri karakteristične točke u kojima su definirani najvažniji parametri ćelije, slika 1. [2]:

1. struja kratkog spoja I_{ks},
2. napon otvorenog kruga U_{ok},
3. točka maksimalne snage P_m.

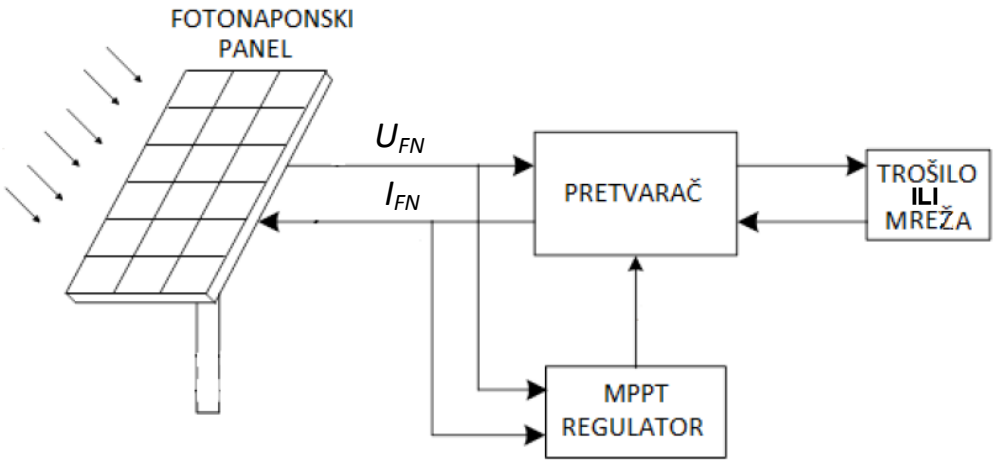


Slika 1. Karakteristike fotonaponskog sustava

Na slici 1. plavom bojom je prikazana strujno-naponska (*i-u*) karakteristika, a crvenom bojom prikazana je ovisnost snage o naponu.

3. Implementacija MPPT algoritma

MPPT algoritam implementiran je u energetskom pretvaraču, točnije u istosmjernom pretvaraču napona koji je sastavni dio energetskog pretvarača preko kojega se fotonaponski sustav priključuje na elektroenergetsku mrežu ili na trošilo, ovisno o primjeni sustava. Od istosmjernih pretvarača, najčešće se koriste uzlazni pretvarač (eng. *boost converter*) i silazno-uzlazni pretvarač (eng. *buck-boost converter*).



Slika 2. Blokovski prikaz fotonaponskog sustava

4. Pregledni prikaz MPPT algoritama

U posljednjem desetljeću razvijeni su mnogi algoritmi za praćenje točke maksimalne snage koji se razlikuju po složenosti implementacije, potrebnim senzorima, brzini konvergencije, rasponu efikasnosti, cijeni, odzivu pri brzim promjenama temperature, odnosno zračenja, te po sklopovima potrebnima za implementaciju [3].

Najčešće korišteni algoritmi su Pomak i promatranje (eng. *Perturb and Observe* - P&O), Inkrementalni algoritam (eng. *Incremental Conductance* - InCond), i Upravljanje neizrazitom logikom (eng. *Fuzzy Logic Control* - FLC). S obzirom da se ova tri algoritma koriste u velikoj većini slučajeva, u nastavku će biti detaljnije predstavljeni.

Ostali algoritmi su Neuronske mreže (eng. *Neural Networks* - NN), Djelomični napon praznog hoda i struja kratkog spoja (eng. *Fractional open circuit voltage and short circuit current*), Strujni zamah (eng. *Current Sweep*), i drugi.

4.1. Pomak i promatranje (eng. *Perturb and Observe* – P&O)

MPPT algoritam Pomak i promatranje (P&O) ubraja se u tzv. *hill-climbing* algoritme, kao i Inkrementalni algoritam (eng. *Incremental Conductance* - InCond). Naziv su dobili po tome što se kod njih radna točka fotonaponskog sustava pomiče u smjeru porasta snage [4].

Ovaj algoritam u diskretnim koracima mijenja napon istosmjerne veze između fotonaponskog sustava i energetskog pretvarača, pri čemu predznak promjene snage i predznak promjene napona određuju sljedeći korak. Ako je predznak promjene snage pozitivan, zadržava se isti predznak promjene napona, tj. ako je napon u prethodnom koraku povećan, i u sljedećem koraku će biti povećan, i obrnuto. Ako je predznak promjene snage negativan, odnosno ako se snaga u odnosu na prethodno stanje smanjila, mijenja se predznak promjene napona. Drugim riječima, promjena napona zadržava isti predznak sve dok vrijedi uvjet:

$$\frac{dP}{dU} > 0 \,. \tag{1}$$

Na slici 1. se vidi da se na lijevom dijelu krivulje snage gledajući od točke maksimalne snage povećanjem napona povećava i snaga, dok se na desnom dijelu krivulje snaga povećava smanjenjem napona.

Ovaj algoritam postiže vrlo visoku efikasnost pri konstantnom sunčevom zračenju. Dodatne prednosti su jednostavna implementacija i mala računalna snaga potrebna za provedbu.
Postoje dva velika nedostatka. Ako se sunčevo zračenje brzo mijenja, algoritam može izgubiti pravi smjer prema točki maksimalne snage. To je posebno izraženo ako se

sunčevo zračenje mijenja kontinuirano, a ne skokovito. U tom slučaju se i krivulja mijenja kontinuirano pa je algoritmu nemoguće odrediti mijenja li se snaga uslijed promjene napona ili uslijed promjene sunčeva zračenja. Ako se sunčevo zračenje mijenja skokovito, promjena krivulje događa se gotovo trenutno i tada je algoritmu lakše odrediti pravi smjer prema točki maksimalne snage.

Drugi nedostatak je osciliranje oko točke maksimalne snage. Ovo se događa zbog toga što je promjena napona diskretna uslijed čega napon i struja gotovo nikada ne pogode točno točku maksimalne snage već osciliraju oko nje. Veličina oscilacija ovisi o iznosu promjene napona jednog koraka. Što je veća promjena napona, veće su oscilacije. Međutim, što je veća promjena, algoritam brže dođe u točku maksimalne snage. Prema tome, potrebno je pronaći optimalan korak promjene napona jer relativno mali korak uzrokuje sporo pronalaženje točke maksimalne snage što može uzrokovati velike gubitke u proizvodnji energije pri bržim promjenama sunčeva zračenja, ali u isto vrijeme smanjuje oscilacije oko točke maksimalne snage. Relativno velik korak osigurava brže pronalaženje točke maksimalne snage, ali može uzrokovati velike oscilacije oko točke maksimalne snage, što također dovodi do gubitka u proizvodnji električne energije.

Kako bi se otklonili navedeni nedostatci, nekoliko je rješenja ponuđeno [5, 6]. Kako bi se poboljšao P&O algoritam u uvjetima brze promjene sunčeva zračenja ponuđen je tzv. dP-P&O algoritam u kojemu se izvodi dodatno mjerenje bez promjene napona. Na ovaj način se svako treće mjerenje izvodi bez promjene napona i na taj način se može točno odrediti koji dio promjene snage je uzrokovan promjenom sunčeva zračenja, a koji dio je uzrokovan promjenom napona.

Također, modificirani P&O algoritam predstavljen u [7] nudi promjenjivi korak promjene napona kako bi se poboljšala brzina dolaska u točku maksimalne snage, a u isto vrijeme smanjile oscilacije oko točke maksimalne snage. Kao početni uvjet pri određivanju koraka, algoritam mora odrediti udaljenost do točke maksimalne snage.

4.2. Inkrementalni algoritam (eng. *Incremental Conductance* – InCond)

Inkrementalni algoritam (InCond) temelji se na činjenici da je nagib krivulje snaga-napon jednak nuli u točki maksimalne snage, pozitivan na lijevoj strani od točke maksimalne snage i negativan na desnoj strani, kao što se može vidjeti na slici 1.:

$\Delta P / \Delta U = 0$ u točki maksimalne snage,
$\Delta P / \Delta U > 0$ s lijeve strane,
$\Delta P / \Delta U < 0$ s desne strane.

Uspoređujući promjenu snage s promjenom napona između dva uzastopna koraka, može se odrediti smjer promjene napona u sljedećem koraku.

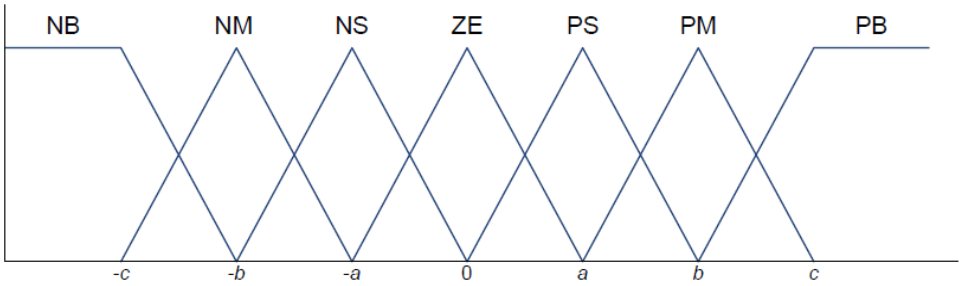
Prednosti i nedostatci InCond algoritma jednaki su kao kod P&O algoritma.

4.3. Upravljanje neizrazitom logikom (eng. *Fuzzy Logic Control* - FLC)

FLC algoritam postao je popularan u posljednjem desetljeću jer se može nositi s nepreciznim ulazima, ne treba točan matematički model i dobro se nosi s nelinearnošću. Na popularizaciju FLC-a dodatno je utjecao razvoj mikrokontrolera jer FLC algoritam zahtijeva jaču računalnu podršku od *hill-climbing* algoritama.

FLC se sastoji od tri faze: fuzifikacija (eng. *fuzzification*), sustav zaključivanja (eng. *inference system*) i defuzifikacija (eng. *defuzzification*). Fuzifikacija obuhvaća procese transformacije numeričkog ulaza u jezične varijable na temelju stupnja (položaja) pripadnosti u određenim grupama. Funkcija pripadnosti prikazana je na slici 3., a koristi se za povezivanje svakog stupnja s jezičnim izrazom. Broj funkcija pripadnosti koristi se ovisno o preciznosti regulatora, ali to obično varira između pet i sedam [4].

Na slici 3. koristi se sedam neizravnih razina: NB (negativna velika), NM (negativna srednja), NS (negativna mala), ZE (nula), PS (pozitivna mala), PM (pozitivna srednja), PB (pozitivna velika). Vrijednosti *a*, *b* i *c* temelje se na dometu vrijednosti numeričke varijable. U nekim slučajevima funkcije pripadnosti su manje simetrične jer su na taj način optimizirane za bolju točnost.



Slika 3. Funkcija pripadnosti

Ulazi neizrazitog regulatora su obično pogreške, *E*, i promjene u pogrešci, ΔE. Pogreška može biti izabrana od strane projektanta, ali obično je izabrana kao $\Delta P/\Delta U$ jer je nula u točki maksimalne snage. Tada su *E* i ΔE definirani kao:

$$E = \frac{P(k) - P(k-1)}{U(k) - U(k-1)}, \tag{2}$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1). \tag{3}$$

Izlaz iz neizrazitog regulatora je obično promjena u intervalu rada pretvarača (ΔD) ili promjena u referentnom naponu istosmjerne veze (ΔU). Bazno pravilo, koje se očitava u

tablici baznih pravila, povezuje neizrazite izlaze s neizrazitim ulazima. Tablica 1. prikazuje bazno pravilo za trofazni izmjenjivač, gdje su ulazi E i ΔE, a izlaz je promjena napona istosmjerne veze, ΔU.

Tablica 1. Bazno pravilo

E\dE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Na primjer, ako je radna točka daleko udesno od točke maksimalne snage, E će biti NB, a ΔE će biti nula. Tada, napon istosmjerne veze mora se smanjiti kako bi se radna točka približila točki maksimalne snage, pa ΔU treba biti NB.

Posljednja faza je defuzifikacija. U toj fazi izlaz se transformira iz jezične varijable u brojčani izlaz na temelju funkcije pripadnosti prikazane na slici 3. Postoje različite metode za transformiranje jezične varijable u brojčanu vrijednost. Najčešće korištena je tzv. metoda centra gravitacije.

Prednosti ovog algoritma su, osim smanjene osjetljivosti na neprecizne ulaze, da ne treba točan matematički model, postiže brzo približavanje točki maksimalne snage i ima minimalne oscilacije oko točke maksimalne snage. Nadalje, ovaj algoritam dobro radi prilikom skokovite promjene sunčeva zračenja, ali još nije utvrđeno kako se ponaša prilikom kontinuirane promjene sunčeva zračenja. Drugi nedostatak je što efikasnost ovog algoritma ovisi o sposobnosti projektanta.

5. Zaključak

P&O i InCond, tzv. *hill-climbing* algoritmi su najčešće korišteni algoritmi zbog svoje jednostavne implementacije, cijene i učinkovitosti, ali imaju nedostatke kao što su oscilacije oko točke maksimalne snage i loš odziv na promjene sunčeva zračenja, pogotovo one kontinuirane. Modifikacijom temeljnih P&O i InCond algoritama, omogućava se bolje praćenje točke maksimalne snage pri promjeni zračenja, te njihova dinamička učinkovitost mjerena po europskoj normi EN 50530 iznosi 99,4% [4].

FLC algoritam ima bolji odziv na skokovitu promjenu sunčeva zračenja od P&O i InCond algoritama. Nedostatci su mu, u odnosu na P&O i InCond algoritme, složenost implementacije i cijena.

6. Literatura

[1] Vulin, D. Fotonaponski materijali. Seminarski rad. Osijek: Elektrotehnički fakultet Osijek, 2013.

[2] Betti, T. Testiranje fotonaponskih modula u realnim uvjetima. Magistarski rad. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2005.

[3] Esram, T., Chapman, P. L. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques // *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no. 2, 2007.

[4] Morales, D. S. Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications. Aalto University School of Science and Technology, Espoo, 2010.

[5] Sera, D., Kerekes, T., Teodorescu, R., Blaabjerg, F. Improved MPPT Algorithms for Rapidly Changing Environmental Conditions // *Proceedings 12th International Conference on Power Electronics and Motion Control*. 2006, pp. 1614-1619

[6] Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., Vitelli, M. Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method // *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20, no. 4, 2005.

[7] Zhang, C., Zhao, D., Wang, J., Chen, G. A modified MPPT method with variable perturbation step for photovoltaic system // *Power Electronics and Motion Control Conference*. 2009, pp. 2096-2099

Aktivno rastavljanje
Active Disassembly

A. Pintarić*, G. Rozing

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

*Autor za korespodenciju. E-mail: pinta@etfos.hr

Sažetak

Rad daje pregled tehnologije aktivnog rastavljanja i materijala koji se koristite u svrhu njezinog integriranja u proizvodnju električnih i elektroničkih proizvoda. Opisani su procesi koji se bave elektroničkim i električnim otpadom te načini kako ih aktivno rastavljanje može poboljšati. Razmatraju su se glavni poticaji koji mogu povećati uporabu aktivnog rastavljanja u tvrtkama, u sektoru proizvodnje. Spomenute su i organizacije koje promiču uporabu tehnologije aktivnog rastavljanja kao i prepreke za njezinu integraciju u proizvodnji. Također je dan pregled istraživanja materijala i tehnika aktivnog rastavljanja koje su provedene u Velikoj Britaniji, Europi i ostatku svijetu te su razmotrene prednosti i izazovi korištenja aktivnog rastavljanja.

Abstract

The paper provides for a survey of active disassembly and materials utilized for its integration in electric and electronic appliances' production. Described are the processes dealing with electronic and electric waste and modalities how they could be improved through active disassembly. Discussed are major incentives that might increase a corporate active disassembly utilization in production sector. Mentioned are also organizations promoting an active disassembly technology, as well as obstacles to its integration in production. Additionally, adduced is a survey of material research and active disassembly techniques implemented in the UK, Europe, and in the rest of the world, while exploring the advantages and challenges of active disassembly utilization.

Ključne riječi: rastavljivost, recikliranje, električni i elektronički otpad, aktivna rastavljivost, pametni materijali

Key words: disassembly, recycling, waste electrical and electronic equipment, active disassembly, smart materials

1. Uvod

Osnova civilizacijske opstojnosti zasniva se na konceptu održivog razvoja i strategiji gospodarstva s kružnim tokom materijala. To implicira neminovno recikliranje odbačenih proizvoda. Tradicionalni proizvodni postupci uglavnom značajno opterećuju okoliš. Stoga se razvijaju alternativni, ekološki povoljniji pristupi proizvodnji. Tako na primjer postupci obnavljanja ili reparature vraćaju dotrajali proizvod na ponovno korištenje pri

čemu je kvaliteta bliska kvaliteti novih proizvoda. Obnavljanje je profitabilna djelatnost kod velikih, složenih mehaničkih i elektromehaničkih proizvoda, ali je slabo isplativa kod tradicionalnih postupaka izrade, kao i proizvoda malih dimenzija, a osobito onih koji se intenzivno razvijaju. Najznačajniji predstavnik potonje skupine su elektronički i električni uređaji (u daljnjem tekstu: EE-uređaji). [1]

EE-uređaji su izrađeni od materijala koji nisu biorazgradivi, što znači da će proteći puno vremena dok se raspadnu u okolišu. Situacija je vrlo ozbiljnija jer već sada nedostaje raspoloživog prostora za odlagališta otpada, a brzi porast količine ove vrste otpada ukazuje na nužnost recikliranja i većim udjelom ponovne uporabe. Nadalje, to su proizvodi složeni od nerijetko velikog broja elektroničkih komponenti kao što su tiskane pločice, mikroprocesori, otpornici, transformatori, kondenzatori itd. (Slika 1.). Sve te komponente su spojene u cjelinu tradicionalnim načinima spajanja kao što su lemovi, uskočnici, vijci, zakovice, ljepila i dr.. Takvi su proizvodi u pravilu složeni za rastavljanje.

Slika 1. Primjeri različitih materijala i komponenata koje čine složeni elektronički proizvod

Trenutno je uobičajena praksa usitnjavanje EE-otpada, te uklanjanje teških metala. Ponekad se komponente poput tiskanih pločica (engl. *Printed Circuit Board; PCB*) koriste kao agregat u cestogradnji. [2] Danas ipak prevladavaju metode zbrinjavanja koje nisu ekološki održive jer se i dalje odlažu velike količine otpada na deponije.
Ekološki održivo korištenje EE-uređaja podrazumijeva sve veći udio recikliranih ili ponovno uporabljenih komponenti. Za uspješno recikliranje treba odvojiti različite frakcije velikog broja materijala dovoljne čistoće za dobivanje kvalitetnih reciklata.

Rastavljanje tih proizvoda može biti skupo i dugotrajno, jer ga je često potrebno obavljati ručno. Do sada nije bilo dovoljno poticaja tvrtkama za iskorištavanje EE-otpada. I danas se velika količina EE-otpada odlaže u okoliš jer ga nije ekonomično reciklirati. Stoga postaje prijeko potrebno učinkovito zbrinjavanje EE-otpada koji ne samo da imaju najveću stopu rasta, nego se najveći dio proizvodi u zemljama koje imaju ekspandirajuću proizvodnju (npr. Kina). Primjera radi, procijenjeno je da u Velikoj Britaniji oko milijun tona elektroničkog i električnog otpada (engl. *Waste Electronic and Electrical Equipment, WEEE*) iz kućanstava završi na odlagalištima. Najmanje još toliko dolazi i iz ostalih izvora otpada (tvornice, bolnice, škole i uredi). U zemljama EU, elektronički i električni otpad sudjeluje u kućanskom otpadu s otprilike 4% i taj iznos raste tri puta brže nego kod bilo koje druge vrste otpada. [2]

Kakav će biti utjecaj proizvoda na okoliš najviše ovisi o odlukama u fazi konstruiranja. Od proizvođača se zahtjeva proizvod čije će zbrinjavanje nakon dotrajavanja biti tehnički izvedivo, ekološki prihvatljivo i ekonomski isplativo. Na tržištu će biti u prednosti proizvodi čije će obvezno zbrinjavanje donositi i dobit. Proizvođač to može ostvariti primjenom strategije konstruiranja za okoliš (engl. *Design for Environmental*, DfE) koja mora implementirati i poduzetnički pristup zbrinjavanja elektroničkog otpada. Drugi, nešto manje sveobuhvatan pristup, je strategija konstruiranja za recikliranje (engl. *Design for Recycling*, DfR). Pitanje je to primjene niza smjernica za konstruktore koji poboljšavaju recikličnost (svojstvo prikladnosti recikliranju) proizvoda. [3]

Jedan od načina poboljšanja recikličnosti je aktivno rastavljanje (engl. *active disassembly, AD*) koje se temelji na olakšavanju rastavljanja proizvoda.

2. Koncept aktivne rastavljivosti

Primjena aktivne rastavljivosti omogućuje da se dotrajali proizvodi rastavljaju bez razaranja, postupcima samorastavljanja. Aktivno rastavljanje je tako konstruiran i izveden spoj kod kojega se određenim vanjskim poticajem, koji se nalazi izvan normalnih uvjeta rada proizvoda, uzrokuje rastavljanje proizvoda u njegove sastavne dijelove. Takvo rastavljanje je razvijeno kako bi se omogućilo lakše rastavljanje složenijih proizvoda na kraja njihovog životnog vijeka. [4]

Korištenje tehnologije aktivnog rastavljanja može smanjiti troškove recikliranja i time u većoj mjeri poticati recikliranje elektroničkih i električnih proizvoda. Proizvodi koji su najprikladniji za aktivno rastavljanje uključuju visoko tehnološke artikle kao što su mobilni telefoni, MP3 playeri i dr.. To su uređaji koji brzo zastarijevaju i odbacuju se u dobrom radnom stanju. [4]

Obnavljanje je postupak dorade rabljenih proizvoda pri čemu se proizvod rastavlja kako bi se uporabive komponente i sklopovi zadržali i ponovno upotrijebili, pri čemu se obnovljeni proizvod dobiva sklapanjem rabljenih i novih dijelova. Obnavljanje se razlikuje od popravka jer je obnovljeni proizvod kvalitetniji, a jamstvo mu je kao i kod novog proizvoda. Obnavljanje je korisno za okoliš jer je moguće čak 85% dotrajalog proizvoda izraditi od rabljenih komponenti, a obnavljanje zahtijeva 50-80% manje

energije. Obnavljanje zahtijeva da se dijelovi starog proizvoda ponovno koriste, zbog čega se u procesu rastavljanja ne smiju oštetiti komponente koje će se ponovno koristiti. Prerada se općenito smatra opravdanom tako dugo dok komponenta košta manje od 75% novoproizvedenog ekvivalenta. [5] Tehnologija aktivnog rastavljanja pruža mogućnost daljnje uporabe komponenti, jer omogućava njihovo odvajanje od proizvoda bez oštećenja. Na taj način aktivno rastavljanje može bitno doprinijeti smanjenu otpada, troškova proizvodnje, utrošene energije i manjeg utjecaja za okoliš.

3. Materijali korišteni u tehnologiji aktivnog rastavljanja

Postoji niz materijala prikladnih za izradu samorastavljivih spojeva, ali je najrazvijenija primjena pametnih materijala. Pametni materijali, kao što su materijali koji pamte oblik, su pogodni za ovu namjenu jer tijekom eksploatacije proizvoda zadržavaju zadani oblik, sigurno povezujući komponente zajedno. Primjenom vanjskog poticaja materijal od kojeg je spoj izveden mijenja oblik što omogućava lako rastavljanje komponenata.

3.1. Aktivno rastavljanje uporabom pametnih materijala

Ako materijal reagira na vanjske poticaja na reverzibilan i koristan način, on se još i naziva pametnim materijalom. Spojevi koje se koriste u aktivnom rastavljanju mogu biti izrađene od niza pametnih materijala, a dva najčešće korištena su slitine koje pamte oblik (engl. *Shape Memory Alloys; SMA*) i polimeri koji pamte oblik (engl. *Shape Memory Polymers; SMP*). Procesi rastavljanja u kojima se rabe ovi materijali, nazivaju se aktivno rastavljanje uporabom pametnih materijala (engl. *Active Disassembly using Smart Materials*; ADSM). [5]

Složeni proizvodi prikladni za ADSM su obično elektronička i električna oprema, koja uključuje mobilne telefone, računala i kućanske aparate. Ovi proizvodi često sadrže vrijedne komponente ili više različitih vrsta materijala. Općenito, rastavljanje proizvoda na komponente i materijale je važno radi velike gospodarske vrijednosti i/ili zbog zakonske obveze zbrinjavanja otpada.

3.2. Slitine koje pamte oblik

Slitine koje pamte (SMA) oblik mogu promijeniti oblik, ali će se vratiti u zapamćeni obliku nakon primjene aktivatora ili okidača (temperatura, mikrovalovi, tlak ili magnetsko polje). Općenito, za uporabu u aktivnom rastavljanju, temperatura je najčešći okidač jer je jeftino i pouzdano.

Promjena oblika je uzrokovana promjenom faza unutar materijala i događa se u krutom stanju. Najčešći se koriste slitine nikal-titana (tzv. "Nitinol") koja se deformira u nisko temperaturnoj martenzitnoj fazi, ali kad se zagrije na iznad 60°C prelazi u visoko temperaturnu austenitnu fazu. Promjena u strukturi kristala joj omogućava povratak u izvorni oblik. Koriste se također i bakrene slitine, na primjer, CuZnAl. One su najjeftinija vrsta pametnih materijala koja ima skromnije pamćenja oblika, dok na sobnoj temperaturi utjecaj starenja povećava prijelaznu temperaturu. Slijedom toga, on je zamijenjen s CuAlNi. Iako ga je teže i skuplje obrađivati, još uvijek je jeftiniji nego

Nitinol. Slitine od CuAlNi imaju prijelazne temperature u rasponu od 80-200°C. Neke od tih slitina, s prijelaznim temperaturama na gornjoj granici tog raspona su pogodne za primjene iznad 100°C. Obično, SMA mijenjaju oblik u temperaturnom rasponu -40 do 120°C. [6]

Korisno svojstvo materijala koji pamte oblik je njihova sposobnost mnogobrojnih ponavljanja transformacije. Slitine koje se koriste kao prekidač u čajnicima pouzdane su najmanje 10.000 ciklusa, pa do i milijun ciklusa. Međutim, zbog umora materijala broj ciklusa je ograničen, ali se takvi dijelovi mogu zamijeniti po potrebi. [5]

3.3. Polimeri koji pamte oblik

Polimeri koji pamte oblik funkcioniraju na sličan način kao i SMA. Polimer se zagrijava iznad temperature Tg (prijelazna temperatura) kada postaje elastičan i lako se deformira. U toj mu se fazi daje željeni oblik, nakon čega se hladi ispod Tg , fiksirajući ga u tom obliku. Svojstva pamćenja oblika može se aktivirati u bilo kojem trenutku grijanjem polimera iznad Tg, prilikom čega će se on vratiti u svoj izvorni oblik. Polimere koji pamte oblik aktivira najčešće temperatura (Tg je u rasponu od -30 do 260°C), ali i svjetlost, električna struja ili magnetsko polje. [7]

SMP su biokompatibilniji od mnogih SMA i to ih čini vrlo korisnim za medicinske primjene. SMP su vrlo lagani i često jeftiniji od SMA. Ograničenje značajnije primjene SMP je njihova relativno niske aktivacijska temperatura, pa nisu prikladni za primjene gdje mogu biti izloženi visokim temperaturama i slučajno se aktivirati.

3.4. Prednosti i nedostaci uporabe pametnih materijala

Prednost uporabe SMA ili SMP spojeva je što ih može aktivirati određena temperatura. To znači da se velika količina električne ili elektroničke opreme može rastaviti aktiviranjem u isto vrijeme, oslobađajući spojeve i razdvajajući komponenti. Taj princip se može koristiti na veliko i biti troškovno isplativiji prilikom recikliranja ili ponovne uporabe komponenti, nego da se za svaki artikl rastavljanje mora aktivirati pojedinačno. Konvencionalni spojevi se obično rabe jednokratno i zbrinjavaju se na kraju životnog vijeka proizvoda. Spojevi od pametnih materijala se mogu višekratno rabiti jer je mehanizam promjene oblika reverzibilan. To bi moglo pospješiti primjenu sustava aktivnog rastavljanja koji omogućava recikliranje ili ponovnu uporabu komponenti proizvoda ali i spojeva koje ih drže zajedno. [8]

Daljnja njihova prednost kod izrade spojnica za aktivno rastavljanje je da su oni već prisutni na tržištu i primjenjeni su u raznim aplikacijama kao što su toplinski prekidači u čajnicima, izvršni elementi, fleksibilni okviri naočala i medicinski uređaji. Stoga, je njihova funkcionalnost prilično dobro poznata.

Međutim, glavni nedostatak korištenja pametnih materijala u električnoj i elektronskoj opremi je ta da su skupi u odnosu na konvencionalne spojeve. Razlika u cijeni je jedan od glavnih razloga zašto tehnologija aktivnog rastavljanja teško postaje ekonomski održiva i šire primjenjiva.

Tvrtka Active Disassembly Reseach je provela opsežna istraživanja smanjenja troškova spojeva za uporabu u aktivnom rastavljanju. Njihov prijedlog je da se uzme konvencionalni pametni materijal i iznađe način snižavanja troškova proizvodnje smanjenjem njegove "pameti". Smanjenje "pameti" materijala znači primjena šireg temperaturnog raspona aktivacije, pri čemu će ovi spojevi i dalje dobro funkcionirati unutar granica onoga što se od njih zahtijeva. [1]

Financijski povoljnija varijanta je upotreba običnih polimeri kao što su polietilen tereftalat (PET), akrilonitril-butadien stiren (ABS) i polikarbonat (PC) za aktivno rastavljanje, jer su oni općenito jeftiniji i nije ih potrebno odvajati pri recikliranju. [4] Korištenje sintetskih polimera bi također proširilo definiciju onoga što je svrstava kao pametni materijal. Pogodnost je i što su sintetski polimeri dobro poznati i već se koriste u različitim tehničkim primjenama.

Još jedan alternativni pristup uporabi pametnih materijala jest primjena jednokratno uporabivih materijala u aktivnom rastavljanju. Na primjer, to bi moglo uključivati toplinski aktivirana pametna ljepila i sprejeve, ili biorazgradive materijale koji će se otopiti u prisutnosti određene tekućine tijekom rastavljanja. Primjena biorazgradivog materijala kao podloge za elektroničke komponente njihovim otapanjem dolazi do odvajanjem tih komponenti iz sklopa. Očito, nakon aktivacije ili otapanja, materijal ne bi više imao istu funkciju i trebao bi biti ponovno uporabljen, recikliran ili zbrinut. [7]

3.5. Okidači za aktivno rastavljanje

Općenito, zahtjevi na okidače aktivnog rastavljanja od pametnih materijala su:

(a) ostvarivanje brze promjene oblika spojnice,
(b) otpuštanje nekoliko spojnica istovremeno, i
(c) onemogućavanje neželjeno aktiviranje tijekom trajanja proizvoda.

Ispravan okidač je ključan za uspjeh aktivnog spajanja. (7)

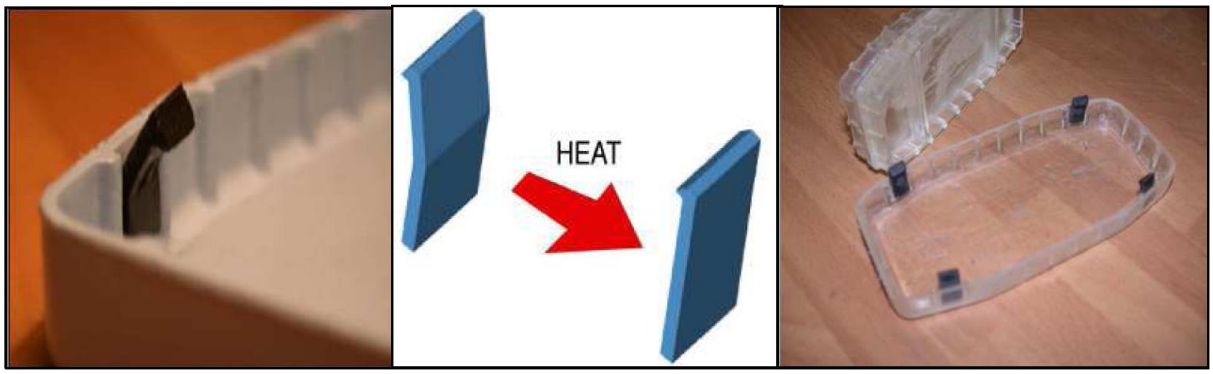
Okidač zavisi o vrsti materijala koji se koriste za spoj, konstrukciji i izvedbi proizvoda. Temperatura je najčešći aktivator promjene oblika koji se koristi u ADSM jer se relativno jeftino može promijeniti temperatura. Ako se primjeni u zatvorenoj komori, djelovat će na cijeli proizvod ili seriju proizvoda u isto vrijeme. Također, mnogi od materijala koji mijenjaju oblik i koriste se za izradu spojeva, imaju određene aktivacijske temperature čime se funkcionalnost spojeva lakše kontrolira. U slučajevima gdje bi visoke temperature mogle oštetiti potencijalno ponovno uporabljive komponente koriste se drugi okidači, kao što su: kemijski (vlaga, enzimi ili reagensi), elektromagnetski (mikrovalovi ili UV-svjetlo), mehanički (vibracija ili zvučni valovi), električna struja, magnetsko polje, sila, ubrzanje i tlak. (7)

Kombinacija tih aktivatora omogućava rastavljanje "korak-po-korak" kod složenijih proizvoda koji sadrže više komponenti pogodnih za recikliranje. Svakim korakom pojedina komponenta bi se odvojila i odstranila iz sustava. To bi smanjilo vjerojatnost onečišćenja i posljedičnog smanjenja kvalitete recikliranog materijala. Osim toga, u

slučaju da je potrebna kombinacija okidača u svrhu aktiviranja otpuštanja spojeva, smanjio bi se rizik od slučajnog okidanja tijekom životnog vijeka proizvoda.

4. Istraživanje i razvoj aktivne rastavljivosti

Istraživanja o aktivnom rastavljanju započela su u Velikoj Britaniji na Sveučilištu Brunel, koje je ispitivalo uporabu SMA u svrhu uklanjanja čipova s tiskanih pločica radi ponovne uporabe. U istraživanju su korištene SMA u obliku spiralnih zavojnica koje su istisnule čipove s tiskane pločice. Međutim, recikliranje čipova se nije smatralo komercijalno atraktivnim pa se istraživanje ograničilo na razdvajanje otrovnih materijala i polimera iz EE-otpada. [7] Nakon razvoja SMP u Japanu, konzorcij europskih organizacija pokušava od 2000. do 2003. godine razviti nekoliko varijanti spojnica za aktivno rastavljanje kroz Fifth Framework Program (FP5) koji je bio financiran od strane EU. Tu je suradnju koordinirao Odjel za konstruiranje na Sveučilištu Brunela u projektu su sudjelovale tvrtke Nokia, Motorola, Sony, Fundacion Gaiker, Indumental Recyclings i Universität Stuttgart. Ciljevi istraživanja bili su prikazati primjenljivost ADSM za uporabu na elektroničkoj i električnoj opremi. To je učinjeno preinakama postojećih proizvoda tako da koriste SMA i SMP spojnice i odgovarajuće otpusne mehanizama te prikazivanjem rastavljanja tih proizvoda u različitim pilot postrojenjima za aktivno rastavljanje. Rezultati ovog programa su nekoliko prototipova spojnica, neki od kojih su navojni čep, stisnuta matica i spojna konzola (Slika 2.), svi napravljeni od materijala koji pamte oblik. [8]



Slika 2. Spojna konzola razvijena kroz Fifth Framework Program. Nakon zagrijavanja spojnice će se izravnati i osloboditi gornji poklopac kućišta.

Kroz istraživački program, razvijeno je prototipno pilot postrojenje u kojem se rastavljanje aktivira pomoću vrućeg zraka, zajedno s još tri pilot postrojenja kod kojih se rastavljanje temelji na vrućoj tekućini, indukciji i mikrovalovima. Pilot postrojenja se sastoje od velikog bubnja u koji su bili smješteni proizvodi s aktivno rastavljivim spojevima (Slika 3.). Proizvodi su zatim zagrijavani što je aktiviralo otpuštanje spojnica, a rotacija bubnja je odvajala različite komponente. Pilot postrojenje s vrućom tekućinom se pokazalo kao najuspješnije: trebalo mu je oko 1 minutu na 117°C ili 14 sekundi na 165°C za rastavljanje sklopa sa spojnom konzolom. Projekt Fifth Framework Program je potaknuo i mogućnosti korištenja drugih materijala, kao što su sintetski polimera, slitine

s niskim talištem (engl *Low Melting Point Alloys; LMPA*) i ljepila kao alternativno rješenje za pričvršćivanje kod aktivnog rastavljanja. [9]

Slika 3. Pilot postrojenje za aktivno rastavljanje

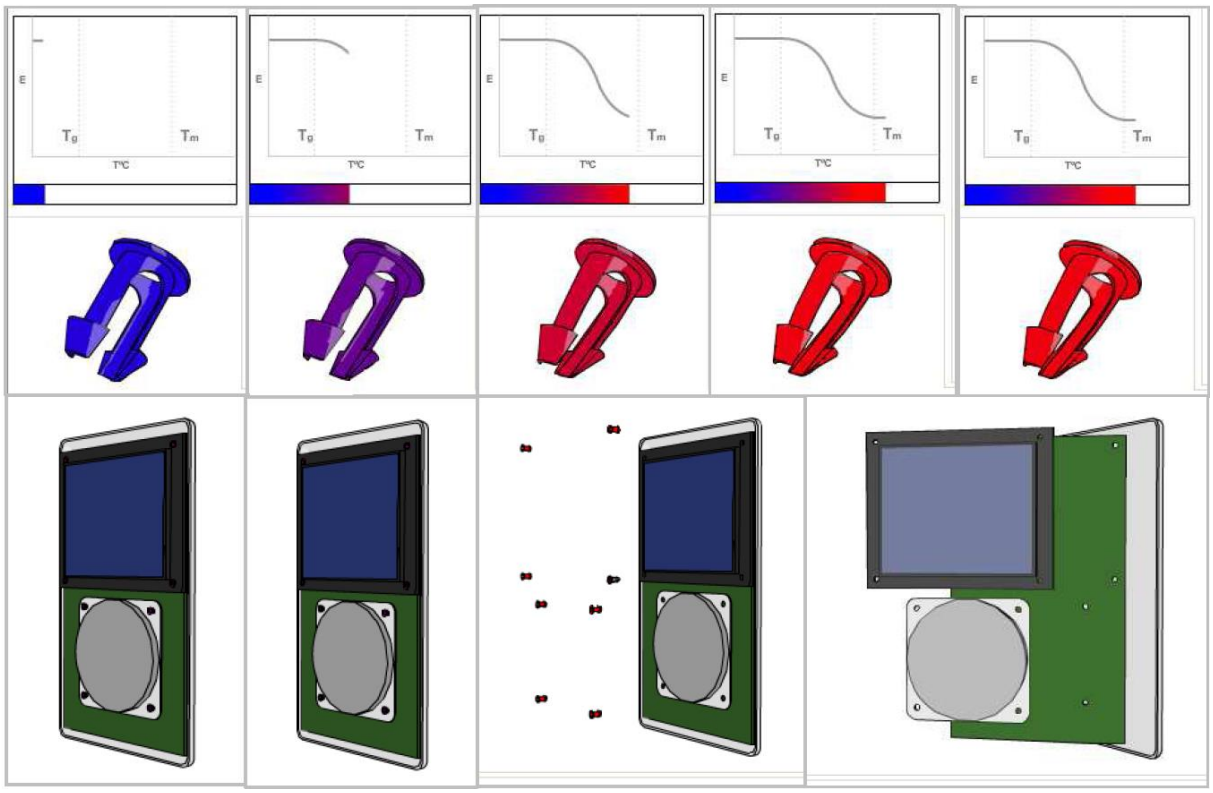
Nakon završetka FP5 programa, u Velikoj Britaniji i Europi nije bilo značajnih istraživanja koncepata aktivnog rastavljanja. Međutim, došlo je do nekih istraživanja o mogućnostima uporabe drugih materijala za aktivno rastavljanje, kao na primjer rad na sintetskim polimerima za aktivno rastavljanje, kao i istraživanje od strane tvrtke Disassembly Research o jeftinijim SMA, SMP i jednokratnu uporabivim materijalima. [6]

5. Raspoložive tehnologije aktivnog rastavljanja

Aktivno rastavljanje je proces koji se odvija na kraju životnog vijeka proizvoda sa ciljem povećanja isplativosti recikliranja. Kao koncept, aktivno rastavljanje se u istraživačkim krugovima pojavilo prije petnaest godina, ali unatoč velikom interesu, još uvijek nije značajnije primijenjeno u EE-uređajima. Tvrtke kao što je Active Disassembly Research su razvile široki asortiman spojnica primjenljivih u aktivnom rastavljanju, koje će moći pružiti rješenja tvrtkama zainteresiranim za uključivanjem aktivnog rastavljanja u svoje proizvodne sustave. Jedno moguće rješenje (Slika 4.) koristi SMP uskočnik. Kao što dijagram prikazuje, kako se temperatura povećava s vremenom, uskočnik mijenja svoj oblik sve dok lagano ne isklizne iz rupe, omogućavajući razdvajanje komponenata električnog proizvoda te njihovo recikliranje ili ponovnu uporabu komponenti.

Glavne prepreke u značajnijoj primjeni aktivnog rastavljanja su povećani troškovi i bojazan proizvođača i korisnika kako bi aktivne spojnice mogle uzrokovati rastavljanje proizvoda u neželjenim situacijama. Budući da je temperatura često okidač za ove spojnice, proizvođači i korisnici mogu zamisliti situacije u kojima bi neki elektrotehnički proizvodi, kao što su mobiteli, mogli doseći visoke temperature, na primjer, ako budu ostavljeni na nadzornoj ploči automobila tijekom vrućeg dana. Ove sumnje su uglavnom

neutemeljene jer aktivacijska temperatura može biti projektirana tako da bude iznad bilo koje temperatura kojoj bi proizvod mogao biti izložen tijekom njegovog životnog vijeka.



Slika 4. Kako bi aktivno rastavljanje moglo fukcionirati uporabom SMP uskočnika (4)

Sve više tvrtki počinje uviđati komercijalne pogodnosti proizvodnje ekološki prihvatljivijih elektroničkih uređaja i to vješto koriste kao prednost pri promociji i prodaji svojih proizvoda. Jedna od tih tvrtki je Apple koji je ugradio nekoliko ekoloških rješenja u svoj model MacBook koji sadrži reciklični aluminijski pokrov, manje ožičenja i smanjenje količine opasnih tvari. Iako one još uvijek ne uključuju tehnologiju aktivnog rastavljanja, kako ekološka svijesti potrošača raste, većina tvrtki bi mogla uključiti ekološki povoljnija rješenja u u svoje proizvode. [10]

Kako bi se potaknula masovnija primjena spojeva za aktivno rastavljanje u proizvodnji EE-uređaja potrebno je osigurati poticaje. Oni mogu biti zakonski propisani pod utjecajem političkih "zelenih" programa, zahtjeve potrošača kao posljedicu povećanja svijesti javnosti o zaštiti okoliša, te financijske razloge.

WEEE smjernice je donio Europski parlament u siječnju 2004. WEEE smjernice svaka država članica provodi na svoj način, ali općenito, zahtijeva se od svih proizvođača da preuzmu financijsku odgovornost za troškove recikliranja ili odlaganja WEEE na kraju njihovog životnog vijeka. Ciljevi WEEE direktive su smanjenje količine električnog otpad koji završava na odlagalištima, kao i smanjenje utjecaja na okoliš tvrtki koje koriste elektroničke i električne uređaje. Cilj donošenja smjernice bio je primorati tvrtke na recikliranje ili ponovnu uporabu vlastitog otpada, čime bi se poticala uporaba tehnologije

kao što je aktivno rastavljanje. Međutim, većina proizvođača elektroničkih i električnih uređaja udovoljavaju smjernicama samo financiranjem troškove recikliranja EE-otpada, a poslove prikupljanja, rastavljanja i recikliranja preuzimaju druge specijalizirane organizacije. Stoga se ne moraju izravno baviti recikliranjem ili ponovnom uporabom svog EE-otpada. Prema tome, kako te tvrtke nisu zakonski obavezane baviti se svojim vlastitim otpadom, manje je vjerojatno da će vidjeti prednosti uključivanja spojeva, koje se mogu rabiti u tehnologiji aktivnog rastavljanja, u svoje proizvode.

Mogući poticaj za omasovljenje uporabe tehnologije aktivnog rastavljanja može doći kroz povećanje ekološke osviještenosti potrošača. Problemu okoliša se posvećuje velika pažnja u medijima i potrošači se sve više bave utjecajem na okoliš. Povećana osviještenost može dovesti do veće želje potrošača da znaju od kuda potječu materijali za njihove EE-uređaje i kako se oni zbrinjavaju, prije nego što ih kupe. To bi moglo prisiliti proizvođače preuzimanju odgovornost za recikliranje vlastitog otpada kako bi zadržali ili privukli kupce.

Nažalost, za tvrtke koje se bave masovnom proizvodnjom električnih i elektroničkih proizvoda, početni troškovi za izmjenu njihove konstrukcije i sustava sastavljanja s ciljem implementacije pametnih spojeva za aktivno rastavljanje će vrlo vjerojatno biti previsoki u odnosu na relativno jeftin proizvod koji se proizvodi. Na trenutnom tržištu, aktivno rastavljanje i drugih ekološki prihvatljivi pristupi nisu, sami po sebi, dovoljno jaki marketinški argumenti da bi izravno doveli do povećanja prodaje potrebne za pokrivanje početnih troškova. Dakle, vjerojatnije je da će tehnologiju prihvatiti manje tvrtke čiji proizvod se izrađuje po narudžbi i prema tome je skuplji, ali koje mogu učiniti promjene potrebne za zadovoljavanje sustava konstruiranja i sastavljanja.

6. Zaključak

Dakle, vrlo je vjerojatno da će konstruktori električne i elektroničke opreme obraćati sve više pozornosti obradi svojih proizvoda na kraju njihovog životnog vijeka te će tehnologija, kao što je aktivno rastavljanje, postati sastavni dio budućih postrojenja za recikliranje i ponovnu uporabu.

Uvođenje spojeva za aktivno rastavljanje u proizvode također može biti korisno u fazi sastavljanja proizvoda, budući da bi proizvod koji je konstruiran na način da bude brže i učinkovitije rastavljen, moglo biti lakše i učinkovitije sastaviti, posljedično smanjujući troškove sastavljanja.

Daljnja istraživanja i razvoj će unaprijediti materijale i tehnologiju, odnosno posljedično pomoći pri prevladavanju prepreka u vidu troškova i pouzdanosti proizvoda. Napredak u istraživanju materijala bi trebao dovesti do proizvodnje jeftinijih i učinkovitijih pametnih materijala s naglaskom na proizvodnju specijalnih materijala za specifične spojeve. Intencija je na kraju dovesti do stvaranja zatvorenih proizvodnih sustava u kojima se cijeli proces od početne proizvodnje do rastavljanja, ponovne uporabe i recikliranja provodi u istoj zemlji.

Uz neizbježno povećanje navedenih poticaja, vrlo je vjerojatno da će u budućnosti, aktivno rastavljanje postati dio procesa recikliranja i ponovne uporabe, ako i kada svi drugi čimbenici (regulatorni, zaštita okoliša, ekonomski i tehnološki) postanu spremni za provođenje iste.

7. Literatura

[1] http://www.activedisassembly.com/

[2] Jef R. Peeters1, Paul Vanegas1,2, Wim Dewulf 1,3, Joost R. Duflou1, Active Disassembly for the End-of-Life Treatment of Flat Screen Televisions: Challenges and Opportunities (https://lirias.kuleuven.be/handle/123456789/343377 - posjećeno 30.06.2013.)

[3] A.J.D. Lambert, Surenda M. Gupta, Disassembly Modeling for Assembly, Maintenance, Reuse and Recycling , CRS Press, 2005.

[4] J.D.Chiodo: Design principles for active disassembly - inital findings, Active Disassembly Research (http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1-4020-4617-0_6#page-1 - posjećeno 22.06.2013.)

[5] Zhifeng Liu, Xinyu Li, Huanbo Cheng and Yifei Zha, Research on Multi-Step Active Disassembly Method of Products Based on ADSM http://cdn.intechopen.com/pdfs/37115/InTech-Research_on_multi_step_active-disassembly_method_of_products_based_on_adsm.pdf (posjećeno 10.07.2013.)

[6] J.D.Chiodo, D.J.Harrison, E.H.Billett: An initial investigation into active disassembly using shape memory polymers, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture Vol. 215, No. 733, 2001. (http://pib.sagepub.com/content/215/5/733.short (posjećeno 01.07.2013.)

[7] Joseph David Chiodo, Casper Boks: A feasibility study on active disassembly using smart materials - a comparison with conventional End-of-Life strategies (http://link.springer.com/article/10.1023%2FB%3AJSPD.0000016422.01386.7c#page-1 - posjećeno 22.06.2013.)

[8] J.D.Chiodo, N.Jones, E.H.Billett and D.J.Harrison: Shape memory alloy actuators for active disassembly using 'smart' materials of consumer electronic products, Materials and Design 23, 2002, 471-478

[9] W.L.Ijomah, J.D.Chiodo: Application of active disassembly to extend profitable remanufacturing in small electrical and electronic products, International Journal of Sustainable Engineering 3(2010)4, 246–257

[10] M. Vešić, Aktivna rastavljivost, seminarski rad, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2011.

[11] http://www.bis.gov.uk/policies/business-sectors/environmental-and-product-regulations/environmental-regulations/end-of-life-vehicles (posjećeno 05.07.2013.)

Koncept kontinuiranog monitoringa strateških i zonski mjerača protoka centralnog vodovodnog sistema
The concept of continuous monitoriga strategic and zonal flow meter central water supply system

Em. Trožić[1,*], En.Trožić[2], Ed. Smajić[3]

[1]Vodovod Sanski Most, BiH
[2]O.škola Vrhpolje, sanski Most, BiH
[3]Općina Hadžići, BiH

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak
Standarna detekcija kvarova na vodovodnoj mreži, koja se bazira na periodičnim očitanjima vodomjera i mjerača protoka i sistematskim i usmjerenim istraživanjem obilascima trase i objekata sa aparatima za iznalaženje kvarova, ne obezbjeđuje blagovremeno uočavanje kvarova. Dokazivanje, da; Koncept sistematskog monitoringa je utemeljen na planskoj, periodičnoj uporedbi razlika očitanja u bar dva različita vremena, strateškog ili zonskog mjerača, sa razlikama istih vremenskih očitanja svih potrošača određene zone mjerenja, utvrđuje se da je samo uspostavom naprednog koncepta monitoringa moguće doprinijeti blagovremenim uočavanju, intervenciji i smanjenju gubitka u vodovodnoj mreži. Upoređujući sumarne razlike očitanja kod potrošača sa razlikom očitanja zonskog mjerača konstatuje se veće ili manje odstupanje. Ova odstupanja mogu biti uzrokovana tromošću mehaničkih vodomjera potrošača ili greške u očitavanju ili zapisivanju. Veća odstupanja su indikator kvara na mreži, nakon čega se mora izvršiti pregled mreže. Koncept trenutnog protoka je utemeljen na utvrđivanju prosječnih proticaja zonskog mjerača, nakon čega se kontinuirano prati proticaj, sa tolerantnim odstupanjem do ranije zabilježenih maksimalnih proticaja. U zaključku kada je trenutno zabilježeni proticaj kroz zonski mjerač iznad ranije zabilježenih maksimalnih proticaja, promjena se bilježi kao indikator kvara na mreži nakon čega se trenutno aktiviraju GSM poruke prema dispečeru.

Ključne riječi: Monitoring, zona mjerenja, mjerač protoka, odstupanje, kvar

Abstract
Default detection of failures in water supply network, which is based on periodic readings of water meters and flow meters and systematic and focused study tours routes and facilities with appliances for finding faults, does not provide for timely detection of failures.

Proving that; monitoring systematic concept is based on the planning, periodic readings compared differences in at least two different times, strategic or zonal meters, with differences the same time reading all of a certain zone measurements determined that only the establishment of an advanced concept of monitoring can contribute to timely observation, intervention and reduction of losses in water mains. Comparing the summary difference readings of consumers with the difference between the zonal meter readings reads more or less deviation. These discrepancies may be caused by inertia mechanical gauge consumer or errors in reading or writing. Larger deviations are an indicator of failure in the network, and then you must inspect the network. The concept of current flow is based on the determination of the average zonal flow meter, after which continuously monitors the flow, with tolerable deviation to the previously recorded maximum flow. In conclusion, when the currently observed zonal flow through the meter above the previously recorded maximum flow, the change is recorded as an indication of failure on the network after which the currently activated GSM message to the dispatcher.

Keywords: Monitoring, measurements zone, flow meter, deviation, defect

1. Uvod

Objekati vodosnabdjevanja se umrežavaju sa dispečerskim centrom putem GSM/GPRS javne mreže. Sistem daljinskog nadzora i upravljanje sastoji se od centralne stanice smještene u dispečerskom centru i perifernih stanica u objektima kojima se upravlja. Centralna stanica ima funkciju prikupljanje podataka iz upravljanih objekata, obrada podataka, objavljivanje podataka, te slanje komandi na temelju prikupljenih podataka. Periferna stanica ima funkciju da prihvaća standardne električne signale iz nadziranog postrojenja i da ih nakon pretvaranja u prikladan oblik pouzdano prosljeđuje u dispečerski centar, te prihvaća komande iz dispečerskog centra i prosljeđuje ih nakon električne pretvorbe do lokalne automatike nadziranog postrojenja koja ih izvršava. Prema sistemskim programima vrši se ciklično prozivanje perifernih stanica, koje šalju iz pojedinih objekata u dispečerski centar informacije mjerenja i sigurnosti. Na osnovu ovako prikupljenih podaka iz pojedinih objekata, te nakon obrade i objave istih, vrši se upravljanje tim objektima. Između operatora sistema ostvaruje se komunikacija putem PC računara, tastature i 2 štampača. Na osnovu ovakvih postavki, kompletan vodovodni sistem radit će potpuno automatski bez ikakve intervencije dežurnog dispečera, s tim da je moguće da dispečer putem tastature može vršiti upravljanje tj. prelaz na ručno vođenje. Prikaz cijelog vodovodnog sistema, te prikaz svakog pojedinog objekta u sistemu, sa prikazima svih mjerenja i signalizacije u sistemu bit će vidljiv na monitoru. Podaci se unose manuelno preko tastature u sistem daljinskog nadzora i upravljanja, kao i biranje video prikaza. Pomoću štampača se vrši trajni zapis svih stanja, kao i promjena stanja u sistemu. Sistem je opremljen sa dva pisača i to na jednom se ispisuje promjena u sistemu i alarmi a na drugom se ispisuju izvještaji i vremenski dijagrami mjernih veličina.

2. Tačke kontinuiranog mjerenja

S obzirom na cjelovitost monitoringa koji treba da nadzire sve bitne objekte i čvorišta sistema u sklopu telemetrijskog nadzora se obuhvaćaju:

A) Jedinice centralnog vodovodnog sistema, sa ranije ugrađenom opremom za separatni monitoring;

B) Periferne jedinice centralnog vodovodnog sistema, koje ranije nisu bile obuhvaćene monitoringom, jer su posjedovale samo uklopno isklopnu elektroniku sa sondama davača signala nivoa vode;

C) Terenske jedinice lokalnih vodovodnih sistema, koji nisu sistemima cjevovoda uvezani u centralni vodovodni sistem. Ove terenske jedinice u sklopu pumpnih stanica posjeduju samo uklopno isklopnu elektroniku sa sondama davača signala nivoa vode.

Jedinice centralnog vodovodnog sistema, sa ranije ugrađenom opremom za separatni monitoring čine vitalni objekti koji se već nadziru u sklopu nadzora objekta za tretman vode za piće. Ovdje su prvenstveno: A.1. Objekat za tretman vode za piće «Zdena», A.2. Centralni rezervoar 2.500 m³ «Zdena», A.3. Kaptažni objekat, kao i A.4. Strateški mjerači protoka (4. komada) i A.5. Zonski mjerači protoka (12. komada za 8 zona).

Na slici 1. prikazane su pozicije zona mjerenja elektromagnetnim mjeračima na centralnom vodovodnom sistemu.

Slika 1. Vodovod Sanski Most, Trenutno stanje zona mjerenja i mjerača

Tablica 1. Monitoringom u sklopu telemetrijskog nadzora objekata vodosnabdjevanja kojim bi bili obuhvaćeni:

A) Jedinice centralnog vodovodnog sistema, sa ranije ugrađenom opremom za separatni monitoring:	B) Periferne jedinice centralnog vodovodnog sistema, koje ranije nisu bile obuhvaćene monitoringom, jer su posjedovale samo uklopno isklopnu elektroniku sa sondama davača signala nivoa vode:	C) Terenske jedinice lokalnih vodovodnih sistema, koji nisu sistemima cjevovoda uvezani u centralni vodovodni sistem. Ove terenske jedinice u sklopu pumpnih stanica posjeduju samo uklopno isklopnu elektroniku sa sondama davača signala nivoa vode:
A.1. Objekat za tretman vode za piće «Zdena»,	B.1. Buster stanica Hrast-Magarice,	C.1. Pumpna stanica Lušci Palanka,
A.2. Centralni rezervoar 2.500 m³ «Zdena»,	B.2. Pumpna stanica Delića brdo,	C.2. Rezervoar Lušci Palanka,
A.3. Kaptažni objekat,	B.3. Rezervoar Delića brdo,	C.3. Pumpna stanica Kamengrad
A.4.L. Strateški mjerači protoka (4.): «L»,	B.4. Pumpna stanica Vrhpolje,	C.4. Rezervoar Kamengrad
A.4.M. Strateški mjerači protoka (4.): «M»,	B.5. Rezervoar Vrhpolje,	C.5. Pumpna stanica Hrustovo
A.4.N. Strateški mjerači protoka (4.): «N»	B.6. Buster stanica Bojančić,	C.6. Rezervoar Hrustovo
A.4.R. Strateški mjerači protoka (4.): «R»,	B.7. Pumpna stanica Bardikovci,	C.7. Pumpna stanica Fajtovci
A.5. Zonski mjerači protoka (12. komada za 8 zona): «A1», «A2», «B», «C», «E», «D», «G», «F», «H», «I», «J» i «K» za zone: «DMA-1», «DMA-2», «DMA-3», «DMA-4», «DMA-5», «DMA-6», «DMA-7» i «DMA-8».	B.8. Rezervoar Bardikovci,	C.8. Rezervoar Fajtovci
	B.9. Pumpna stanica Demiševci,	C.9. Kaptaža i komore sa pješčanim filterima gravitacionog vodovoda Stari Majdan (do sad bez bilo kakve elektronike).
	B.10. Rezervoar Demiševci,	
	B.11. Buster stanica Kamengrad	
	B.12. Buster stanica Sasina	

3. Koncept sistemskog monitoringa

3.1. Analitičko empirijsko modeliranje rezultata mjerenja

Koncept sistematskog monitoringa je utemeljen na planskoj, periodičnoj uporedbi razlika očitanja u bar dva različita vremena, strateškog ili zonskog mjerača, sa razlikama istih vremenskih očitanja svih potrošača određene zone mjerenja. Upoređujući sumarne razlike očitanja kod potrošača ($Q_{ZnIM2-1}$) sa razlikom očitanja zonskog mjerača ($Q_{ZnEM2-1}$) konstatuje se veće ili manje odstupanje ($\Delta Q_{ZnEM2-1}$). Ova odstupanja mogu biti uzrokovana tromošću mehaničkih vodomjera potrošača ili greške u očitavanju ili zapisivanju. Veća odstupanja su indikator kvara na mreži, nakon čega se mora izvršiti pregled mreže.

Ako za ovakav sistematski monitoring uspostavimo jednačinu

$$(Q_{znEM2} - Q_{znEM1}) - (Q_{znIM2} - Q_{ZnIM1}) = \Delta Q_{ZnEM2-1} \quad (1)$$

$$Q_{ZnEM2-1} - Q_{ZnIM2-1} = \Delta Q_{ZnEM2-1} \quad (2)$$

Gdje je na (Zn) n-toj zoni monitoringa i očitavanju (EM) elektromagnetnih mjerača protoka i (IM) individualnih mjerača;

Q_{ZnEM1} – predhodno očitanje zonskog mjerača.....(3)

Q_{znEM2} - naredno očitanje zonskog mjerača.....(4)

Q_{ZnIM1} – sumarna prethodna očitanja kod potrošača.....(5)

Q_{znIM2} – sumarna naredna očitanja kod potrošača.....(6)

$Q_{ZnEM2-1}$ – razlika očitanja zonskog mjerača.....(7)

$Q_{ZnIM2-1}$ - sumarne razlike očitanja kod potrošača.....(8)

$\Delta Q_{ZnEM2-1}$ –odstupanje sumarnih razlika očitanja zonskog mjerača i sumarne razlike očitanja kod potrošača.....(9)

Koncept trenutnog protoka je utemeljen na utvrđivanju prosječnih proticaja zonskog mjerača, nakon čega se kontinuirano prati proticaj (Q_{znEMt}), sa tolerantnim odstupanjem do ranije zabilježenih maksimalnih proticaja ($Q_{ZnEMmax}$). Ukoliko je trenutno zabilježi proticaj zonskog mjerača iznad ranije zabilježenih maksimalnih proticaja, promjena se bilježi kao indikator kvara na mreži nakon čega se trenutno aktiviraju GSM poruke prema dispečeru.

Ako za ovakav monitoring trenutnog protoka uspostavimo jednačinu

$Q_{znEMmax} - Q_{znEMt} = \Delta Q_{ZnEMmax-t}$.....(10)

Tada ako $\Delta Q_{ZnEMmax-t}$ ima vrijednosti iznad 0 stanje se bilježi kao indikator kvara na mreži.

$\Delta Q_{ZnEMmax-t} > 0$ = kvara na mreži.....(11)

Gdje je na (Zn) n-toj zoni monitoringa i očitavanju (EM) elektromagnetnih mjerača protoka

Q_{znEMt} – trenutni proticaj.....(12)

$Q_{znEMmax}$ – maksimalni proticaj.....(13)

$\Delta Q_{ZnEMmax-t}$ – razlika maksimalnog i trenutnog proticaja.....(14)

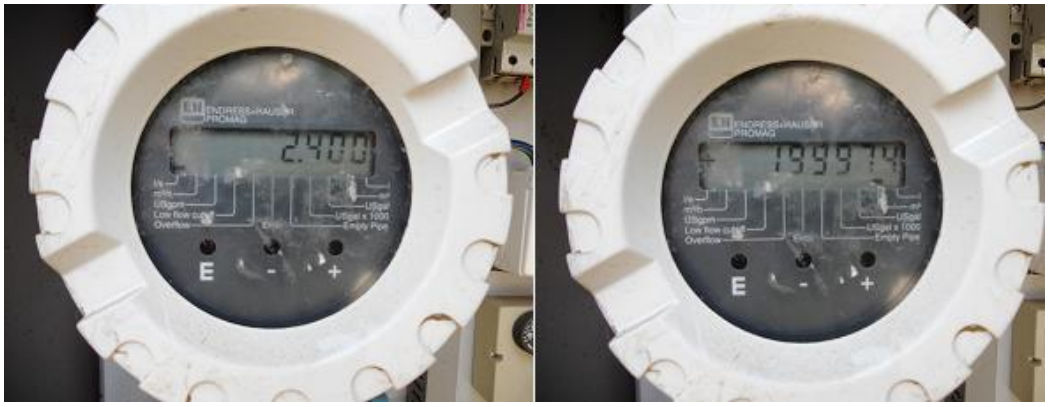
Kod rasprave o primijenjivosti ovog pristupa neophodno je posebnu pažnju posvetiti na (13) ...$Q_{znEMmax}$ – maksimalni proticaj, čije varijacije mogu biti izuzetno važne kao „prag“ preko kojeg automatika reagira prema operatoru koji mora doći, na lice mjesta, do PC operatora i izvršiti brzu analizu uzroka dojave alarma. Moguće je da (13) bude ranije neobjektivno utvrđen, što bi se utvrđivalo tek nakon naknadne analize na PC operatoru.

4. Manuelni prikaz parametara mjerenja elektromagnetnog mjerača protoka

Prema proizvođačkim karakteristika Elektromagnetni mjerač protoka, koji je ugrađen u ovaj vodovodni sistem je Prolina Promag - 50W, 53W – Endress+Hauser, (Proline Promag 53, Electromagnetic Flow Measuring System), koji funkcioniše tako što se medij kreće kroz tijelo mjerača. Upotrebljeni inducirani napon je proporcionalan brzini protoka i dolazi do pojačala pomoću dvije mjerne elektrode. Izračunavnje protočnog volumena je pomoću presjeka cijevi na mjestu mjerenja. DC magnetsko polje se stvara kroz prolaz istosmjerne struje izmjeničnog polariteta. Inače, Elektromagnetski mjerač protoka namijenjen je za dvosmjerno mjerenje tekućine s najmanje vodljivost ≥ 5 µS / cm: pitke vode, otpadnih voda, kanalizacijskog mulja. Mjerenje protoka je do 110000 m³ / h, (484.315 gal / min), temperatura medija do +80 ° C (176 ° 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, Brief operating instructions, Kratke upute za upotrebu.

Kod manuelnog prozivanja rezultata izmjerenih parametara na jednom te istom displeju se u jednakim vremenskim intervalima pojavljuju znamenke više različitih parametara mjerenja istog elektromagnetnog mjerača protoka.

Na slici 2. predstavlja na izdvojenim slikama isti displej sa dva različita prikaza podatka koji se mogu očitavati.



Slika 2. Višecifarsko prikazivanje parametara mjerenja na istom displeju

Kod elektromagnetnih mjerača koji su ugrađeni u objektu za tretman vode za piće i to na liniji sirove vode i na liniji tretirane vode za piće, kontrolni displej je ovješen na žbuk neposredno iznad cjevovoda kroz koji se vrši mjerenje. Signal svakog mjerača je, također, umrežen u centralni nadzorni PC u dispečerskoj stanici.

Na slici 3 dvoredni ispis parametara mjerenja na elektromagnetnom mjeraču protoka

Slika 3. *Dvoredi ispis parametara mjerenja*

Na tijelu displeja sa dvorednim ispisom, ispod displeja postoje tri tastera za manuelno unošenje parametara o fluidu i materijalu cjevovoda, kao i mogućnost manuelnog prozivanja tih i parametara mjerenja.

Kod terenskih elektromagnetnih mjerača protoka, u nadzemnoj kontrolnoj ormarici postoji mogućnost preuzimanja podataka mjerenja pomoću kartičnog zapisa. Ovako preuzeti kartični zapis se manuelno prenosio do PC operatora gdje se podaci preuzimaju i

obrađuju. S obzirom na napredak informativnih tehnologija ovaj vid preuzimanja podataka je spor i može, možda, povremeno služiti samo kao određena kontrola?

Na slici 4. prikazana je unutrašnji izgled kontrolne ormarice sa prenosivom karticom za preuzimanje digitalizovanog signala.

Slika 4. Kontrolna nadzemna ormarica sa prenosnom karticom za preuzimanje digitalizovanog signala mjerenja

5. Zaključak

Prema zahtjevima koji proizilaze razvojem informativnih tehnologija nadzor vodovodnog sistema obilaskom lica mjesta, manuelnim preuzimanjem i prenašanjem parametara mjerenja, ja izuzetno neekspeditivan. Trenutni razvoj GSM/GPRS javne mreže omogućuje trenutačno nadziranje svih objekata i glavnih čvorišta vodovodnog sistema. Pored nadziranja neophodno je razviti koncept obrade preuzetih podataka tako da sistem automatski izvodi uporedbu preuzetih podataka sa ranijim stanjima i zavisno od veličine razlike u zabilježenim vrijednostima automatski šalje adekvatna upozorenja prema operatoru. Kroz ovaj rad se dalo jedno jednostavno usmjerenje prema izradi zahtjevanog softverskog alata koji bi bilo neophodno doraditi prema konkretnom zahtjevi jedinica koje se nadziru.

Iz gore izloženog je jasno da koncept sistematskog monitoriga mora biti utemeljen na planskoj, periodičnoj uporedbi razlika očitanja u bar dva različita vremena, strateškog ili zonskog mjerača, sa razlikama istih vremenskih očitanja svih potrošača određene zone mjerenja. Utvrđeno je da je samo uspostavom naprednog koncepta monitoringa moguće doprinijeti blagovremenim uočavanju, intervenciji i smanjenju gubitka u vodovodnoj mreži.

Nakon očitanja i uporedbe sumarne razlike očitanja kod potrošača sa razlikom očitanja zonskog mjerača konstatuje se veće ili manje odstupanje. Kako bi ova odstupanja mogla biti uzrokovana tromošću mehaničkih vodomjera potrošača ili greške u očitavanju ili zapisivanju, samo veća odstupanja su indikator kvara na mreži, nakon čega se mora izvršiti pregled mreže. Prema konceptu trenutnog protoka koji je utemeljen na utvrđivanju prosječnih proticaja zonskog mjerača, nakon čega se kontinuirano prati proticaj, sa tolerantnim odstupanjem do ranije zabilježenih maksimalnih proticaja. Kada je trenutno zabilježeni proticaj kroz zonski mjerač iznad ranije zabilježenih maksimalnih proticaja, promjena se bilježi kao indikator kvara na mreži, nakon čega se trenutno aktiviraju GSM poruke prema dispečeru.

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,

Izračun protoka vode modeliranjem poprečnog profila senzorom na pokretnom plovilu za potrebe projektiranja hidro elektrane

Calculation of the flow stream modeling cross section sensor on a mobile vessel for the design of hydro power plants

Ed. Smajić[1], Em. Trožić[2,*], En.Trožić[3]

[1]Općina Hadžići, BiH
[2]Vodovod Sanski Most, BiH
[3]O.škola Vrhpolje, sanski Most, BiH

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak

Za izračunavanje hidro energetskog potencijala neophodna su višegodišnja mjerenja vodostaja i izračun proticaja. Osim standardih mjernih letvi, koje se očitavaju svakodnevnim obilaskom, na važnijim vodomjernim stanicama su ugrađene automatske hidrološke stanice sa mjernim sondama, čiji signal se preko SIM kartice i GPRS-a odašilja do informativnog sistema voda, čiji se podaci mogu pratiti na portalu Hidrometeorološkog zavoda. Podaci očitani na letvi ili pomoću senzora su trenutni vodostaji, koji se na osnovu poprečnog profila korita vodotoka preračunavaju u trenutne proticaje. Kako se za ovakva izračunavanja, jednom na početku, snimi poprečni profil, postoji mogućnost da vodotok pomjeranjem vučnog materijala produbljuje ili izdiže korito vodotoka. U ovom slučaju izračun proticaja na osnovu ranije snimljenog poprečnog profila ima odstupanja od stvarnog proticaja. Kroz analizu je utvrđeno da; u odnosu na stacionarne vodomjerne letve ili sonde, tačnost trenutnog mjerenja proticaja je veća kod pokretnog laserskog plovila, koje očitava promjene poprečnog profila uzrokovane promjenama donje konture korita vodotoka. Iz provedene analize slijedi zaključak da je tačnost trenutnog mjerenja proticaja veća kod senzora na pokretnom plovilu.

Ključne riječi: Hidro energetski, potencijal, proticaj, vodomjerna stanica, lasersko očitanje, plovna platforma,

Abstract

To calculate the hydro energy potential are essential perennial measurements of water levels and flow calculation. In addition to measurement of standard bars, which are read daily tour, the major gauges are installed automatic hydrological stations with measuring

probe, whose signal via SIM card and GPRS sends water to the information system, whose data can be monitored on the website of the Hydro meteorological Institute. Data collected at bars or sensing the current water level, which is based on the cross section waterbeds, are translated into the current of flow. In order for such a calculation once at the beginning of recorded cross section, it is possible to stream shift carrier material deepens or raises waterbeds. In this case, the calculation of the flow on the basis of previously recorded cross section has a deviation of the actual flow. Through the analysis found that, in relation to the stationary gauge strips or probes, current measurement accuracy flow was higher in the moving laser boats, which respond to changes in cross section caused by changes in the lower contour waterbeds. From the analysis, it follows that the accuracy of the current measurements at higher flow sensors moving boat.

Keywords:
Hydro energy, potential, flow, water meter station, Laser reading, floating platform,

1. Uvod

Osmatranje vodostaja na svim vodnim tijelima je obavezno u svakodnevna tri vremenska intervala. Prikupljanje i obrada podataka mjerenja je u nadležnosti Hidrometeorološkog zavoda. Osim osmatranja vodostaja radi poduzimanja aktivnosti odbrane od poplava, vodna tijela se osmatraju i u cilju procjenjivanja prirodnih resursa, hidroenergetskog potencijala i drugog. Trenutni podatci vodostaja i mjerenja drugih parametara su dostupni, bez ograničenja, preko portala nadležnih Vodoprivrednih agencija i Hidrometeoroloških zavoda. Zvanični višegodišnji podaci o vodnom tijelu se mogu dobiti od nadležnih tijela samo uz pismeni zahtjev i uplaćeni propisani iznos za ustupanje i korištenje tih podataka.

2. Standardne tehnike osmatranja vodnih tijela

2.1. Manuelno očitavanje vodomjernih letvi

U cilju kontinuiranog praćenja vodostaja na svim vodnim tijelima i dalje se koristi standardno, manuelno, očitavanja vodomjernih letvi svakodnevno u tri vremenska intervala u toku 24 sata. Prilikom očitavanja vodomjerne letve položaj vizure oka lica koje očitava prema baždarenim oznakama na letvi i objektivnom vodnom licu vodnog tijela je individualna procjena. Ovakvo očitavanje zahtijeva ponavljanje u relativno kratkim intervalima kako bi se na osnovu više ponovljenih očitanja usvojilo «najtačnije», što, zapravo predstavlja ispravno izračunatu srednju vrijednost individualno procjenutih veličina. Nakon manuelnog očitavanja vodomjerne letve podaci o očitanju se telefaksom i telefonom distribuiraju u centralnu bazu hidrometeoroloških mjerenja.

3. Napredne tehnike osmatranja vodnih tijela

3.1. Automatske hidrološke stanice

Od 2000 godine započelo je instaliranje automatskih hidroloških stanica sa sondama za 5 do 8 senzora mjernih parametara; nivoa, provodljivosti, pH vrijednosti, ukupnog kisika, mutnoće, redoks itd. Hidrološke stanice su podržane Data logger-om sa integrisanim GSM/GPRS modemom i softverom za prikupljanje i obradu podataka. Centralna jedinica je

smještena u ISV Informativnom sistemu voda, kog održava Agencija za vodno područje a preuzete podatke obrađuje Hidrometeorološki zavod.

3.2. Laserski skener GeoScaN

Razvojem kompjuterskih tehnologija razvile su se i nove tehnike mjerenja. Programski paketi GIS aplikacija omogućili su brzo i jednostavno manipulisanje snimljenim podacima sa terena. Danas se laserskim skenerima iz letjelica ili plovila vrše skeniranja terena u unaprijed određenim slojevima. Na ovaj način je moguće odrediti različitost u strukturi i temperaturi slojeva. Za «manja» vodna tijela koja se mogu snimati iz priručnih plovila potrebno je «fiksirati» putanju po kojoj će se kretati laserski skener.

Na slici 1. prikazan je način zatezanje užeta na koji se fiksiraju plovila radi bezbjednog kretanja upravno na tok vode i pravolinijskog i kontinuiranog kretanja plovila sa laserskim skenerom GeoScaN. Mjerna kola HEIS Sarajevo služe za manevar potrebne opreme sa koje se i kojom se mjeri.

Slika 1. Zatezanje užeta za fiksiranje putanje laserskog skenera GeoScaN

Za brzo manervisanja mjerne opreme koriste se mjerna kola. Vozilo ima zadovoljavajući prostor za smještaj mjerne opreme i pomagala sa kojima se mjeri, kao na primjer gumeni vazdušni čamac, nepromočiva odjeća i drugo.

Na slici 2. prikazan je način pripreme plovne platforme sa laserskim skenerom GeoScaN-om za sigiran i precizan rad. Na fotografiji su eksperti HEIS-a Sarajevo u središnjem toku rijeke Sane.

Slika 2. Stabilizacija plovne platforme sa laserskim skenerom GeoScaN-om

Nakon povezivanja dvije tačke suprotnih obala (profil), užetom za fiksiranje putanje skenera, upravno na pravac kretanja vode, provjeravaju se konekcija i startne postavke softverskog programa na priručnom laptopu, koji je smješten u mjernim kolima. Nakon što operator u plovilu procjeni udaljenost senzora od tačke gdje lice vode dodiruje obalu i dojavi operatoru na laptopu, koji taj podatak unosi kao jedan od ulaznih podataka, operator na laptopu daje znak za pokretanje mjernog plovila. Kretanja mjernog plovila je manuelno. U plovilu za mjerača sjede dva operativca i to prvi koji ručno povlačeći za uže, tako da svojim tijelom povlači plovilo i drugi operativac koji držeći za pomoćno uže za navigaciju GeoScaN-a, pri čemu održava paralelnost plovila GeoScaN-a sa smjerom kretanja vode. Zapravo, uže za navigaciju GeoScaN-a treba da «umiri» plovilo GeoScaN-a na valovima, da ne bi sonda za mjerenje «skačući» po valovima stvarala nepotrebna odstupanja kod mjerenja.Na slici 3. prikazan je način kretanja plovne platforme upravno na tok vode

Slika 3. Način kretanja plovne platforme upravno na tok vode

4. Rezultati mjerenja

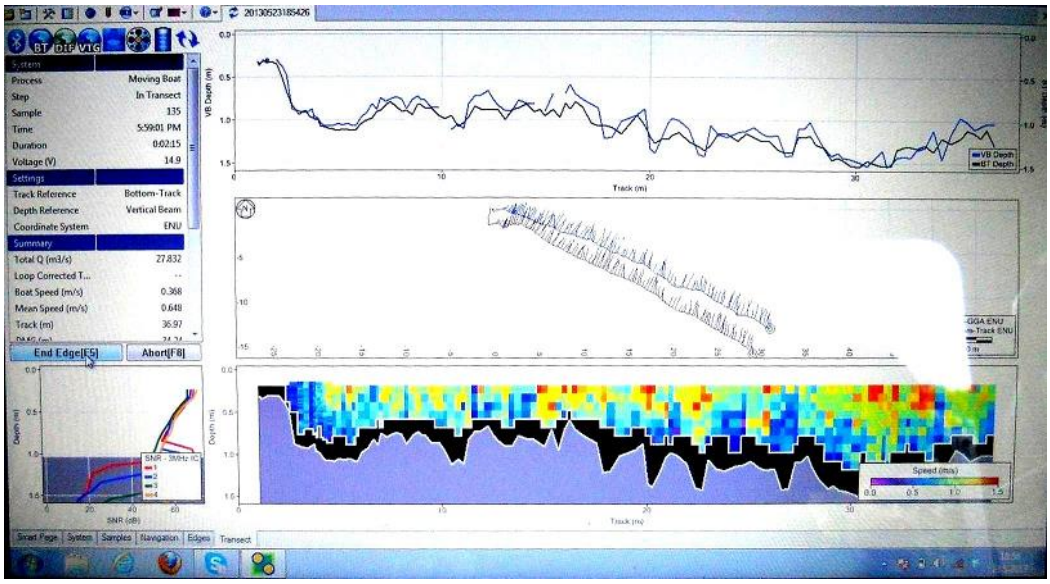
4.1. Praćenje trenutnih promjena očitonog mjerenja

GeoScaN je British Waterways' sistem čiji dijelovi su Integrirani u GIS, sa ili bez prethodnog modificirana. Akustičnim – mehaničnim skenerom sa visokom frekvencijom se dobivaju podaci o dnu rijeke. Laserskim skenerom se dobivaju podaci ispod dna vode, dok se podaci iznad površine vode dobivaju simultano. Istovremeno sa snimanjem na terenu podaci se preko GPS sistema prenose do PC. Na PC se prikupljaju i obrađuju podaci dobiveni od sve tri senzora. Na slici 4. prikazan je prenosni PC koji je dograđen sa aplikacijom za podršku GeoScaN-a

Slika 4. Prenosni PC sa aplikacijom GeoScaN-a

4.2. Grafičko predstavljanje rezultata mjerenja

Za podršku laserskom skeneru na PC je nadogradit adekvatan aplikacijski alat koji nakon manuelnog unošenja ulaznih parametara o uslovima mjerenja na konkretnoj lokaciji, automatiski bilježi parametre snimanja. Na ¼ vertikalnog desnog zaslona je izbornik sa parametrima i jedinicama trenutnog mjerenja. Preostali veći dio zaslona je podijeljen u tri grafička prikaza trenutnog mjerenja poprečnog profila. Na slici 6. prikazan je zaslon PC na kom se vidi način prikazivanja rezultata mjerenja.



Slika 6. Zaslon PC na kom se vidi način prikazivanja rezultata mjerenja

Kako je kretanje plovila dvosmjerno, od obale do obale i nazad, snimljeni profil i svi drugi podaci se interpoliraju radi dobivanja rezultata veće tačnosti. Radnja se može ponoviti više puta iz istih razloga.

5. Zaključak

Progresivni razvoj kompjuterskih i telekomukacionih tehnologija otvara mogućnosti dograđivanja tehnologija i u drugim naučnim disciplinama. Ovdje je predstavljen samo jedan segment napredne tehnike osmatranja vodnih tijela koja imaju kontinuirano promjenjive varijable brzine, proticaja, kao i niz drugih parametara koji ili direkno učestvuju u mjerenjima ili posredno utječu na tačnost izmjerenih veličina. Laserski skener je programiran tako da nakon nekoliko uzastopnih skeniranja izračunava središnju vrijednost u svakoj tački mjerenja. Naravno, standarna osmatranja vodnog tijela se još uvijek koriste, kao talonski parametar.

6. Literatura

[1] GEOScaN – Remote Data Acquisition for Hydrographic, Topographic and GIS Surveying, Laurence WATERHOUSE, United Kingdom, preuzeto 11 jun 2013., http://www.fig.net/pub/athens/papers/wsh3/WSH3_3_Waterhouse.pdf,

[2] ERDAS Field Guide , http://www.gis.usu.edu/manuals/labbook/erdas/manuals/FieldGuide.pdf

[3] Turbidite Event History—Methods and Implications for Holocene Paleoseismicity of the Cascadia Subduction Zone, Professional Paper 1661–F, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, pp1661f_text, http://pubs.usgs.gov/pp/pp1661f/pp1661f_text.pdf,

Prilog uspostavi automatskog monitoringa utjecaja voda kraškog ponora na izvor vode za piće
Appendix to establish an automatic monitoring of the impact of karst ponors to the source of drinking water

En. Trožić[1], Em.Trožić[2,*], Ed. Smajić[3]

[1]O.škola Vrhpolje, sanski Most, BiH
[2]Vodovod Sanski Most, BiH
[3]Općina Hadžići, BiH

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: emirtrozic@yahoo.com

Sažetak
S ciljem zaštite izvorišta vode za piće, od kontaminacije neželjenim supstancama ili organizmima, urađen je Projekat zaštite izvorišta. Projektom je određena veličina sliva, zagađivači i veličine zaštitnih zona sa popisom dozvoljenih i zabranjenih aktivnostima. U slivu iznad izvorišta postoji kraško polje sa 81 lokacijom sa 58 stalna i 23 povremena izvora, za čije ponore je dokazana podzemna veza sa izvorištem vode za piće. Projektom zaštite izvorišta je predviđen monitoring ponirućih voda i izvorišta. Kako se neposredno uz izvorište nalazi objekat za tretman vode za piće, od izuzetnog je značaja podatak o kvalitetu poniruće i izvorske vode prije ulaska u objekat za tretman. Instaliranjem automatskih hidroloških stanica na ponoru i izvoru, kroz analizu efekata dokazivano je da; Kontinuirano, trenutno i cjelodnevno praćenje promjena, na međusobno zavisnim tačkama u slivu, garantuje blagovremenu intervenciju u tehnološkom procesu tretmana, kod ekstremnih promjena kvaliteta vode prije postrojenja za tretman vode za piće. Iz analize efekata nakon instaliranja automatskih hidroloških stanica, proizilazi zaključak da se ranom informacijom, o kvalitetu vode prije ulaza, mogu smanjiti količine kontaminiranih voda koje bi mogle ući u postrojenje.

Ključne riječi: Izvorište, zaštita, hidrološka stanica, monitoring

Abstract
In order to protect drinking water sources from contamination by undesirable substances or organisms it has been made a study on protection of sources. The study was determined by catchment size, pollutants and the size of buffer zones with a list of permitted and prohibited activities. In the basin above the springs there are karst polje with 81 locations with 58 permanent and 23 temporary sources, for whose ponors are a proven underground connection to drinking water sources. By elaborate source protection is provided for monitoring abysses water resources. As the source is located close to the facility for treatment of drinking water, it is very important information on the quality of

immersed and spring water before entering the facility for treatment. By installing automatic hydrological stations on the ponors and the source, through the analysis of the effect was proven that, continuously, instantly and all day tracking changes on interdependent points in the basin, guarantees the timely intervention of the technological process of treatment, with extreme changes in water quality before the treatment plant water is for drink. From the analysis of the effects after installing automatic hydrological stations, leads to the conclusion that early information, the quality of the water prior to entry, can reduce the amount of contaminated water that could enter the plant.

Keywords: Source, protect, hydrological stations, monitoring

1. Uvod

Kako se radi o tipičnom kraškom vrelu koje trenutno snabdijeva oko 30.000 stanovnika vodom za piće, provođenje propisanih mjera zaštite se stavlja u prvi plan. Na oko 200 metara iznad ovog vrela i oko 10.000 metara udaljenosti nalazi se tipično kraško polje. Ovdje je evidentirano oko 81 lokacija na kojoj se voda pojavljuje trajno ili povremeno. Sve vode ovog polja poniru u kraške depresije polja. U jedan od najvećih ponora, potoka Jezernica, postepeno je sipano 40 kilograma natrijum fluorescenia koji je predhodno rastvoren u određenom omjeru sa alokolom, amonijakom i vodom. Ovim ispitivanjem se dokazao utjecaj ponirućih voda ovog kraškog polja na vode ovog i još jednog izvora na nižoj nadmorskoj visini.

2. Propisani uslovi zaštite izvorišta

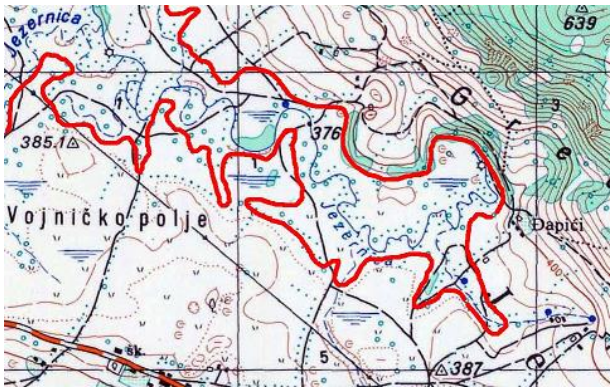
2.1. Razvodnice površinskih voda

Najjednostavnijom metodom praćenja pada izohipsi površinskog terena utvrđene su razvodnice slivova rijeka Une i Sane kroz masiv Grmeč planine. Orjentacione tačke poveznice linija razvodnica su najviši vrhovi planine, kao i nižih brežuljaka. Na sličan način ograničena je slivna površina izvora Zdena i izvora Dabra prema izvorima drugih rijeka kao što su na sjeveru izvor Japre a na jugu izvor Sanice. Za utvrđivanje podzemnih razvodnica neophodno je promatrati nagnutost tektonskih blokova ispod nadzemnih razvodnica, tako da bi se preciznije utvrdila granica oticanja voda prema slivovima.

2.2. Rezultati osmatranja pomoću rastvora natrijum fluorescein-a

Na-fluorescein ($C_{20}H_{10}Na_2O_5$) je crvenkasti prah koji je topiv u vodi, tako da pri velikom razrjeđenju daje različite intenzitete zelene boje. Da bi se poboljšala topivost Na-fluorescein-a u vodi dodaje se natrijeva lužina (NaOH) u izuzetno malim količinama da bi se izbjegla štetnost po ljude. Metodom mjerenja vremena pojavljivanja i koncentracije natrijum fluoresceini u osmatranim izvorištima, dokazivana je veza viših kraških depresija sa izvorima koji se nalaze ispod njih. Nakon postepenog sipanja 40 kilograma natrijum fluoresceini, predhodno rastvorenog sa alokolom, amonijakom i vodom u jedan od najvećih ponora, potoka Jezernica, uzimani su uzorci na obližnjim izvorima, koji su ispitivani na prisustvo ovog rastvora. Na ovaj način je dokazana povezanost ovog kraškog polja sa izvorima Zdena i Dabar. Osim velikog broja manjih izvora i ponora najveća

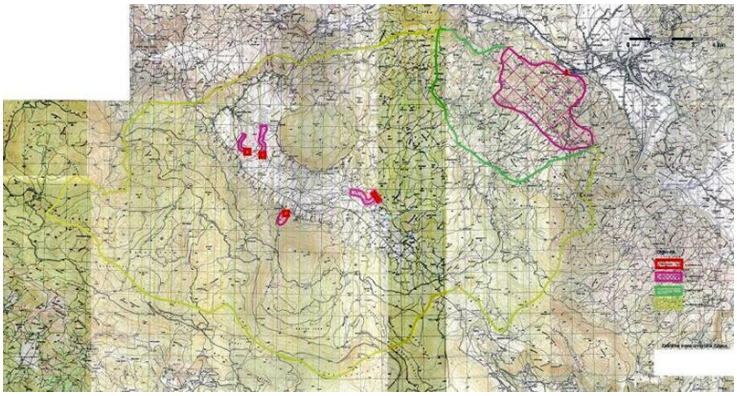
količina vode se pojavljuje kada se voda pojavi iz estavele Oko, nakon naglih padavina ili otapanja snijega, pa potom prelije korito Jezernice i stvori višednevnu akumulaciju od vode koja dotiče do ponora. Zbog određene propusne moći ponora voda iz akumulacije otiče i nekoliko dana nakon prestanka podavina. Voda kroz podzemlje otiče oko 57 sati do izvora Dabar (oko 300 m/h) i oko 93 sata do izvora Zdena (oko 115 m/h), koji su odavde udaljeni 10 odnosno 12 kilometara.[1] Na slici 1 je markirano šire plavno područje Jezernice, koje nastaje ispred ponora



Slika 1. Šire plavno područje Jezernice

2.3. Zaštitne zone izvorišta

Na osnovu rezultata istraživanja i prijedloga zaštitnih zona koje je definisao Projekat a na osnovu Zakonske legislative, donijeta je Odluka o zaštitnim zonama. Ova odluka definiše oko 204 km² površine sliva izvora Dabra i Zdene sa Lušci Palankom i sjeveroistočnim dijelom Grmečkog masiva. Zbor specifičnih uslova kakve imamo ovdje i dokazane veze kraških depresija Jelašinovačkog polja sa ovim izvorima, ovdje osim I zaštitne zone oko izvorišta imamo i I zaštitne zone kod ponora u ovom polju, a koje su od 10 do 12 kilometara udaljene od ovih izvora. Na slici 2 je karta slivnog prostora izvora Zdena sa crveno markiranim I zaštitnim zonama



Slika 2. Crveno markirane I zaštitne zone izvora Zdena[2]

3. Instaliranje hidroloških stanica

3.1. Rekognosticiranje terena

Eksperti Hidrometeorološkog zavoda su izvršili rekognosticiranje terena na izvoru Zdena i na ponoru Jezernice u Jelašinovačkom (Lušcipalanačkom) polju i locirali mjesta na kojima će se postavljati oprema hidrološke stanice.

Na slici 3 je fotografija lica mjesta ponora Jezernica. Ulazni dio ponora je zaštićen kamenim zidom koji ima funkciju zadržavanja nanosa koji bi mogao dodatno zatvoriti ulaz u ponor. Rekognosticiranje terena na izvoru Zdena i na ponoru Jezernice su izvšili eksperti Hidrometeorološkog zavoda iz Sarajeva sa predstavnikom Javnog preduzeća za vodosnabdjevanja.

Slika 3. Ponor Jezernica u Jelašinovačkom polju

3.2. Geodetsko snimanje poprečnog profila vodotoka na mjestu HS

U cilju realizacije projekta uspostave zona sanitarne zaštite izvorišta vode za pide, Zdena, izvođeno je geodetsko snimanja poprečnih profila na vodotocima Zdena i Jezernica te određivanje apsolutne kote „nule“ vodomjernih letvi na lokacijama hidroloških stanica, pri čemu su korišteni zvanični katastarski podaci o koordinatama i kotama trigonometrijskih i poligonih tačaka na ovom lokalitetu. Geodetsko snimanje izvršeno je polarnom metodom snimanja terena instrumentom Sokkia SET 530RK3 sa pratećom opremom. Osiguranje profila je urađeno pobijanjem međne biljege tip MNS 300, koja je pobijena 30 cm u tlo, a na površini je uočljiv žuti poklopac dimenzija 10x10cm. Osiguranje je izvršeno na lijevoj i desnoj obali vodotoka. Nakon izvršenih snimanja podaci su prebačeni iz interne memorije instrumenta na računar, softverom za prenos podataka ProLink. Obrada podataka je vršena u softveru Geodet verzja 9.3., a iscrtavanje poprečnih profila je rađeno u softveru AutoCAD, sa proračunom površina u profilu na svakih 10 cm visine.[3]

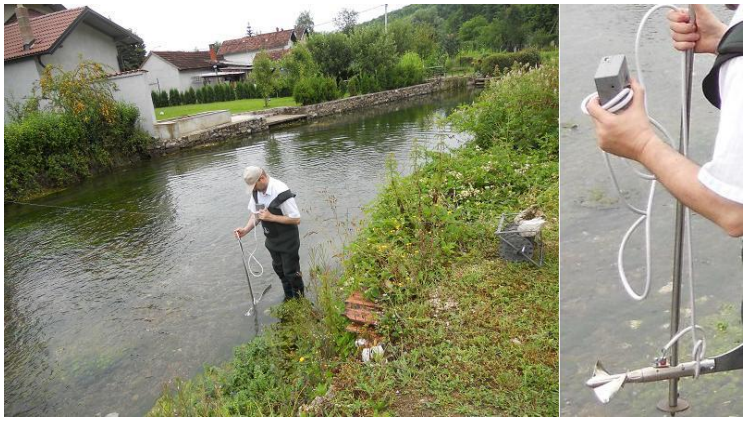
Na slici 4 je prikazan način geodetskog snimanja terena instrumentom Sokkia SET 530RK3 i dio urađenog poprečnog profila na mjestu zaštitnog zida. Geodetsko snimanje je izvodilo „Institut za Hidrotehniku“ doo Sarajevo.

Slika 4. Geodetsko snimanje poprečnih profila vodotoka na mjestu HS[3]

3.2. Hidrometrijsko snimanje na poprečnom profilu vodotoka na mjestu HS

Radi određivanja parametara za prevođene izmjerenih vrijednosti visine vode u proticaj iskazan u m³/s, neophodno je pored geodetskog poprečnog profila uraditi i hidrometrijska snimanja kod različitih vodostaja. Ova snimanja su neophodna i radi izračunavanja ekološki prihvatljivih protoka na ovim vodotocima. Hidrometrijska snimanja su rađena standardnim metodom pomoću vodomjernog ili hidrometrijskog krila.

Na slici 5 je fotografija sa jednog od minimalnih 6 hidrometrijskih mjerenja. Snimanje, na vodotoku Zdena, su izvodili eksperti „Energoinvest“ doo Sarajevo, dana 12 jula 2013 godine



Slika 5. Snimanje proticaja hidrometrijskim krilom

4. Osnove komunikacijske podrške

Aplikativne nadogradnje za softversku podršku su praktično rješenje za profesionalni prijenos, obradu i upravljanje mjernih podataka u području hidrometrije, meteorologije i zaštite okoline. Podaci koji se automatski registriraju u senzorima (nivoa, temperature,

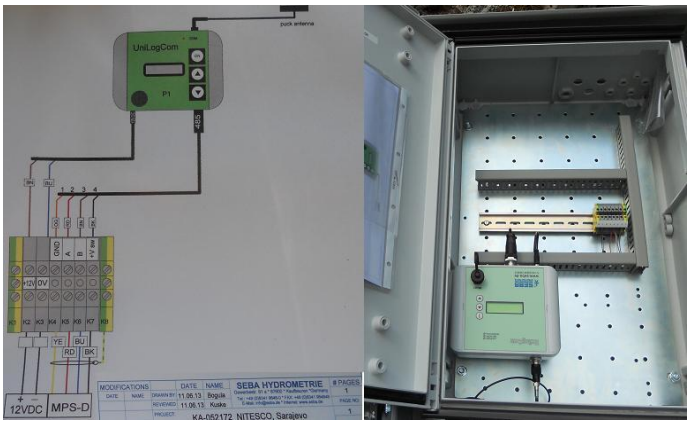
provodljivosti, pH vrijednosti, ukupnog kisika, mutnoće i drugi), koji se nalaze u zajedničkoj sondi (čahuri), pomoću prenosnog kabla se dovode do Data logger-a.

Na slici 6 se vidi zajednička sonda u kojoj su smješteni hidrometrijski senzori (nivoa, temperature, provodljivosti, pH vrijednosti, ukupnog kisika i mutnoće), koja se spušta u vodotok do mjesta mjerenja kroz zaštitnu PHDE cijev.

Slika 6. Sonda u kojoj su smješteni hidrometrijski senzori

Data logger se održava električnom energijom sa fotonaponskog (solarnog) panela 60 W a preko integrisanog GSM/GPRS modema distribuira signal do ISV (Informativnog sistema voda). Podaci mjerenja sa svih hidroloških stanica ISV-a mogu se pratiti preko zvaničnog portala; http://www.voda.ba/loc/monitoring.wbsp i trenutno stanje vodostaja rijeka u F BiH na; http://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/HIDROLOGIJA/H-avodostaji.php. Napomena vlasnika ISV-a; Podaci sa automatskih hidroloških stanica u realnom vremenu, nisu namijenjeni projektovanju ili bilo kojoj drugoj službenoj upotrebi. Ukoliko trebate takve podatke, molimo da se obratite nadležnim institucijama (Meteorološki Zavod u Sarajevu i Agencija za "Vodno područje slivova rijeke Save" Sarajevo). Korisnici mobilnih telefona (WAP, GPRS) vodostaje mogu očitavati na adresi www.voda.ba Podaci se prenose na teletext stranicu 493 Federalne radiotelevizije (FTV).)

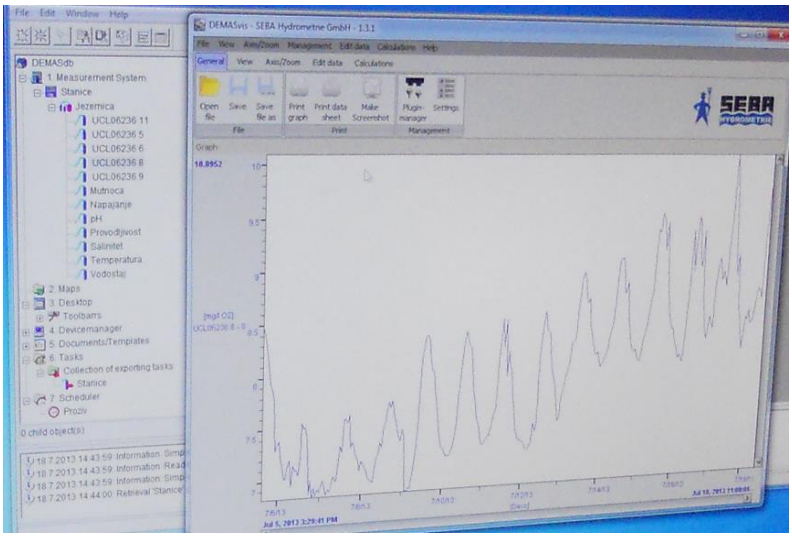
Na slici 7 je unutrašnji izgled zaštitnog ormarića sa Data logger-om i shema montaže dolaznih kablova sa senzora i data logger-a.



Slika 7. Unutrašnjost zaštitnog ormarića Data logger-a

S obzirom na specifične zahtjeve aplikanta, javnog preduzeća za vodosnabdjevanje stanovništva vodom za piće, nadogradnja za softversku podršku će biti instalirana na internom PC unutar objekta za tretman pitke vode, kako bi se moglo osmatrati stanje na slivnom području konkretnog izvora. Na slici 8 je osnovna postavka zaslona PC monitora, na kojoj su na karakterističnim fotografijama postavljena okna u kojima se trenutačno može pratiti promjena izmjerenih parametara kvaliteta voda koje se osmatraju. Prozivanjem pojedinačnih parametara na zaslonu se pojavljuje karakterističan grafikon izmjerenih vrijednosti. Prema potrebi, korisnik može birati vremenski interval prikazanih mjerenja na grafikonu, tako da sa manjim vremenskim intervalima može pratiti detalje izmjerenih vrijednosti, dok sa dužim vremenskim intervalima se mogu pratiti periodičnost pojavnosti promjena kvaliteta konkretnog parametra kao i dužinu i intenzitet izmjerenih vrijednosti.

Slika 8. Zaslon PC monitora sa parametrima kvaliteta voda koje se osmatraju



Slika 8. Zaslon PC monitora sa parametrima kvaliteta voda koje se osmatraju

Na slici 9 se vidi pogled na ponor Jezernice sa ugrađenom automatskom hidrometrijskom opremom i fotonaponskom ćelijom. Na fotografiji se vidi predstavnik Nadzora nad građenjam „Geoput“ doo Banja Luka i predstavnici firme „Nitesco“ doo Sarajevo, isporučioca i montažera hidrometrijske opreme „Seba hydrometrie“ GmbH & Co Kg.

Slika 9. Pogled na ponor Jezernice u vrijeme izvođenja završnih radova na ugradnji automatske hidrometrijske opreme

5. Analiza efekata uspostave automatskih hidroloških stanica

Ranijim analizama kvaliteta ponirućih voda Jezernice utvrdila se značajna kontaminacija mikroorganizmima. Postrojenje za tretman pitke vode Zdena je projektovano prema

kvaliteu ove vode u najvećem broju dana. Vanredna i ekstremna opterećenja se uočavaju unutar postrojenja za tretman kada voda već uđe u postrojenje. Za poduzimanje interventnih mjera kod ekstremnih stanja potrebno je duži vremenski period. Kad bi informacija o ekstremnoj kontaminaciji dospjela do nadzornog PC i dispečera bar nekoliko minuta ranije intervencija bi bila brža i sa manjim posljedicama. Kroz donju analizu će se dati pregled aktivnosti koje su poduzimane na prostoru sliva sa opisom pozitivnih efekata i mogućih slabosti.

Tablica 1. Analiza efekata primjene novih zaštitnih mjera

Opis aktivnosti	Opis pozitivnog dejstva na efikasnost zaštite izvorišta i troškove tehnološkog procesa tretmana vode za piće	Opis mogućih slabosti primjene ove aktivnosti
Prije uspostave hidroloških stanica		
Čišćenje divljih deponija	Značajan doprinos zaštite sliva	Moguća je nova kontaminacija – nadzor nedovoljan
Čišćenje ponora	Povećan doprinos zaštiti sliva	Moguća je nova kontaminacija – nadzor nedovoljan
Ograđivanje zaštitnih zona	Doprinos zaštiti sliva	Moguća je nova kontaminacija – nadzor nedovoljan
Postavljanje tabli sa oznakama zaštitnih zona	Doprinos zaštiti sliva	Moguća je nova kontaminacija – nadzor nedovoljan
Nakon uspostave hidroloških stanica		
Postavljanje standardnih vodomjernih letvi	Doprinos zaštiti sliva	Moguća je nova kontaminacija – nadzor nedovoljan
Uspostava automatskih hidroloških stanica	Efekti zaštite sliva su veliki	U slučaju nove kontaminacije - nadzor je moguć svih 24 sata
Umrežavanje GSM signala hidroloških stanica u ISV	Efekti zaštite sliva su veliki	U slučaju nove kontaminacije – nadzor za mjerne parametre je mogući preko portala ISV
Umrežavanje GSM signala sa HS u PC nadzornu stanicu vodovodnog sistema	Efekti zaštite sliva su veliki. Samo kod ove aktivnosti je obezbjeđeno kontinuirano, trenutno i cjelodnevno praćenje promjena, na međusobno zavisnim tačkama u slivu.	U slučaju nove kontaminacije – nadzor je trenutni i automatski preko PC nadzorne stanice vodovodnog sistema. Ovakva aktivnost garantuje blagovremenu intervenciju u tehnološkom procesu tretmana vode za piće, kod ekstremnih promjena kvaliteta vode prije postrojenja.

Jasno je da samo kontinuirano, trenutno i cjelodnevno praćenje promjena, na međusobno zavisnim tačkama u slivu, garantuje blagovremenu intervenciju u tehnološkom procesu tretmana, kod ekstremnih promjena kvaliteta vode prije postrojenja za tretman vode za piće. Iz analize efekata nakon instaliranja automatskih hidroloških stanica, proizilazi zaključak da se ranom informacijom, o kvalitetu vode prije ulaza, mogu smanjiti količine kontaminiranih voda koje bi mogle ući u postrojenje.

6. Zaključak

U sklopu realizacija projektovanih aktivnosti zaštite izvorišta, pored ostalog, izvršena je ugradnja hidrometrijske opreme na ponoru Jezernica i na izvoru Zdena[1]. Razlozi uvezivanja ove dvije vodne pojave, koje su udanjene preko 10 kilometara, je dokazana hidrološka, podzemna, povezanost i direktan uticaj ponora na izvor. Ugrađena hidrometrijska oprema će biti snabdjevena električnom energijom sa nezavisnih fotonaponskih ćelija. Oprema je podržana softverskom nadogradnjom pomoću koje je, preko Data logger-a i GSM signala, uvezana u ISV. S obzirom na važnost osmatranja ove dvije vodne pojave sistem je uvezan, preko softverske nadogradnje, sa komandnim pultom u objektu za tretman pitke vode izvora Zdena, kako bi se moglo svakog momenta osmatrati stanja u slivu. Kako je slivna površina ovog izvora opterećena naseljima koji se nalaze na kraškom terenu, čije otpadne vode direktno dospijevaju do podzemnih voda, osmatranje ponora Jezernice ima izuzetnu važnost. Na ovaj način će se samo kontinuiranim, trenutnim i cjelodnevnim praćenjem promjena, na međusobno zavisnim tačkama u slivu, garantovati blagovremena intervencija u tehnološkom procesu tretmana, kod ekstremnih promjena kvaliteta vode prije postrojenja za tretman vode za piće. Ovakvim pristupom će se uz posjedovanje rane informacije o kvalitetu vode izvorska vode, moći smanjiti količine kontaminirane vode prije ulaska u tehnološki tretman.

7. Literatura

[1] Republički hidrometeorološki zavod Sarajevo, maj 1970. godine, Elaborata “Bojenje ponora kraške deponije kod Lušci Palanke”

[2] Institut Hidrotehnike, Sarajevo, 2004., Projekat Zaštite izvorišta vode za piće Zdena općina Sanski Most, Šifra projekta:D – 926, Institut za hidrotehniku Građevinskog fakulteta, Sarajevo, Juni 2003. – Juni 2004. godine

[3] Elaborat geodetskog snimanja za montažu dvije hidrološke stanice u Lušcipalaničkom polju i na izvorištu Zdena, Sarajevo, 2013., Broj: 10-124/13, HEIS Institut za hidrotehniku d.o.o , E-mail: heis@heis.com.ba,

[4] Pravilnik o načinu određivanja ekološki prihvatljivog protoka, Službene novine Federacije BiH, 2013.,

[1] Projekat je financijski podržan sredstvima Fonda za zaštitu okoliša F BiH, Sarajevo, 01-02-1977/2012, 12.12.2012.

[5] Data logger Seba, http://www.seba-hydrometrie.com/fileadmin/files/02_Datensammler/C17_Data%20Loggers%20Levellog-Unilog_e.pdf, preuzeto 12 jul 2013.,
[6] All Seba Hydrometrie catalogues and technical brochures, http://pdf.directindustry.com/pdf/seba-hydrometrie-63216.html, preuzeto 12 jul 2013.,
[7] Catalog Number 6234218, Hydras 3 LT, Software manual, December 2005, Edition 2, http://www.aqualab.com.au/files/110/manual.pdf, preuzeto 12 jul 2013.,

Analiza ekonomičnosti grijanja građevina korištenjem toplovoda iz termoenergetskog postrojenja s različitim gorivom

Cost-effectiveness analysis of heating of buildings using hot water pipeline from the thermal power plant with different fuel

R. Končić[1*], A. Čikić[2], M. Živić[1]

[1]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska,
[2]Visoka tehnička škola u Bjelovaru, Bjelovar, Hrvatska.

[*]Autor za korespondenciju. E-mail: rkoncic@sfsb.hr

Sažetak

Često je prijeporna procjena ekonomičnosti grijanja građevina distribucijom toplinske energije toplovodima iz centralnog termoenergetskog postrojenja ovisno o vrsti pogonskog goriva. Analizirana je ekonomičnost transporta toplinske energije dobivene izgaranjem prirodnog plina i biomase u centralnom termoenergetskom postrojenju. U procijenjenom periodu eksploatacije dane su kvantificirane vrijednosti iz prakse te uspoređeni tehnički i ekonomski parametri održivosti. Predložene su smjernice za izbor ekonomičnog pogonskog goriva.

Ključne riječi: toplovodi, grijanje građevina, plin, biomasa, ekonomičnost.

Abstract

Estimating cost-effectiveness of heating of buildings by distributing thermal energy using hot water pipeline from a central thermal power plant, depending on the type of fuel, is often controversial. The analysis of cost-effectiveness of transport of thermal energy generated by burning of natural gas and biomass in the central thermal power plant is performed. In certain period of exploitation, quantified values from practice are given, and the technical and economic parameters of sustainability are compared. The guidelines for the selection of cost-effective fuel are proposed.

Key words: hot water pipeline, heating of buildings, natural gas, biomass, cost-effectiveness.

1. Uvod

Uz smanjenje gubitaka pretvorbe i distribucije te veća učinkovitost uporabe energije veoma su značajni stabilnost, sigurnost i ekonomičnost opskrbe toplinskom energijom potrošača u duljem eksploatacijskom periodu. Različite koncepcije projektiranja i izvedbe grijanja i pripreme potrošne tople vode (PTV) u stambenim zgradama s većim brojem stanova u naseljima, često su produkt trenutnih i usmjerenih ekonomskih interesa i slijedom toga rasprostranjene sumnje potencijalnih korisnika u dugoročnu održivost ponuđenih rješenja. Neovisno o kvaliteti gradnje i toplinskoj zaštiti stambenih zgrada, većim ili manjim potrebama za toplinskom energijom te mogućnostima izbora pogonskog goriva, nerijetko su različite lokacije i izvedbe toplinskih izvora predmet neučinkovitih rasprava za svaku ili više stambenih zgrada u urbanim naseljima. Ako je raspoloživo više opcija obično se ne provode prethodni stručni tehnički proračuni, što utječe na donošenje, ponekad i nepravilnih, odluka o toplinskom izvoru, načinu i uvjetima toplifikacije stambenih zgrada. Često je prijeporna procjena ekonomičnosti grijanja građevina distribucijom toplinske energije toplovodima iz centralnog termoenergetskog postrojenja ovisno o vrsti pogonskog goriva [1, 2, 3, 4].

Ovisno o lokaciji gradnje i tehničko – ekonomskim parametrima kogeneracijsko postrojenje s pogonom na biomasu može biti optimalno tehničko rješenje za toplifikaciju stambenih zgrada, jer se postiže veoma povoljan odnos jedinične cijene toplinske energije i jedinične cijene pogonskog goriva. Distribucija toplinske energije prilagođena je mikroklimatskim uvjetima i potrošnji korisnika. Centralna i kontrolirana je emisija štetnih plinova u dopuštenim granicama sukladno važećim normama.

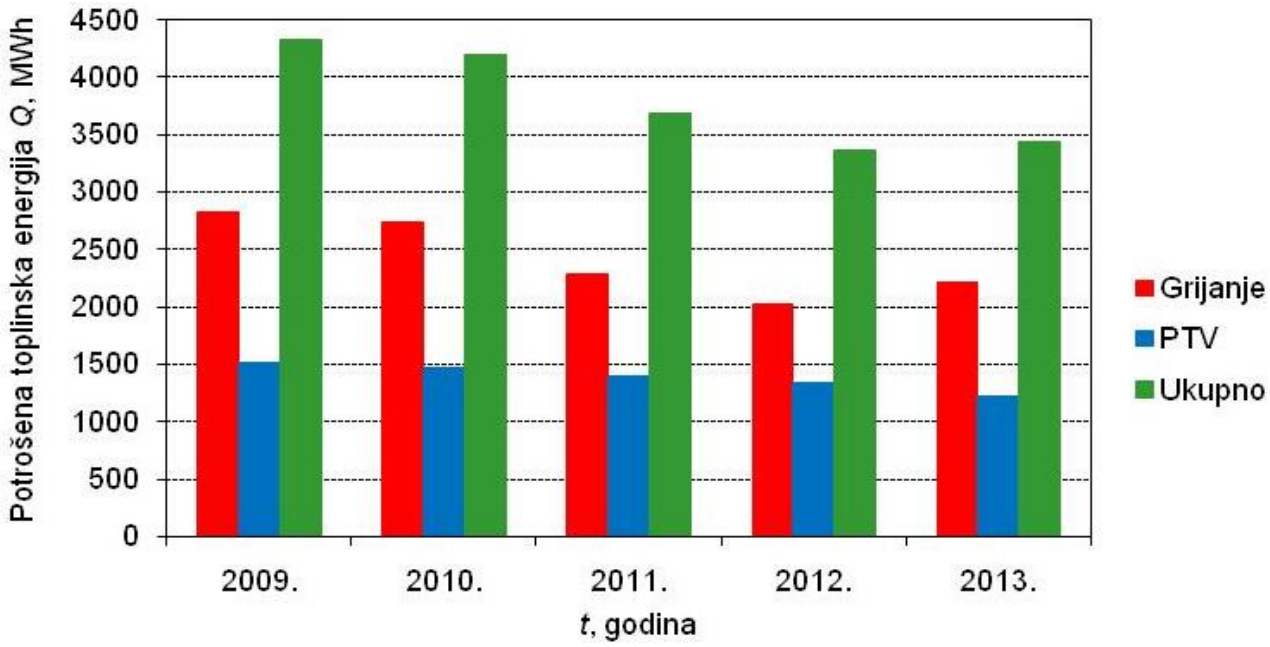
2. Toplifikacija stambenih naselja

2.1 Zgrada – toplovodna kotlovnica

U urbaniziranom stambenom naselju izgrađeno je šest međusobno odvojenih građevina (svaka s 62 do 78 stanova) s ukupno 428 stanova i ukupne grijane površine 23150 m^2. U svakoj građevini izvedeno je radijatorsko grijanje prostorija i centralna priprema potrošne tople vode (PTV). Toplovodni kotlovi s atmosferskim spaljivanjem prirodnog plina te pripadajuća termotehnička oprema i uređaji za grijanje i centralnu pripremu PTV smješteni su kotlovnici svake stambene građevine posebno. Sukladno toplinskom opterećenju predviđeno je stupnjevito uključivanje jedinica svakog toplovodnog kotla.

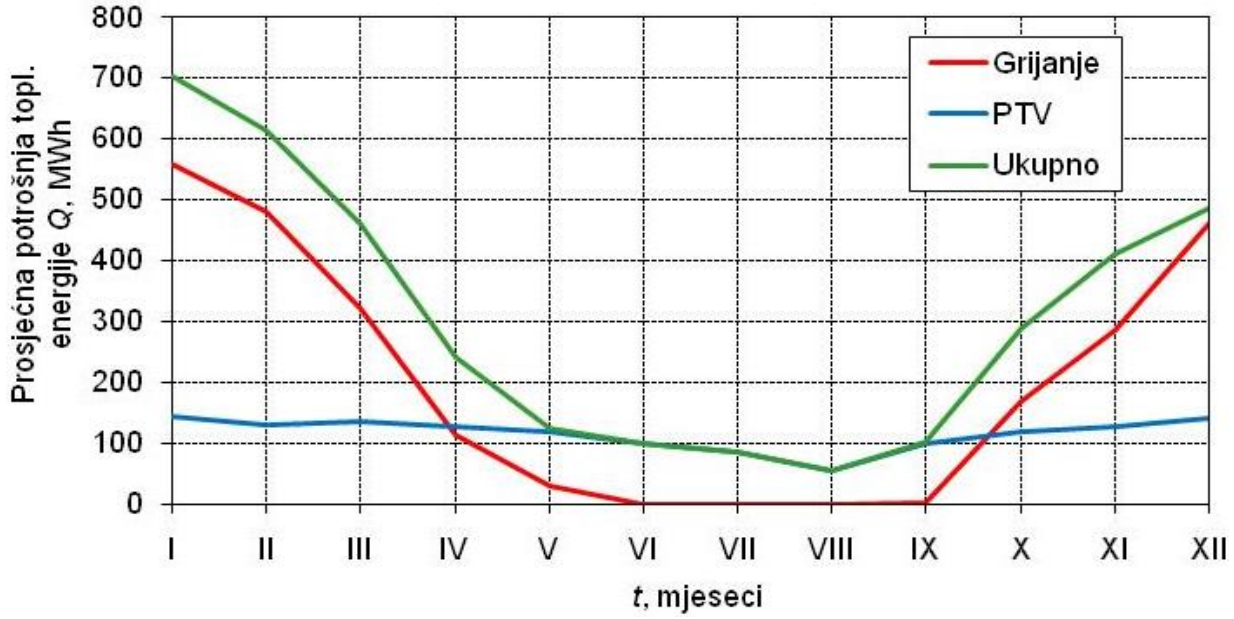
Ukupna prosječna godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV od 2009. godine do 2013. godine (procjena do kraja 2013. prema 2012. godini) iznosila je od 145,6 kWh/m^2 do 187,13 kWh/m^2, odnosno za petogodišnje razdoblje oko 164,6 kWh/m^2 grijane površine.

Prema kontinuirano mjerenim vrijednostima godišnja potrošnja toplinske energije *Q* za grijanje i pripremu PTV u razdoblju od 2009. do 2013. godine dijagramski je prikazana na slici 1.



Slika 1. Potrošnja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV za razdoblje 2009. – 2013. (A_{ukupno} = 23150 m^2 grijane površine)

Prosječna mjesečna potrošnja toplinske energije tijekom godine za isto vremensko razdoblje prikazano je na slici 2.



Slika 2. Prosječna mjesečna potrošnja topl. energije tijekom godine

U navedenom razdoblju, tijekom siječnja potrošnja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV kretala se između 558,19 MWh i 922,68 MWh, od čega oko 22 % za pripremu PTV.

Izvan sezone grijanja, u mjesecu svibnju se za pripremu PTV prosječno potroši oko 123,2 MWh, a u mjesecu rujnu oko 102,2 MWh toplinske energije. U lipnju, srpnju i kolovozu mjesečno se prosječno potroši oko 70 MWh toplinske energije. Ukupna prosječna godišnja potrošnja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV iznosi oko 3810,9 MWh. Cijena kWh toplinske energije iznosila je od 0,50 kn do 0,58 kn zaključno s mjesecom svibnjem 2013. godine. Ukupno instalirani toplinski učin toplovodnih kotlova u šest stambenih građevina iznosi 4,725 MW.

2.2 Kogeneracijsko postrojenje

Kogeneracijsko postrojenju električne snage P_e = 2,6 MW i toplinskog učina P_t = 7,5 MW udaljeno je od stambenog naselja 3 km. Pomoću rashladnih tornjeva hladi se topla voda i njena toplina odvodi u atmosferu. Pogonsko gorivo za dva parna kotla je biomasa (pretežito sječka, a manji dio ostali usitnjeni drvni otpad) prosječne vlažnosti oko 35 %. Pri cjelogodišnjem pogonu postrojenja prosječno se dnevno troši oko 85 – 90 tona biomase donje ogrjevne vrijednosti oko H_d = 3 kWh/kg. Za moguće korištenje toplinske energije za grijanje i pripremu PTV u zgradama izlazni ogrjevni medij je topla voda temperature 95 °C.

3. Toplovod

Razmatrana je mogućnost toplifikacije (potrebnim toplinskim učinom od 5 MW) šest stambenih zgrada iz kogeneracijskog postrojenja korištenjem predizoliranog toplovoda (s ugrađenim sustavom detekcije kvara) NO 200 s maksimalnim temperaturnim režimom rada 95/70 °C. Predložena je najkraća trasa toplovoda kojim će se osigurati pouzdanost opskrbe toplinskom energijom, siguran nadzor i brzo otklanjanje eventualnih kvarova i/ili havarija. Očekivani gubici toplinskog toka predizoliranog toplovoda iznose 2 % do 4 % [1, 3].

Ekonomični unutarnji promjer toplovoda D_{ue} utvrđen je proračunom i procjenom najmanjih prosječnih godišnjih troškova [5, 6, 7]:

- investicijskih ulaganja i troškova održavanja cjevovoda i pripadajuće opreme,
- investicijskih ulaganja i troškova pogona i održavanja pumpnog sklopa i
- troškova električne energije pogona pumpnog sklopa.

Investicijska ulaganja u cjevovode i pripadajuću opremu C_1 određena su izrazom:

$$C_1 = D_u \cdot L \cdot C_c \qquad \text{kn,} \qquad (1)$$

a uključivo troškove za prosječnu godišnju otplatu investicije u cjevovode i pripadajuću opremu za razdoblje amortizacije od 15 godina (faktor amortizacije T_a) te postotak za održavanje (p_c) od godišnje otplatne vrijednosti, slijedi:

$$C_{1a} = D_u \cdot L \cdot C_c \cdot T_a \cdot (1 + p_c) \qquad \text{kn.} \qquad (2)$$

Investicijska ulaganja u pumpni sklop s pripadajućim zapornim elementima, regulacijskim i upravljačkim sklopovima C_2 definirana su izrazom:

$$C_2 = P \cdot C_p \qquad \text{kn.} \qquad (3)$$

Snaga pumpnog sklopa izračunata je prema izrazu:

$$P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta} \qquad \text{W,} \qquad (4)$$

pri čemu su:

$$\Delta p = f \cdot \lambda \cdot L \cdot \rho_v \cdot \frac{8 \cdot \dot{V}^2}{\pi^2 \cdot D_u^5} + \Delta H \cdot \rho_v \cdot g \ , \qquad \text{Pa} \qquad (4a)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 \ , \qquad \text{m} \qquad (4b)$$

$$f = \frac{h_1 + h_2}{h_1} \ , \quad h_1 = \lambda \cdot \frac{L}{D_u} \ , \quad h_2 = \sum_{i=1}^{n} \xi_i \ . \qquad (4c)$$

Troškovi pogona i održavanja u praksi se obično računaju kao postotak (p_p) od vrijednosti godišnje otplate pumpnog sklopa. Uključujući i prosječnu godišnju otplatu investicije pumpnog sklopa u razdoblju amortizacije (faktor amortizacije T_a) slijedi:

$$C_{2a} = P \cdot C_p \cdot T_a \cdot (1 + p_p) \qquad \text{kn,} \qquad (5)$$

odnosno

$$C_{2a} = f \cdot \lambda \cdot L \cdot \rho_v \cdot \frac{8 \cdot \dot{V}^3}{\pi^2 \cdot \eta \cdot D_u^5} \cdot C_p \cdot T_a \cdot (1 + p_p) + \frac{\rho_v}{\eta} \cdot \dot{V} \cdot \Delta H \cdot g \cdot C_p \cdot T_a \cdot (1 + p_p) \qquad \text{kn.} \qquad (6)$$

Troškovi električne energije pogona pumpnog sklopa C_{3a} definirani su umnoškom snage pumpe P, broja sati rada pumpe u godini t, jedinične cijene električne energije c_e i faktora očekivanog porasta cijene električne energije u razdoblju amortizacije p_e, prema izrazu:

$$C_{3a} = f \cdot \lambda \cdot L \cdot t \cdot \frac{8 \cdot \rho_v \cdot \dot{V}^3}{\pi^2 \cdot \eta \cdot D_u^5} \cdot c_e \cdot p_e + \frac{\rho_v \cdot g \cdot \dot{V} \cdot \Delta H \cdot t}{\eta} \cdot c_e \cdot p_e \qquad \text{kn.} \qquad (7)$$

Ukupni prosječni godišnji investicijski i pogonski troškovi transporta toplinske energije toplovodom za razdoblje amortizacije su:

$$C_{ua} = C_{1a} + C_{2a} + C_{3a} \qquad \text{kn.} \qquad (8)$$

Ekonomični unutarnji promjer toplovoda D_{ue} koji odgovara najmanjim prosječnim godišnjim troškovima određen je derivacijom ukupnih godišnji troškova (8) po promjeru svijetlog otvora cjevovoda $\left(\frac{dC_{ua}}{dD_u}=0\right)$:

$$D_{ue}=1{,}263\cdot\sqrt{V}\cdot\sqrt[6]{\frac{f\cdot\lambda\cdot\rho_v}{\eta}\cdot\frac{C_p\cdot T_a\cdot(1+p_p)+c_e\cdot t\cdot p_e}{C_c\cdot T_a\cdot(1+p_c)}} \quad \text{m.} \qquad (9)$$

Ekonomična brzina v_e tople vode predizoliranim cjevovodom definirana je izrazom:

$$v_e=0{,}8\cdot\sqrt[3]{\frac{\eta}{f\cdot\lambda\cdot\rho_v}\cdot\frac{C_c\cdot T_a\cdot(1+p_c)}{C_p\cdot T_a\cdot(1+p_p)+c_e\cdot t\cdot p_e}} \quad \text{m/s.} \qquad (10)$$

4. Tehničko – ekonomski parametri

Osnovni tehničko ekonomski parametri kogeneracijskog postrojenja s pogonom na biomasu prikazani su u tablici 1. Također su prikazane usporedne vrijednosti s pretpostavkom korištenja prirodnog plina umjesto biomase kao pogonskog goriva u tehnički prilagođenom kogeneracijskom postrojenju.

Tablica 1. Osnovni tehničko – ekonomski parametri kogeneracijskog postrojenja

Kogeneracijsko postrojenje P_e = 2,6 MW P_t = 7,5 MW		
Pogonsko gorivo	Biomasa	Prirodni plin
Potrošnja goriva	≈ 30600 t/god.	≈ 9840000 m^3/god.
D. ogrj. vrijednost goriva H_d	≈ 3,0 kWh/kg	≈ 9,3 kWh/m^3
Električna energija Q_e	≈ 22464 MWh/god.	≈ 22464 MWh/god.
Toplinska energija Q_t	≈ 64800 MWh/god.	≈ 64800 MWh/god.
Ukupni prihod od prodaje električne energije	≈ 22464000 kn/god.	≈ 17000000 kn/god.
Troškovi pogonskog goriva	≈ 9180000 kn/god.	≈ 31488000 kn/god.
Toplinska energija Q_t	Ne koristi se za toplifikaciju	Nužno je ekonomsko korištenje topl. energije za toplifikaciju

cijena isporučene el. energije iz biomase = 1 kn/kWh,
cijena isporučene el. energije = 0,76 kn/kWh,
cijena biomase = 300 kn/t, cijena prirodnog plina = 3,2 kn/m^3

U procijenjenom ukupnom prihodu od prodaje električne energije po poticanoj cijeni, biomasa sudjeluje sa oko 42 %, troškovi zaposlenika, održavanja i poslovanja iznose od 25 do 30%, oko 9 % su troškovi neiskorištene toplinske energije, te preostalih 20 do 24 % je višak prihoda. Pri korištenju prirodnog plina kao pogonskog goriva kogeneracijskog

postrojenja izostala bi poticana cijena isporučene električne energije uz nužnost cjelogodišnje prodaje toplinske energije za ekonomičnu održivost postrojenja. Investicijska ulaganja u instalacijski i građevinski dio predizoliranog toplovoda te pumpni sklop s pripadajućim regulacijskim i upravljačkim elementima i uređajima iznose oko 6500000 kuna. U navedenom primjeru, cijena toplinske energije $C_{te,x}$ za različitu cijenu biomase $C_{bm,x}$ i promjenljivu cijenu transporta toplinske energije $C_{tr,x}$ definirana je pomoću jednadžbe:

$$C_{te,x} = \left(C_{tr,x} \cdot p_{tr,x} + \frac{C_{bm,x} \cdot m_{bm}}{Q_t / Q_e \cdot Q} \right) \cdot p_{PDV} \qquad \text{kn/kWh.} \qquad (11)$$

U tablici 2. prikazane su kvantificirane vrijednosti opskrbe toplinskom energijom stambenog naselja iz kogeneracijskog postrojenja za trenutnu cijenu biomase 300 kn/t.

Tablica 2. Opskrba toplinskom energijom stambenog naselja iz kogen. postrojenja

Predizolirani toplovod: NO 200, L = 3000 m, $\vartheta_{V1}/\vartheta_{V2}$ = 95/70 °C		
Termotehničke i hidrauličke vrijednosti		
$\dot{V}$ = 0,0491 m^3/s, ρ_V = 970 kg/m^3, c_{pv} = 4,198 kJ/(kg·K), D_u = 0,2073 m, λ = 0,0132, $\Sigma\xi$ = 24, h_1 = 382, h_2 = 24, f = 1,0628 D_{ue} = 0,188 m (NO 200 – standardno), v_e = 1,836 m/s, $v_{(NO)}$ = 1,455 m/s		
Pumpni agregat		
Δp_c = 400000 Pa, Δp_H = 150000 Pa, Δp = 550000 Pa, P = 50 kW		
Ekonomske vrijednosti		
$C_c = 1000 \frac{kn}{m} \Big/ m$, C_p = 15 kn/W, T_a = 1,1, p_e = 0,5, p_c = 1,05, p_p = 1,04, t = 8640 sati, η = 0,55, c_e = 0,0007 kn/Wh		
Cijena toplinske energije		
Biomasa	Prirodni plin	Prirodni plin – kotlovnica (postojeće)
0,34 kn/kWh	4,00 kn/kWh	0,50 – 0,58 kn/kWh

5. Analiza rezultata

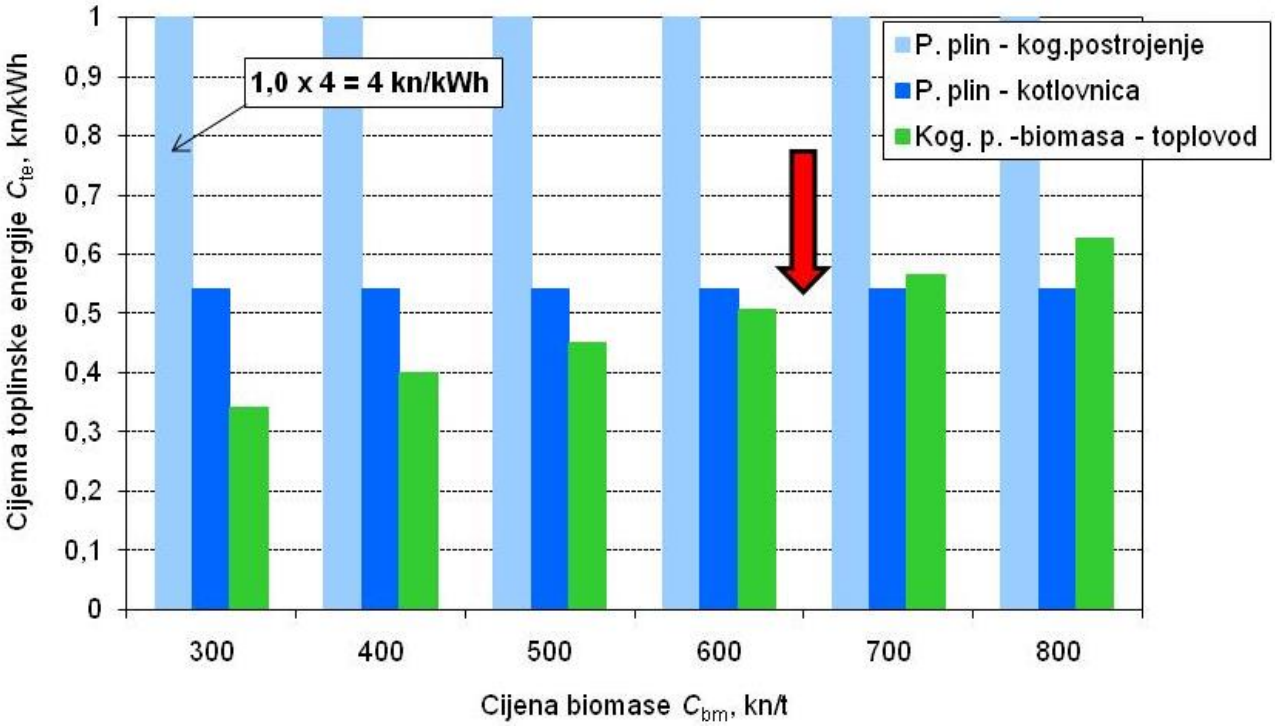
Za proizvodnju 1 MWh električne energije potroši se oko 1,362 tona biomase, odnosno po 1 kn vrijednosti biomase (300 kn/t) ostvaruje se oko 2,44 kn bruto prihod za električnu energiju isporučenu u elektroenergetski sustav.

Korištenjem biomase kao pogonskog goriva, kogeneracijsko postrojenje udaljeno oko 3 km od urbanog naselja je ekonomičan i održiv toplinski izvor za grijanje i pripremu PTV u stambenim zgradama. Izvedbom ekonomičnog toplovoda u realnim topografskim uvjetima mogu se ostvariti povoljni termotehnički i hidraulički uvjeti transporta toplinske energije od kogeneracijskog postrojenja do potrošača. Za toplifikaciju zgrada i pripremu PTV prosječno se godišnje potroši oko 6 % toplinske energije proizvedene u cjelogodišnjem

radu kogeneracijskog postrojenja. U siječnju se potroši oko 17 %, a u ljetnim mjesecima oko 1,3 % od mjesečne proizvodnje toplinske energije. Cijena 1 kWh toplinske energije je oko 60 % manja od cijene 1 kWh toplinske energije iz pojedinačne kotlovnice svake zgrade s pogonom na zemni plin.

Izborom prirodnog plina za pogonsko gorivo kogeneracijskog postrojenja značajno se smanjuje rentabilnost proizvodnje električne energije, a izlazna cijena toplinske energije je nekonkurentna u odnosu na ostale raspoložive mogućnosti toplifikacije zgrada.

Utjecaj promjene cijene biomase na ekonomičnost poslovanja kogeneracijskog postrojenja i cijenu toplinske energije dijagramski su prikazani na slici 3. Iskazana je konstantna cijena toplinske energije primjenom prirodnog plina kao pogonskog goriva u dva različita tipa termoenergetskih postrojenja.



Slika 3. Ovisnost cijene toplinske energije o promjeni cijene biomase (konstantna cijena prirodnog plina)

Povećanjem cijene biomase za više od dva puta u odnosu na trenutnu cijenu (300 kn/t) približno se izjednačava cijena toplinske energije s cijenom toplinske energije iz pojedinačnih kotlovnica u stambenim zgradama s pogonom na prirodni plin (3,2 kn/m^3).

6. Zaključak

Primjenom prirodnog plina i/ili biomase kao pogonskog goriva u dva različita tipa termoenergetskih postrojenja analizirana je ekonomičnost korištenja toplinske energije za grijanje i pripremu PTV u stambenim zgradama urbaniziranog naselja. Transportom toplinske energije iz kogeneracijskog postrojenja na biomasu ekonomičnim toplovodom

duljine oko 3 km i njenim korištenjem u stambenim zgradama postiže se najpovoljnija cijena kWh toplinske energije, održiva u dužem vremenskom razdoblju. Istaknuta je manja osjetljivost promjene cijene kWh toplinske energije pri rastu cijene biomase u odnosu na prirodni plin. Neizravnom kontrolom tehničko – ekonomskih parametara proizvodnje toplinske energije u kogeneracijskom postrojenju s pogonom na biomasu moguća je održivost najpovoljnije cijene kWh isporučene toplinske energije ne ugrožavajući rentabilnost poslovanja. Daljnjom razradom provedene analize i njenom nadogradnjom za druge vrste pogonskih goriva i obnovljivih izvora, te različite izvedbe termotehničkih sustava i postrojenja doprinijet će se ekonomičnijem izboru toplifikacije stambenih zgrada.

7. Literatura

[1] Sokolov, J., J.; Toplifikacija i toplinske mreže, Građevinska knjiga, Beograd, 1985. **(knjiga/poglavlja u knjizi)**
[2] Grant, E., I., Ireson, W., G.; Principles of Engineering Economy, The Ronald Press Company, New York, 1984 **(knjiga/poglavlje u knjizi)**
[3] Tuininga, E., J.; Anergy analysis of transportation systems, 9th TNO Conference on Energy Acounting, Rotterdam, 1976. **(rad u zborniku)**
[4] Evans, J., L.; Sputic, J., M.; Fuels – Today and Tomorow, Energu Engineering, 2/1981. **(rad u časopisu)**
[5] Matić, M.; Ekonomičnost energetskih sustava – primijenjena znanstvena istraživanja, Zagreb, 2006. **(knjiga/poglavlje u knjizi)**
[6] Long, T., V.; Economics and energy analysis, 9th TNO Conference on Energy Acounting, Rotterdam, 1976. **(rad u zborniku)**
[7] Oman, H.; Systems Engineering Handbook, Prentice – Hill, Inc. Englewood Clifs N. J., 1986. **(knjiga)**

Simboli i oznake

C_1 - investicijska ulaganja u cjevovode i pripadajuću opremu, kn
C_c - investicijska ulaganja u cjevovode i pripadajuću opremu po metru njegove duljine i metru unutarnjeg promjera toplovoda, $\frac{\text{kn}}{\text{m}}\Big/\text{m}$
C_p - investicijska vrijednost pumpnog sklopa izražena po jedinici snage pumpe, kn/W
C_{1a} - prosječni godišnji troškovi toplovoda i pripadajuće opreme, kn
C_2 - investicijska ulaganja u pumpni sklop s reg. upravljačkom opremom, kn
C_{2a} - prosječni godišnji troškovi pumpnog sklopa i pripadajuće opreme, kn
C_{3a} - godišnji troškovi električne energije pumpnog sklopa, kn
C_{ua} - ukupni prosječni godišnji troškovi, kn
$C_{bm,x}$ - promjenjiva cijena biomase, kn/toni
$C_{tr,x}$ - promjenjiva ukupna cijena troškova transporta toplinske energije toplovodom, kn/kWh
$C_{te,x}$ - cijena toplinske energije, kn/kWh
c_e - cijena električne energije, kn/Wh

c_{pv} - srednji specifični toplinski kapacitet tople vode, J/ (kg·K)
D_u - unutarnji (svijetli) promjer cjevovoda (toplovoda), m
D_{ue} - ekonomični unutarnji (svijetli) promjer cjevovoda (toplovoda), m
f - koeficijent otpora (omjer ekvivalentne i stvarne duljine cjevovoda)
g - ubrzanje zemljine sile teže, m/s^2
H_1, H_2 - nadmorska visina početne i krajnje točke toplovoda, m
h_1 - koeficijent otpora cjevovoda
h_2 - suma koeficijenata lokalnih gubitaka
L - duljina toplovoda, m
m_{bm} - masa biomase, tona
P - snaga pumpnog sklopa, W
p_e - faktor rasta cijene električne energije u razdoblju amortizacije
p_c - faktor godišnjeg održavanja cjevovoda i pripadajuće opreme,
p_p - faktor godišnjeg održavanja pumpnog sklopa i pripadajuće opreme,
$p_{tr,x}$ - faktor rasta troškova transporta toplinske energije toplovodom,
p_{PDV} - PDV=25%
Δp - ukupni pad tlaka, Pa
Δp_c - pad tlaka u toplovodu uslijed linijskih i lokalnih gubitaka, Pa
Δp_H - razlika tlaka uslijed visinske razlike, Pa
P_e - električna snaga, MW
P_t - toplinski učin, MW
Q_e - električna energija, MWh
Q_t - toplinska energija, MWh
Q_g - toplinska energija, kWh
T_a - faktor amortizacije
t - broj sati rada pumpe godišnje, h
$\dot{V}$ - volumenski protok tople vode, m^3/s
v - brzina tople vode kroz cjevovod, m/s
v_e - brzina tople vode kroz ekonomični promjer cjevovoda, m/s
λ - koeficijent otpora trenja
ρ_v - srednja gustoća tople vode, kg/m^3
η - stupanj djelovanja pumpnog sklopa
ξ - koeficijent lokalnog gubitka

Bioplin i bioplinsko postrojenje
Biogas and Biogas Power Plant

Z. Horvatović[1], M. Stojkov[2*], Z. Janković[2], D. Topić[3], V. Golob[4]

[1]HEP-ODS Zagreb, Elektra Vinkovci, Hrvatska
[2]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska
[3]Elektrotehnički fakultet Osijek, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvatska
[4] HEP-ODS Zagreb, Elektra Slavonski Brod, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: mstojkov@sfsb.hr

Sažetak
U svijetu je stalna potraga za rješenjima kako smanjiti potrošnju fosilnih goriva i kako što više smanjiti emisije stakleničkih plinova. Jedno od rješenja je iskorištavanje bioplina za proizvodnju električne i toplinske energije. Republika Hrvatska sa značajnim udjelom poljoprivrede u gospodarstvu ima izvrsnu osnovu za proizvodnju energije iz bioplina. Ovim radom opisana je povijest razvoja bioplina u Europi i Hrvatskoj, način na koji se proizvodi bioplin, od prikupljanja supstrata, skladištenja i obrade, kemijskih procesa koji se odvijaju prilikom proizvodnje bioplina, postupak izgradnje bioplinskog postrojenja te dijelova od kojih se ono sastoji uz kratak opis rada i svrhu pojedinog dijela postrojenja.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, energetski usjevi, bioplin, anaerobna digestija, bioplinsko postrojenje, fermentator, kogeneracija, električna energija

Abstract
There is constant research for solutions to reduce fossil fuel consumption and a way how to minimize greenhouse gas emissions in the world. One possible solution is the usage of biogas for electricity and heat generation. The Republic of Croatia with a significant share of agriculture in the economy has an excellent basis for the energy production from biogas. This paper describes the history of the development of biogas in Europe and Croatia, concept of the biogas power plant, process of biogas production from manure collection, storage and processing, chemical processes that take place during the production of biogas, the building of a biogas power plant and the its parts with a brief description of work and purpose of each part of the plant.

Key words: renewable energy, energy crops, biogas, anaerobic digestion, biogas power plant, digester, cogeneration, electricity

1. Uvod - bioplin

1.1. Povijest bioplina

Neki zapisi pokazuju da se proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom organskih tvari koristila još u Asiriji u 10. stoljeću prije Krista, i u Perziji u 16. stoljeću prije Krista. Jan Baptist van Helmont je u 17. stoljeću prvi ustvrdio i dokumentirao da se bioplin može dobiti prilikom procesa raspadanja organskih tvari. Alessandro Volta je 1776. utvrdio odnos između količine raspadnutih tvari i dobivene količine bioplina. Godine 1808. Humphry Davy utvrđuje potrebu anaerobnog raspadanja organskih tvari za dobivanje bioplina. Prvo dokumentirano postrojenje za proizvodnju bioplina izgrađeno je u Bombayu u Indiji 1859.g. Daljnja istraživanja u povijesti doveli su do prve veće upotrebe, godine 1895. u Exeteru u Engleskoj, pale se prve plinske svjetiljke koje su koristile bioplin. Arthur Buswell tokom 1930. istražuje anaerobne organizme i uvjete u kojima oni razvijaju bioplin. U 2000. godini Velika Britanija je bila vodeći proizvođač korisne energije iz bioplina sa 897 ktoe ili 39% europske proizvodnje. Ta energija dobivala se iz više od 400 postrojenja. Početkom 2000. godine Njemačka je bila na drugom mjestu sa 525 ktoe dok je treće mjesto zauzela Francuska sa 167 ktoe godišnje proizvodnje.

1.2. Proizvodnja bioplina u Europi

2009. godine promijenio se poredak vodećih zemalja u proizvodnji bioplina u Europi. Njemačka je postala vodeća sa 4213,4 ktoe. Veliki broj zemalja članica EU potiče proizvodnju bioplina kroz sustave poticanja, kroz tarife (povlaštene otkupne cijene), zelene certifikate, natječaje ili poticanjem razvoja tržišta isplatom poticaja za korištenje energetskih usjeva. Italija je bila četvrti proizvođač bioplina u 2009. godini u EU, ali je imala i najviši poticaj u Europskoj uniji kod otkupa električne energije u iznosu od 0,28 € / kWh za instalacije < 1 MW_{el}. U Francuskoj u kojoj je dosta razvijeno stočarstvo i poljoprivreda, najmanji su poticaji pri otkupu električne energije. Velika Britanija je imala najveći udio deponijskog plina u ukupnoj proizvodnji i na nju otpada oko 20% ukupne Europske proizvodnje. Većina članica EU je razradila program razvoja tržišta bioplina u okviru nacionalnih akcijskih planova za obnovljivu energiju (izrađenu u skladu s propisima Direktive 2009/28/EZ). Prema procjenama korištenje biomase u energetske svrhe bi se moglo znatno povećati. Europska udruga za biomasu (European Biomass Association - AEBIOM) procjenjuje da se energija proizvedena iz biomase može povećati sa 72 Mtoe iz 2004. godine na 220 Mtoe u 2020. Najveći potencijal za povećanje proizvodnje leži u poljoprivrednoj biomasi. Prema procjenama AEBIOM-a, 20 - 40 milijuna hektara zemljišta u EU moglo bi se koristiti za proizvodnju energije, bez utjecaja na opskrbu hranom u EU.

1.3. Proizvodnja bioplina u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je proizvodnja i iskorištavanje bioplina bila jedan od manje razvijenih sektora među obnovljivim izvorima energije sve do 2007. godine kada je donesen podzakonski akt kojim je definiran tarifni sustav za povlaštene proizvođače u koje su ušli i proizvođači električne energije iz bioplina. Do tada se električna energija iz plina proizvodila samo u

jednom većem pogonu - u elektrani na deponijski plin na Zagrebačkom odlagalištu otpada Jakuševac snage 2 MW. U 2009. godini su registrirana 3 bioplinska postrojenja, uz već spomenutu elektranu na deponijski plin Jakuševac, pokrenute su elektrana na plin iz postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda Zagreb snage 2,5 MW i elektrana na bioplin iz poljoprivredne biomase u Ivankovu pokraj Vinkovaca snage 1 MW. U posljednje 2-3 godine pokrenuto je i pušteno u rad nekoliko ovakvih postrojenja.

2. Anaerobna digestija (AD)

2.1. Proces anaerobne digestije

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se razgrađuju organske tvari uz djelovanje različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima, odnosno bez prisutnosti kisika. U bioplinskim postrojenjima AD se odvija u zrako-nepropusnim reaktorima, zvanim digestori ili fermentatori. Produkt anaerobne digestije su dva glavna proizvoda: bioplin i digestat. Dobiveni bioplin se najčešće sastoji od oko 60% metana (50-75%), 35% CO_2 (25-50%), te smjese vodika (0-1%), dušika (0-10%), kisika (0-1%), vodikovog sulfida H_2S (0-3%) i ostalih plinova u tragovima.

2.2. Supstrati

Supstrati u procesu dobivanja bioplina su različiti tipovi biomase od kojih se zasebno ili mješavinom u AD procesu dobiva bioplin. U slučaju kada se za proces AD koriste mješavine dvaju ili više različitih supstrata postupak se naziva kodigestija, koja je najčešći način proizvodnje bioplina, i za koju se najviše koriste slijedeće kategorije biomase: stajski gnoj i gnojnica; ostaci i nusproizvodi iz poljoprivredne proizvodnje; razgradivi organski otpad iz poljoprivredne i prehrambene industrije; organski dio komunalnog otpada i otpada iz ugostiteljstva; otpadni muljevi; i energetski usjevi (kukuruz, sirak, djetelina i različite vrste trava). Korištenjem životinjskog ekskrementa u AD procesu ima prednosti u odnosu na ostale supstrate zbog toga što prirodno sadrže anaerobne bakterije, imaju visoki sadržaj vode (koja služi kao otapalo za druge tvari), jeftini su i lako dostupni jer se sakupljaju kao otpad sa stočarskih gospodarstava. Supstrati se prvotno klasificiraju po sadržaju suhe tvari, a tek onda po prinosu metana i ostalim kriterijima. Supstrati sa sadržajem suhe tvari manjim od 20% koriste se za mokru digestiju, u nju spadaju stajski gnoj i gnojnica i organski otpad iz prehrambene industrije s visokim sadržajem vode. Suha digestija je proces u kojem se koriste supstrati koji sadrže 35% ili veći udio suhe tvari u koju spadaju energetski usjevi.

2.3. Biokemijski proces anaerobne digestije

Proces nastanka bioplina rezultat je niza procesnih koraka tijekom kojih se supstrat razlaže na jednostavnije spojeve sve do nastanka bioplina. U pojedinim fazama proizvodnje djelovanje imaju specifične grupe mikroorganizama, a te faze su: *Hidroliza, Acidogeneza, Acetogeneza i Metanogeneza.*

2.4. Parametri anaerobne digestije

Temperatura je jedan od najbitnijih parametara u procesu AD. Ključna je njena stabilnost za kvalitetan i brz proces AD. U praksi, temperatura pri kojoj će se odvijati AD procesa odabire se prema vrsti supstrata i ona se održava putem podnih ili zidnih sustava grijanja unutar digestora, ovisno o izvedbi. Temperature se klasificiraju na tri temperaturne zone, psihrofilnu, mezofilnu i termofilnu, a ovisnost dužine trajanja procesa o temperaturi vidimo u tablici 1. Osim temperature, od ostalih parametara bitno je spomenuti pH vrijednost. Ona predstavlja kiselost ili bazičnost otopine supstrata. Nastanak metana odvija se u relativno uskom području pH vrijednosti, od otprilike pH 5,5 do 8,5 s optimumom između 7 i 8.

Tablica 1. Prikaz ovisnosti dužine trajanja procesa o temperaturi

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja procesa
Psihrofilna	< 20°C	70 - 80 dana
Mezofilna	30 - 42°C	30 - 40 dana
Termofilna	43 - 55°C	15 - 20 dana

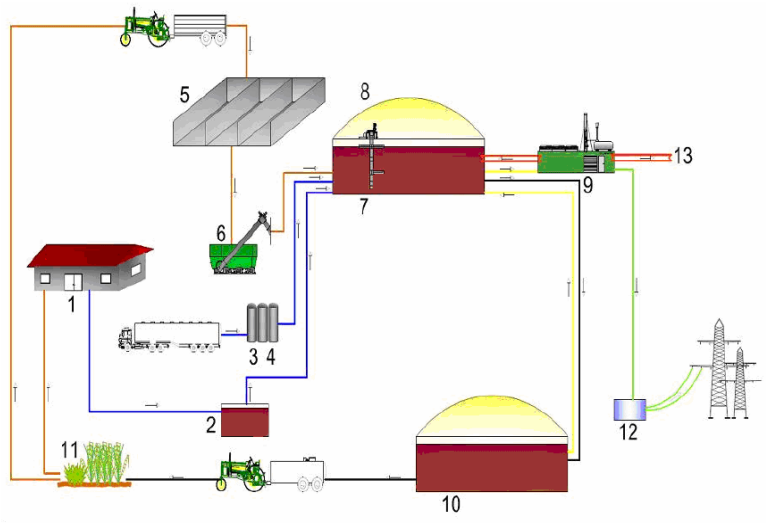
3. Bioplinsko postrojenje

3.1. Planiranje i gradnja bioplinskog postrojenja

Izgradnja bioplinskog postrojenja nije jednostavan i nadasve nije jeftin projekt da ga se može olako shvatiti i pristupiti realizaciji. Od same ideje do kraja projekta treba proći određene korake: projektna ideja; prethodna studija izvodljivosti; studija izvodljivosti; detaljno projektiranje bioplinskog postrojenja; izdavanje dozvola; izgradnja bioplinskog postrojenja, rad i održavanje; obnova i zamjena dijelova; i rušenje ili obnavljanje. Od ostalih parametara treba uzeti i slijedeće: definiranje i evaluacija poslovnog plana i strategije financiranja; angažiranje kompanije iskusne u projektiranju; uključivanje ostalih ključnih sudionika (lokalne vlasti, dobavljači dodatne sirovine, investitori, javnost) od samog početka projekta. Ključni čimbenici bez kojeg bioplinsko postrojenje nema smisla su postojanje i dostupnost sirovine, mogućnosti prodaje ili iskorištavanje krajnjih proizvoda, bioplina, električne i toplinske energije i digestata. Nakon uspješno isplanirane sheme snabdijevanja sirovinom i planiranom prodajom krajnjeg proizvoda, slijedeći korak je naći pogodnu lokaciju za izgradnju postrojenja. Pri tome treba uzeti u obzir da se lokacija treba nalaziti na prikladnoj udaljenosti od naselja, smjer vjetra, veličina parcele, na lokaciji treba postojati laki pristup infrastrukturi (elektroenergetska mreža, transportne ceste), trebalo bi biti smješteno što bliže mjestu proizvodnje sirovine a također i što bliže potencijalnim potrošačima toplinske energije. U Hrvatskoj za sada ne postoji proizvođač opreme za bioplinska postrojenja, ali zato na europskom tržištu postoje brojna različita i provjerena postrojenja. Neke od poznatijih tvrtki koje nude kompletna rješenja su: Bekon, Biogas Nord, Envitec Biogas, MT Energie, Nawaro Bioenergie, Schmack Biogas i druga.

4. Dijelovi bioplinskog postrojenja

Izgled postrojenja jako ovisi o vrsti i količini sirovine koja će se koristiti u procesu proizvodnje bioplina. Količina sirovine određuje dimenzioniranje veličine fermentatora, kapacitet skladišta i kogeneracijskog postrojenja, a kvaliteta sirovine procesnu tehnologiju.



1. objekti za uzgoj životinja
2. spremišta za tekući gnoj
3. kontejneri za sakupljanje biootpada
4. spremnik za sanitaciju
5. spremnici za silažu na otvorenom
6. sustav za unošenje krute sirovine
7. digestor (bioplinski reaktor)
8. spremnik za bioplin
9. kogeneracijska jedinica
10. skladište za digestat
11. poljoprivredne površine
12. TS stanica / predaja el. en. u mrežu
13. korištenje toplinske energije

Slika 1. Bioplinsko postrojenje s kodigestijom kukuruzne silaže i stajskog gnoja [6]

Proces proizvodnje bioplina u poljoprivrednim bioplinskim postrojenjima obično se odvija u četiri faze: transport, isporuka, skladištenje i prethodna obrada sirovine; proizvodnja bioplina (AD); skladištenje digestata, eventualno kondicioniranje i primjena; i skladištenje bioplina, kondicioniranje i korištenje. Prva faza procesa uključuje spremnik za skladištenje stajskog gnoja, posude za sakupljanje organskog otpada, spremnik za sanitaciju, prostor za skladištenje uz pomoć vozila, sustav za punjenje digestora krutom sirovinom. Druga faza procesa uključuje proizvodnju bioplina u reaktoru za bioplin (fermentatoru ili digestoru). Treća faza procesa sadrži spremnik za skladištenje digestata i primjenu digestata kao gnojivo na polju. Četvrta faza procesa odvija se u spremniku za skladištenje plina i kogeneracijskoj jedinici.

4.1. Skladištenje i kondicioniranje sirovine

Sirovina se skladišti prvenstveno radi kompenzacije sezonskih fluktuacija u opskrbi sirovinom. Vrsta skladišnih kapaciteta ovisi o sirovini. Skladišta se uglavnom mogu klasificirati kao bunker silosi za čvrstu sirovinu (kukuruzna silaža) i spremnici ili posude za skladištenje tekuće sirovine (stajnjak). Bunker silosi obično imaju kapacitet za skladištenje

sirovine na period duži od godinu dana, a u spremnicima se tekuća sirovina skladišti na nekoliko dana.

Sirovina se mora kondicionirati zbog poboljšanja razgradivosti. Ono daje mogućnost optimizacije procesa, povećava stopu razgradnje i prinos bioplina. Sanitacija sirovine mora se obaviti prije njezina upumpavanja u fermentator kako bi se izbjegla kontaminacija cijelog punjenja digestora, a njezini troškovi držali na minimumu. Usitnjavanjem sirovine se priprema površina čestica za proces biološke razgradnje a time i proizvodnju metana. Proces razgradnje je brži kada je veličina dijelova biomase manja, ono utječe samo na vrijeme trajanja digestije ali ne i na prinos metana.

4.2. Sustav punjenja

Način na koji se odvija punjene ovisi o vrsti supstrata i njegovoj pogodnosti za pumpanje. Oni supstrati koji se mogu pumpanjem premjestiti iz spremnika u digestor uključuju gnojovke i gnojnice te veliki broj tekućeg organskog otpada. Krute sirovine koje se ne mogu pumpati kao što su vlaknasti materijali, trava, kukuruzna silaža, gnojivo s visokim udjelom slame, mogu se dodavati u malim količinama u sustav punjenja putem punilice. Punjenje se odvija uz pomoć podnih strugača, pomičnih podova, šipki za guranje i pužnih vijaka. Punjenje sirovine u fermentator mora se odvijati u hermetičnim uvjetima jer se ne smije dozvoliti istjecanje bioplina. Zato sustav za punjenje umeće sirovinu ispod površinskog sloja digestata.

4.3. Fermentatori

Digestor ili fermentator je središte bioplinskog postrojenja koje mora biti toplinski izolirano i po potrebi grijano. Izrađuju se od betona, čelika, cigle ili plastike. Veličina bioplinskog postrojenja određena je veličinom fermentatora i ona može varirati od nekoliko kubičnih metara (kućne instalacije) do velikih komercijalnih postrojenja sa više fermentatora zapremine nekoliko tisuća kubičnih metara. Izbor konstrukcije i vrste fermentatora prvenstveno se određuje prema udjelu vode, odnosno suhe tvari u digestiranom supstratu. Postoje dva osnovna tipa anaerobne digestije, mokra digestija kada je prosječni udio suhe tvari supstrata manji od 15% i suha digestija kada je udio suhe tvari u supstratu veći od 15%, najčešće od 20-40%. Prema ulazu i izlazu sirovine postoje dva osnovna tipa fermentatora, obročni i kontinuirani.

4.4. Sustav grijanja

Jedan od najvažnijih uvjeta za stabilan rad i visoki prinos bioplina je postizanje konstantne temperature procesa. Velike promjene temperature mogu dovesti do neravnoteže u procesu anaerobne digestije, a u najgorem slučaju i do potpunog pada cijelog procesa. Glavni razlozi zbog kojih dolazi do promjena u temperaturi su: dodavanje nove sirovine, stvaranje temperaturnih slojeva ili temperaturnih zona radi nedovoljne izolacije, neučinkovitosti ili neprimjerenog dimenzioniranja sustava grijanja ili neučinkovitog

miješanja, nepravilnog smještaja grijaćih elemenata, ekstremne vanjske temperature tijekom ljeta i zime te uslijed kvara električnih vodova. Zbog navedenih razloga fermentatori se moraju toplinski izolirati i grijati pomoću vanjskih izvora topline radi postizanja i održavanja stabilne temperature procesa i nadoknade gubitaka topline. U tu se svrhu najčešće koristi otpadna toplina iz kogeneracijske jedinice bioplinskog postrojenja. Preporučljivo je zagrijavanje početi na samoj sirovini koja ulazi u fermentator radi izbjegavanja promjene temperature unutar fermentatora te dalje nastaviti sa zagrijavanjem unutar fermentatora pomoću grijaćih tijela.

4.5. Sustav održavanja

U kontinuiranim fermentatorima mogu se stvoriti nakupine sedimenata teških tvari poput pijeska, koji se ne mogu fermentirati. Nakupljanje pijeska u spremištima i fermentatorima smanjuje njihov aktivan volumen a u protoku biomase jako opterećuje sustave za miješanje, pumpe i izmjenjivače topline jer uzrokuje onečišćavanje, stvaranje prepreka i visoko habanje. Kontinuirano odstranjivanje sedimentacijskih slojeva iz fermentatora može se vršiti primjenom podnih strugalica ili podnog odvodnog kanala.

4.6. Sustav miješanja

Miješanje biomase započinje pasivnim miješanjem do kojeg dolazi pri dodavanju svježe sirovine u fermentatore. Ono uzrokuje procese toplinske konvekcije i stvaranje mjehurića plina koji se kreću prema površini. Samo pasivno miješanje nije dovoljno te se zato ono mora poboljšati korištenjem pneumatske, hidraulične ili mehaničke opreme. Većina bioplinskih postrojenja, i to do 90% njih, koristi mehaničku opremu za miješanje. Nju je potrebno koristiti više puta dnevno radi umješavanja nove sirovine u supstrat fermentatora, čime se sprječava stvaranje plutajuće kore i sedimentnih slojeva koji tonu, dovodi u kontakt bakterije s česticama nove sirovine, pomaže pri ispuštanju mjehurića plina i ujednačava se raspodjela topline i hranjivih tvari. Smještene su unutar fermentatora i kategorizirane su prema brzini, pa postoje, intenzivno brze, srednje brze i spore miješalice. Moguće ih je prilagođavati po visini, nagibu i smjeru.

4.7. Spremište bioplina

Proizvodnja bioplina mora se održavati što stabilnijom i što ravnomjernijom. Unutar fermentatora bioplin se stvara u fluktuirajućim količinama i ima proizvodne vršne vrijednosti. Isto tako varira i potražnja u kogeneracijskom postrojenju. Kako bi se te varijacije u proizvodnji i potražnji bioplina kompenzirale, neophodno je privremeno skladištiti proizvedeni plin u za to predviđenim objektima. Skladište za bioplin može biti raznoliko, kod manjih postrojenja najčešće se izvodi pomoću posebne membrane na vrhu fermentatora koja ujedno služi i kao pokrivalo fermentatora. Za veća bioplinska postrojenja obično se radi odvojeno skladište za bioplin kao samostojeći objekt. Osnovna podjela spremnika je po tlaku i to na niskotlačne, srednjetlačne i visokotlačne. Iz sigurnosnih razloga spremišta moraju biti opremljena sigurnosnim ventilima i moraju biti izvedena u

protueksplozijskoj zaštiti. Nadalje mora imati baklju za spaljivanje u slučaju nužde, a spremište mora imati kapacitet za uskladištenje od barem jedne četvrtine dnevne proizvodnje bioplina. U normalnim okolnostima preporučeni skladišni kapacitet bi trebao biti jednak proizvodnji bioplina za jedan ili dva dana.

4.8. Baklja

U bioplinskom postrojenju ponekad može doći do situacije kada proizvodnja bioplina bude veća od količine koja se može iskoristiti za proizvodnju energije i da u tom trenu premašuje skladišne kapacitete. Razlog može biti ili neuobičajeno visoka proizvodna stopa plina, kvar ili održavanje sustava kogeneracijskog sustava za proizvodnju električne energije. U svakom slučaju neophodna su pomoćna rješenja i to u obliku dodatnog skladišta bioplina ili dodatnog sustava za proizvodnju električne energije. Najjednostavnije rješenje navedenog problema je opremanje bioplinskog postrojenja sa bakljom. Izgaranje bioplina na baklji rješava situacije kada se višak bioplina ne može uskladištiti ili iskoristiti radi uklanjanja bilo kakvog rizika po sigurnost i zaštitu okoliša. Postoje dva osnovna tipa baklji za bioplin: otvorene i zaklonjene baklje.

4.9. Skladišta digestata

Supstrat se iz fermentatora u intervalima ispumpava kao digestat i putem cjevovoda dovodi u spremišta za skladištenje digestata. Ukupan kapacitet skladišnog prostora digestata mora biti dovoljan za prihvat proizvedenog digestata od nekoliko mjeseci. Na taj način se osigurava učinkovito i optimalno korištenje digestata kao gnojiva u poljoprivredi i sprječava njegova upotreba tijekom zimskog perioda. Skladišni prostori mogu biti u obliku betonskih spremišta pokrivenim prirodnim ili umjetnim pokrovima ili plutajućim slojevima. Kod skladištenja digestata moguć je gubitak dijela metana i hranjivih tvari. U praksi se pokazalo da se do 20% ukupne proizvodnje bioplina događa izvan fermentatora. Zbog toga je preporučeno spremišta digestata pokrivati plinonepropusnom membranom radi sakupljanja bioplina koji se i dalje stvara u skladištima.

4.10. Kogeneracijsko postrojenje

U kogeneracijskim postrojenjima većina plinskih motora ima ograničenja s obzirom na sadržaj sumporovodika, halogenih ugljikohidrata i siloksana koji se nalaze u neobrađenom bioplinu. Izvode se najčešće kao termoelektrane blokovskog tipa sa motorima na izgaranje koji su povezani sa generatorom. Stupanj iskoristivosti modernih kogeneracijskih generatora je do 90%, pri čemu na proizvodnju električne energije otpada 35% a na toplinsku energiju 65%. Iskorištavanje proizvedene toplinske energije važan je parametar za energetsku i ekonomsku učinkovitost bioplinskog postrojenja. Proizvedena toplinska energija se djelomično koristi za grijanje digestora, a otprilike dvije trećine ukupne proizvedene toplinske energije može se iskoristiti za druge potrebe. Sva električna energija proizvedena iz bioplina prodaje se u mrežu zbog povlaštenih cijena za otkup

električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije, dok se utrošena energija kupuje iz mreže od distributera po nižoj cijeni.

4.11. Kontrolna jedinica

Bioplinsko postrojenje je kompleksan sustav u kojem postoji velika međuovisnost svih dijelova postrojenja. Zbog toga je potrebno imati dobru kontrolu i centralizirano promatranje pomoću računalnog sustava i ono je ključni dio u radu postrojenja i ukoliko je dobro vođeno jamči uspjeh i izbjegavanje kvarova. Bitno je pratiti i prepoznati odstupanja od standardnih vrijednosti i rano intervenirati primjenom korekcijskih mjera. Modernija postrojenja opremljena su računalnim sustavom koji na monitoru prikazuje cijelo postrojenje i vizualizaciju trenutnog procesa sa daljinskim sustavom za alarm. Na takvim centralnim upravljačkim jedinicama obavlja se nadzor i upravljanje parametara, kao što su: količina unosa tekućine, razina punjenja fermentatora, razina punjenja spremnika za plin, procesna temperatura, pH vrijednost, količina plina i sastav plina.

4.12. Sustav čišćenja bioplina (desumporizacija i sušenje)

Bioplin koji izlazi iz fermentatora zasićen je vodenim parama i osim metana i ugljikovog dioksida sadrži i različite količine sumporovodika. Sumporovodik je otrovan plin, neugodnog mirisa, koji u kombinaciji sa vodenom parom iz bioplina stvara sumpornu kiselinu. U procesu anaerobne digestije iz stajskog gnoja suhi bioplin ima prosječni udio sumporovodika od 1000 do 3000 ppm (*parts per million)*. Kada se koristi u plinskim motorima u kogeneraciji udio sumporovodika mora biti manji od 700 ppm za većinu motora kako bi se izbjegla visoka korozija i prebrzo trošenje ulja za podmazivanje koje ima visoku cijenu. Postoje dva načina desumporizacije: biološka i kemijska. Biološka metoda se najčešće koristi na način da se ubrizgavaju male količine zraka, 2-8 % u sirovi bioplin. Time sumporovodik biološki oksidira u slobodan sumpor u krutom obliku ili u sumpornu kiselinu u tekućem obliku. Kemijskom metodom se sprječava oslobađanje sumporovodika dodavanjem različitih kemijskih aditiva i lužina u supstrat ili dodavanjem željezne otopine u sirovinu. O temperaturi ovisi koliku će količinu vlage bioplin apsorbirati. Relativna vlaga proizvedenog bioplina u fermentatoru iznosi 100%, što znači da je plin zasićen vodenom parom. Vodenu paru je potrebno ukloniti iz bioplina kako bi se kogeneracijsko postrojenje zaštitilo od habanja i oštećenja. Dio vodene pare kondenzira se hlađenjem plina. Kondenziranje započinje čim plin napusti fermentator i to u plinovodima koji transportiraju plin iz fermentatora u jedinicu za kogeneraciju. Voda se kondenzira na stjenkama cijevi, zbog čega se one postavljaju pod određenim kutom kako bi se kondenzat mogao sakupiti u separatoru na najnižoj točki cjevovoda.

5. Zaključak

Pošto se rezerve fosilnih goriva smanjuju a potrošnja je u porastu, u svijetu se uz ekološku osviještenost sve više razvijaju tehnologije za iskorištavanje alternativnih izvora energije. Ta alternativa su obnovljivi izvori energije u što spada i proizvodnja bioplina i njegovo

iskorištavanje za proizvodnju električne energije. Proizvodnja bioplina u bioplinskom postrojenju odvija se u fermentatoru, zrako-nepropusnom reaktoru. Biokemijski proces u kojem se razgrađuju organske tvari uz djelovanje različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima, bez prisutnosti zraka, naziva se anaerobna digestija. Produkt AD procesa su dva glavna proizvoda: bioplin i digestat. Dobiveni bioplin je mješavina plinova i prosječno u omjeru sadrži: 60% metana (CH_4), 35% ugljičnog dioksida (CO_2) te 5% smjese ostalih plinova, vodika (H_2), dušika (N_2), kisika (O_2) i sumporovodika (H_2S). Proces AD u nastanku bioplina iz supstrata prolazi kroz četiri faze: hidrolizu, acidogenezu, acetogenezu i metanogenezu. U cijelom procesu od niza parametara najvažnija je temperatura procesa. Ona uvelike utječe na kvalitetu i brzinu procesa, odabire se prema vrsti supstrata i održava se konstantnom. Što je temperatura AD procesa viša, trajanje procesa je kraće, učinkovitije je uništenje patogena, viša je stopa rasta poželjnih bakterija, poboljšana razgradnja i bolja iskoristivost. Budućnost proizvodnje bioplina osigurana je poticajima, zakonskim legislativama i sve većom ekološkom osviještenošću koje sveukupno daju poticaj investitorima za daljnja ulaganja te inženjerima za daljnje unaprjeđivanje i razvoj kako bi se osigurala bolja ekonomska isplativost. Iskorištavanje bioplina kao energenta ima veliki potencijal kako bi jednog dana predstavljao zamjenu za fosilna goriva kojih je sve manje.

6. Literatura

[1] http://www.eurobserv-er.org/pdf/baro200b.pdf pristupljeno 03.01.2013.
[2]http://www.biogasin.org/files/pdf/hr_interaktivni/2_Razvoj%20trzista%20bioplina%20u%20EU%20i%20potencijali%20u%20RH.pdf pristupljeno 03.01.2013.
[3]http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Big_east_obuka/4_Hecht_Anaerobna_digestija.pdf pristupljeno 03.01.2013.
[4]http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Big_east_obuka/6_FITEC_Komponente_bioplinskog_postrojenja.pdf pristupljeno 05.01.2013.
[5]http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Big_east_obuka/5_FITEC_Koristenje_bioplina.pdf pristupljeno 05.01.2013.
[6] http://www.eihp.hr/hrvatski/pdf/Prirucnik_za_bioplin_w.pdf pristupljeno 06.01.2013. pristupljeno 06.01.2013.
[7] Slike bioplinskog postrojenje Landia-Gradina Tordinci
[8]https://shop.ksb.com/ims_docs/E5/E5EDE54D3C37556CE1000000CEA40CB4.pdf pristupljeno 08.03.2013.

Razvoj i značaj sustava odvodnje osječkog kraja
Development and the importance of the drainage system of the Osijek region

S. Maričić

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

Autor za korespodenciju. E-Mail: smaricic@gfos.hr

Sažetak
Sustavi odvodnje okosnica su suvremenog Osijeka i njegove okolice. Brojne zarazne bolesti i njihove epidemije prevladane su uspostavom i razvojem sustava odvodnje. Dva su osnovna i različita tipa hidrotehničkih sustava odvodnje – sustav melioracijske odvodnje i kanalizacijski sustav. U radu se razmatraju nastanak i daljnja dogradnja ovih sustava osječkog kraja. Ukazuje se na dugogodišnja iskustava, ratna stradavanja i današnje stanje. Zaključno se ukazuje na značaj ovih sustava na sveukupno društveno-privredno stanje. Razumijevanje razvoja neophodan je temelj dobrog sagledavanja budućnosti.

Abstract
Drainage systems are the backbone of modern city of Osijek and its surroundings. A number of infectious diseases and their epidemics are overcome with the establishment and development of the drainage system. There are two main different types of hydraulic and drainage system - a melioration drainage system and sewerage system. This paper discusses the beginning and further upgrade of these systems in Osijek region and points to a long-standing experience, the influence of the hardships of war and the present condition. In conclusion, the paper points to the importance of these systems to the overall socio-economic situation. Understanding of the development is the essential foundation of a good future consideration.

Ključne riječi: hidrotehnički sustavi odvodnje, melioracijski odvodni sustav, kanalizacijski sustav, Osijek

1. Opće povijesne i zemljopisne odrednice osječkog kraja

Područje današnje okolice grada Osijeka bilo je nastanjeno još u vrijeme neolita (oko 4-5 tisuća godina prije Krista). Najstariji poznati narod bili su Iliri. U 4. stoljeću prije Krista prodiru Kelti koji ovdje podižu naselje Mursu i neka druga naselja. Nakon osvajanja Panonije u I. stoljeću Rimljani grade utvrde, ceste i mostove, a na mjestu keltskog naselja podižu moćnu rimsku utvrdu i grad Mursu te ovo područje stječe status rimske kolonije. [1] Tijekom perioda velikih seoba naroda barbarska plemena uništavaju rimske naseobine. Smjenjuju se Goti, Huni, Gepidi, Langobardi, Avari, Franaci i Bugari. Početkom VII.

stoljeća ovdje se naseljavaju Hrvati. Ovo područje postaje dio samostalne hrvatske države u 9. stoljeću, kojom vladaju hrvatski kraljevi sve do XII. Stoljeća kada Hrvati prihvaćaju mađarskog kralja Kolomana za suverena zajedničke hrvatsko-ugarske države.
Ovdašnjim prometnicama kretali su se križarske postrojbe i mnogi hodočasnici prema Jeruzalemu. U srednjem vijeku ovo je područje u vlasništvu moćnih plemićkih obitelji. Zbog sklanjanja od krivovjernika i Turaka Đakovo u to doba postaje sjedište biskupa iz Bosne.
Turska je vojska, 1526. godine, predvođena sultanom Sulejmanom, osvojila Osijek, a potom zavladala i cijelim okolnim područjem. Zahvaljući važnim prometnim pravcima koji povezuju sjever i jug kontinenta, u XVII. stoljeću značajno se razvija trgovina. 1687. godine austrijska vojska protjeruje Turke iz Osijeka i iz cijelog ovog područja.
Od 18. stoljeća, u sklopu Austrije pa potom Austro-ugarske države ovi krajevi se intenzivno gospodarski i društveno razvijaju. Izraženo je to velikim poljoprivrednim posjedima, jačanjem obrta, podizanjem tvornica, urbanim razvitkom naselja, nastankom prvih kulturnih i obrazovnih institucija, jačanjem lokalne samouprave (gradova i županija). Tada nastaju gradovi i danas prepoznatljivog urbanog i arhitektonskog obličja.
Nakon I. svjetskog rata i raspada Austro-ugarske monarhije, 1918. godine, ovo područje se ujedinjuje u Državu Srba, Hrvata i Slovenaca (od 1929. godine Kraljevina Jugoslavija). Poslije II. svjetskog rata, od 1945. do 1991. godine, osječki kraj je u okviru Hrvatske bilo u sastavu tzv. Nove Jugoslavije. Osamostaljenjem Republike Hrvatske i raspadom Jugoslavije, 1991. godine, istočni dio države prvi je na udaru agresije srpskih paravojnih snaga i Jugoslavenske armije. U to vrijeme pa sve do 1998. godine gotovo polovina ovog područja nije pod vlašću hrvatske države. Dijelovi koje su zauzele srpske snage Ujedinjeni narodi, 1992. godine, stavljaju pod svoj patronat. Proces mirne reintegracije u ustavno pravni-poredak Republike Hrvatske dovršen je početkom 1998. godine.
Burna povijest ostavila je iza sebe bogatu povijesnu kulturno-gospodarsku baštinu. Predmet ovog rada su hidrotehnički sustavi odvodnje. Potreba i način rješavanja odvodnje na ovim prostorima evidentni su iz nalaza rimskog doba. Novi veći zamah uočljiv je od XVIII. stoljeća i na tim osnovama nastali su današnji odvodni sustavi. Osnovne grupe čine sustavi melioracijske odvodnje i sustavi odvodnje otpadne vode, tzv. kanalizacijski sustavi, koji se nadalje analiziraju.
Osječki kraj je kontinentalni dio Republike Hrvatske na njenom sjeveroistoku. Zauzima površinu od preko 4.000 km^2 na plodnom tlu najnižeg rubnog dijela Panonske nizine između rijeka Save, Drave i Dunava. Područje je pretežito ravničarsko te pogoduje poljoprivrednoj proizvodnji i to je najjkvalitetniji dio hrvatske žitnice. Poljoprivredne površine čine blizu 60%, a šume 20%. ovih prostora. Poljoprivredna proizvodnja najviše ovisi o uvjetima vlažnosti, a minula poplavna opasnost te prošlogodišnja suša, u vremenu velikih klimatskih promjena, opominju i ukazuju na to. Iz tih razloga regionalna uprava potiče i razvija prije svega projekte rekonstrukcije i uređenja kanalske mreže.
Ne tako davno u osječko-baranjskoj regiji je bilo puno močvarnih površina, a danas je kao prirodna vrijednost zaštićen takav preostali prostor - Kopački rit. Zamočvarenost nije odgovarala razvoju poljoprivredne proizvodnje i stočarstvu, a pogodovala je izazivanju i širenju mnogih zaraznih bolesti. Zbog toga je došlo do društvenog organiziranja za potrebe

provođenja mjera i radova zaštite od voda i odvodnjavanja. Vremenom su se osmislili, izgradili i razvijali primjereni hidrotehnički sustavi.

2. Potreba i nastanak sustavne odvodnje osječke regije

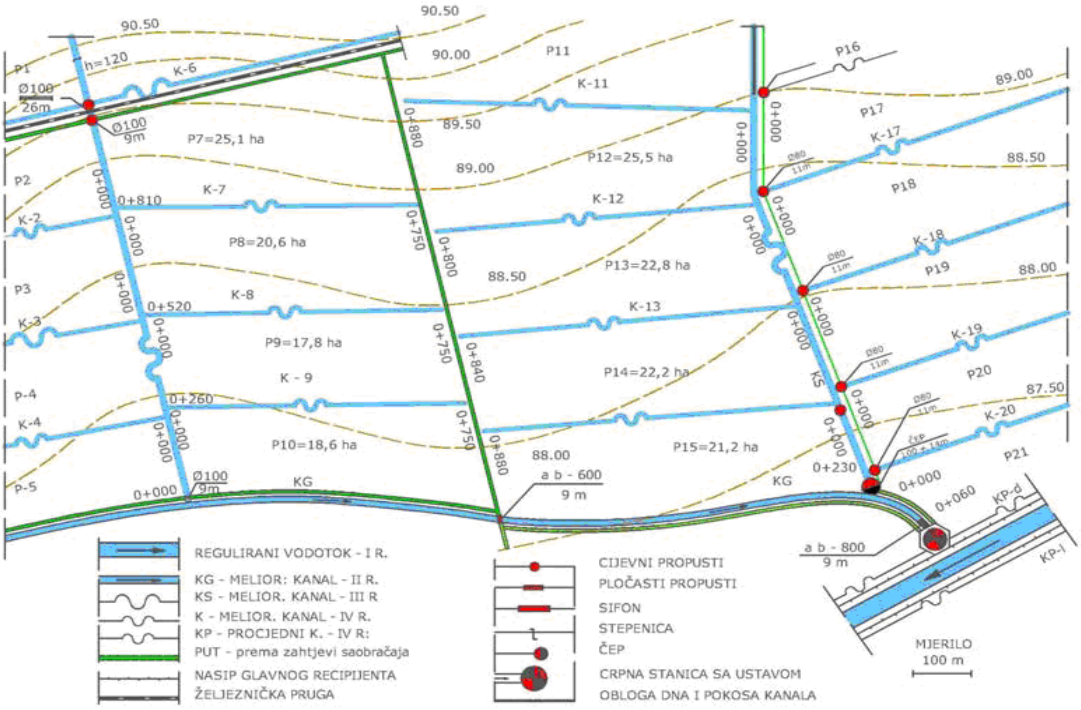
2.1. Meloracijska odvodnja

Na području Hrvatske organizirano gospodarenje vodama, utemeljeno na uređenom vodnom pravu, uspostavlja se godine 1876. baš u Osijeku (tadašnja Kraljevina Hrvatske i Slavonije u sastavu Austro-Ugarske Monarhije) osnivanjem Društva za regulaciju rijeke Vuke s biskupom Strossmayerom na čelu. Hrvatski sabor kao najviše zakonodavno tijelo tadašnje Kraljevine Hrvatske i Slavonije donio je godine 1891. Zakon o vodnom pravu koji je cjelovito uredio područje voda, od pravnoga statusa do određavanja vodnog sustava. [2]
Problemi s vodom su se pokušavali rješiti i prije, ali pristupalo im se sporadično i parcijalno. Primjerice, prvi veći obrambeni nasip za zaštitu od poplava u Baranji podigao je grof Veternay 1720. godine kod sela Draž.
Život na ovom slavonsko-baranjskom području bio je, zbog prostranih močvara, legla komaraca i drugih insekata, izložen širenju zaraznih i smrtonosnih bolesti – malarije, kolere, trbušnog tifusa i drugih. To je zapazio i Friedrich Wilhelm von Taube, carsko-kraljevski viši vladin savjetnik. On je boravio u osječkom kraju kako bi izvijestio najviše austrijske instance o prilikama na slavonsko-srijemskom području nakon odlaska Turaka Osmanlija. Opisao ga je u djelu objavljenom 1776. kao kraj prepun „baruština bez dna, močvara obraslih barskim biljkama i močvarnim šumama, mrtvim blatom.“ Tu su se javljale razne groznice i bolesti od kojih je smrtno stradavao veći broj doseljenika, nenaviknutih na takovu klimu, pa Taube naziva Osijek „grobljima Nijemaca“, koji su se u desetljeću nakon slamanja osmanske vlasti naseljavali na ovim područjima. [3]
Sve do prošlog stoljeća najveći dio plodne nizine oko Osijeka bio je zamočvaren. Nakon kiša i snježnog vremena polja, pašnjaci i ceste dugo su bile pod vodom, što je onemogućavalo sve gospodarske aktivnosti. Korita rijeka i potoka, kao i kanali nastali još u rimsko doba ostali su puno stoljeća zapostavljani. Tako su nastali mnogi močvarni krajevi poput Palače (slika 1) i Kolođvara, u veličini više od 13.000 hektara. [4]
Plavljenje Drave i Dunava intenzivno se rješava više od jednog stoljeća pa je u međuvremenu meliorirano približno 60.000 ha zemljišta, izgrađeno 135 km nasipa, 1056 km kanala, a radi lakše plovidbe presječeni su i brojni meandri Dunava i Drave. U cilju zaštite preostalog značajnog močvarnog područja, Kopačkog rita, 1967. godine ono je proglašeno prirodnim rezervatom. Park prirode Kopački rit prostire na površini od 17.770 ha. To područje svake godine redovito plave velike vode Dunava i Drave. Ovisno o razini vodostaja pod vodom je obično 5-10 tisuća hektara godišnje, često i više od tri mjeseca. Kod pojave vrlo visokih vodostaja pod vodom je gotovo cijeli Park. Nekad se slično događalo i u znatno široj zoni.

Slika 1. Izgled bare „Palače“ u periodu od 1829. – 1871.

Postupnim naseljavanjem i intenziviranjem iskorištavanja zemljišta na poplavnim područjima tijekom posljednjih dvjestotinjak godina rasle su potrebe za učinkovitom zaštitom od poplava, te zaštitom od erozije i melioracijskom odvodnjom kao njezinim sastavnim komponentama. Značajni regulacijski, zaštitni i melioracijski radovi na nekim su područjima započeli još u XIX. stoljeću, a osobito su bili intenzivni tijekom razdoblja od početka šezdesetih do kraja osamdesetih godina XX. stoljeća, čime su bitno smanjene moguće štete od poplava i znatno povećani prinosi poljoprivredne proizvodnje. [5]
Osobina ovog kraja je da se obradive površine zaštićuju obrambenim nasipima od plavljenja vanjskim vodama Drave i Dunava, dok se odvodnja unutarnjih voda s melioriranog područja obavlja kanalskom mrežom i crpnim stanicama (slika 2). Vanjske vode su one koje dotječu s nekog vanjskog (šireg) prostora, a po svom podrijetlu rauzlikuju se poplavne vode (iz glavnih vodotoka), i slivne vanjske vode (s viših dijelova sliva). [6]
Temeljna zadaća hidromelioracijskog sustava odvodnje je da određenu količinu suvišnih voda uspješno odvede s proizvodnih poljoprivrednih površina u određenom (tolerantnom) vremenu. Osiguranje mehanizma pravovremenog otjecanja (evakuacije, oplavi) sakupljenih suvišnih voda s određenog melioracijskog područja, preduvjet je za uspješnu funkcionalnost svakog hidromelioracijskog sustava odvodnje. Moguća su tri mehanizma, tj. razlikuju se tri vrste oplavi: prirodna, umjetna i mješovita. Pod prirodnom oplavi podrazumijeva se prirodno, gravitacijsko otjecanje sakupljenih suvišnih voda s nekog područja, u pravcu vodoprijemnika (recipijenta). Temeljni uvjet za to je da razina vode u recipijentu mora biti niža od razine vode u glavnom odvodnom, umjetnom ili prirodnom, vodotoku. U velikim dolinama naših rijeka (Dunava, Save, Drave, a i drugih) navedeni uvjet često izostaje pa je nužno odvođenje sakupljene suvišne vode s melioracijskih cjelina putem umjetne oplavi. Kod umjetne ili mehaničke oplavi, dakle kada je razina vode u recipijentu područja geodetski viša od razine vode u glavnom odvodnom vodotoku

melioracijskog područja, evakuacija suvišnih voda moguća je jedino umjetnim, mehaničkim načinom u obliku njihovog dizanja pomoću crpnih stanica. Mješovita oplav je kombinacija prirodne i umjetne oplavi. [6]



Slika 2: Elementi sustava površinske odvodnje (Marušić, 1985., [7])

Kod melioracijske odvodnje crpna stanica (i ustava) je građevina koja se izvodi uz nasip na najnižem dijelu odvodnjavane površine, odnosno na nizvodnom kraju glavnog odvodnog kanala. Namijenjena je održavanju prihvatljive razine vode u branjenom melioracijskom području, podizanjem unutarnjih voda na višu razinu vode u vodoprijemniku, u vrijeme kad nije moguća gravitacijska odvodnja. Dimenzioniranje crpnih stanica vrši se na temelju mjerodavnih hidromodula (q; l/s/ha, l/s/km^2) izračunom količine vode koja se može očekivati u jedinici vremena s određene površine sliva. Ekonomski se nije pokazalo opravdanim ako se crpni agregati dimenzioniraju na maksimalni protok, odnosno na vršni dio hidrograma unutarnjih voda. [8]

U okolici Osjeka odvodnja se nametala zbog uvjeta života na tom području koji, zbog njenog močvarna tla i gotovo stalnih poplava, nisu dopuštali razmah sve potrebnije ratarske djelatnosti i njezine tržišne usmjerenosti. Transformacija prirodnog okoliša, stvaranje plodnog tla i uvjeta njegovog privrednog korištenja te zdraviji uvjeti življenja u osječkom kraju u prošlim stoljećima rezultat su ljudskog djelovanja kroz dugogodišnja hidrotehnička reguliranja rijeka (Drave, Dunava, Vuke, Vučice, Karašice i drugih) te hidromelioracije (isušivanja) prostranih močvarnih područja. [3]

2.1. Kanalizacijska odvodnja

Vezano uz razmatrani kraj, interesantno je da je od druge polovice 18. stoljeća tadašnji Osijek, tj. Tvrđa, bio prvi grad u Kraljevini Hrvatskoj i Slavoniji koji ima vodovod i kanalizaciju. Međutim, cjelovit sustav vodoopskrbe i u ostalim dijelovima Osijeka (Gornji

grad, Donji grad, Novi grad, a odnedavno i prigradska naselja) nastajao je postupno tijekom posljednja dva stoljeća. Razvojni put opskrbe Osječana zdravom i pitkom vodom te kanalizacijske odvonje niije bio jednostavan i tekao je mukotrpno do 80-ih godina prošlog stoljeća. Nadalje se širenjem urbanizacije širila i mreža vodovoda i kanalizacije.

Stoljećima unazad pa i u predprošlom, 19. stoljeću, uvjeti života u Osijeku i okolnom kraju gotovo nisu bili bitno mijenjani. U gradu uz Dravu to se izravno očitovalo u opskrbi vodom za raznovrsne ljudske potrebe. Naime, u zdravstvenom pogledu, pravi problem bili su gradski bunari, koji su zbog neposredne blizine zahodskih jama i uličnih jaraka bili i stalni izvor zaraza. Zato su stanovnici grada uz Dravu, a i okolnih naselja, plaćali danak u vidu velikih epidemija koje su tada često harale ovim prostorom. [9, 10]

Tvrđa je od 1779. godine imala „pravu opću kanalizaciju" koju je činio 140 cm visok kanal od opeke i cementne žbuke prema kojem su bili usmjereni pokrajnji kanali iz svih tvrđavskih ulica, a vodio je izravno u Dravu. Po tom uzoru gradsko je poglavarstvo od druge polovice 19. stoljeća provodilo izgradnju glavnih sabirnih kanala u Gornjem gradu, a potom i u Donjem gradu. Bila je to mjera zaštite građanstva od brojnih zaraza, koja je pridonijela svrstavanju Osijeka u moderne gradove Austro-Ugarske Monarhije. Na prijelazu u 20. stoljeće, u nedostatku vlastitog novca, gradsko poglavarstvo je podržavalo privatnu inicijativu i zainteresiranima je osiguravalo materijal za izvedbi priključenja na gradski kanalizacijski sustav. [11, 12]

Tijekom godina od 1909. raspravljalo se i provedena je priprema izgradnje jedinstvene gradske kanalizacije, a gradnja joj je trajala gotovo dvije godine (1912-1914.). Novi kanali građeni su od betona, strane i dno protočnog profila kanala osigurani su od štetnog taloga, a zasvođenja tjemena kanala ožbukani su cementnom žbukom. Tada novi sabirni kanal današnji je Sjeverni kolektor, a trasa u smjeru zapad – istok prolazila je sjevernim pojasom grada sve do samoga kraja Donjega grada gdje je bilo ušće sabrinog kanala u Dravu. Sustav je prikupljao i odvodio kućnu (sanitarnu) i industrijsku otpadnu vodu, ali skupa sa gravitirajućom oborinskom površinskom vodom. Dakle, radilo se o mješovitom sustavu koji je za rasterećenje obimnijih količina oborinama i razrijeđenih otpadnih voda imao izvedene građevine, tzv. kišne preljeve, raspoređene duž trase glavnog kolektora. Prikupljenu onečišćenu vodu ispuštao je nizvodno od grada prepuštajući je prirodnom pročišćavanju u uvjetima rijeke Drave. [11, 12]

Razvojem grada on postaje sve duži i gušći što se odražava i na kanalizacijski sustav od kojeg se zahtijeva da prihvati sve više priključaka, da mu je mreža kanala razgranatija, a tako i duljina odvodnje sve veća. Godine 1969. počinje gradnja Južnog kolektora i tada je isplaniran kanalizacijski sustav kao cjelina koja cjelokupnu otpadnu vodu sa područja grada Osijeka i okolice prikuplja i odvodi do jednog ispusnog mjesta u nizvodnom naselju Nemetin. Kako bi se u kanalizacijskim cjevovodima omogućilo gravitacijsko otjecanje otpadne vode oni moraju imati određeni (minimalni) uzdužni pad. Tako, većom dužinom cjevovoda oni traže sve veće ukopavanje s kojim se ide do granice ekonomičnosti. Ravan teren Osijeka ne omogućuje samo gravitacijsku odvodnju već se, početkom sedamdesetih godina, javlja i potreba za denivelacijom i mehaničkim dizanjem vode na višu razinu, tj. izgradnjom crpnih stanica u kanalizacijskoj mreži.

Na krajnjoj lokaciji osječkog sustava je predviđena izgradnja Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Kod ispuštanja kanalizacijske vode u recipijent rijeku Dravu trebalo je riješiti problem sigurne odvodnje prilikom velikih voda rijeke. Zbog takvih uvjeta predviđa se gradnja ustave i crpne stanice u okviru ispusne građevine. Indikativno je da je u razdoblju od 1971. do 1977. izgrađeno 70 km nove kanalizacijske mreže i 9.000 novih kanalizacijskih priključaka. Uvođenjem kanalizacijske odvodnje u rubnim dijelovima grada i prigradskim naseljima te njihovim pripajanjem u jedinstvenu gradsku kanalizaciju formirani su i dijelovi sa tzv. razdjelnim sustavom odvodnje. Oni se sastoje od odvojenih mreža provodnika, jedne za komunalne i industrijske otpadne vode te druge za oborinske vode. Ovisno o uvjetima na terenu ta odvojenost ne mora biti potpuna već se radi o nepotpunim i polurazdjelnim varijantama. Tako je širenjem grada osječka kanalizacija postala kombinirani sustav odvodnje otpadnih voda. Godine 1988. izgrađen je Spojni kolektor koji povezuje Južni i Sjeverni kolektor. Ispusna građevina završena je 1997. godine. Tek 2006. dovršena je izgradnja Južnog kolektora (investicija blizu 30 milijuna eura).

3. Aktualno stanje i razvoj sustava odvodnje osječkog kraja

3.1. Meloracijska odvodnja

Jedno uravnoteženo stanje, dostatnih sustava zaštite od poplava i melioracijske odvodnje te primjerene poljoprivredne proizvodnje, narušeno je ekonomskom krizom krajem osamdesetih i ratom koji je uslijedio na ovim prostorima. Ratna događanja u Hrvatskoj početkom devedesetih godina nanijela su goleme štete izgrađenim sustavima i uglavnom su zaustavila njihov daljnji razvoj, čemu su pripomogli i procesi gospodarskog preustroja. Posebno je stradalo područje oko Osijeka, a naručito Baranja jer je bila okupirana, nešto direktnim stradavanjem, a nešto neodržavanjem objekata sustava. Zapuštena je kanalska mreža, stradali su pojedini objekti, a napuštene crpne stanice proživjele su razne devastacije. Problem miniranosti terena od tada je stalna dodatna otegotna okolnost.

U osječkom kraju je oko trećina hrvatskih crpnih stanica (do 1990. godine u Hrvatskoj izgrađeno ukupno 82 crpne stanice za potrebe melioracijske odvodnje). Petnaestak stanica je u užem, a 23 u širem okruženju. Najmanja stanica je kapaciteta 0,3 m^3/s dok je najveća u blizini (CS Paulin Dvor) 20,0 m^3/s, a nešto dalje (CS Bosut) 30,0 m^3/s. [8, 13]

Obnova dijelova sustava realizirana je u okviru Projekta obnove istočne Slavonije, Baranje i zapadnog Srijema (zajamom Svjetske banke). Realizacija je bila od 1999. do kraja 2004. godine. Obuhvaćeno je malo više od polovice površina uglavnom slivova Baranje i rijeke Vuke (155.000 ha). Aktivnosti su primarno usmjerene na zaštitu od poplava vanjskih voda i odvodnju unutarnjih voda mrežom kanala I. i II. reda te crpnim stanicama. Tako je na ovom području rekonstruirano 114 km nasipa, oko 630 km kanala glavne mreže te 14 crpnih stanica. Projektom su realizirani i dvije dravske obaloutvrde, uređaji za pročišćavanje otpadnih voda sa uređenjem kanalizacijske mreže Vinkovaca, Belog Manastira i Nuštra, razminiranje površina oko objekata i aktivnosti unaprijeđenja rada Parka prirode „Kopački rit“. Ukupna vrijednost projekta je bila preko 65 milijuna eura, a od toga su sredstava Zajma 37,8 milijuna eura. [14]

U Baranji je obnovljeno 8 crpnih stanica, a u istočnoj Slavoniji 6. Iako su neke stanice znatno starije od sto godina (Zlatna Greda je iz 1898.), za većinu njih ustanovljeno je da se odgovarajućom revitalizacijom može postići zahtijevani stupanj pouzdanosti rada crpne stanice i produžiti vijek eksploatacije za daljih 30 do 40 godina. Potpuno su rekonstruirane one koje su bile toliko zapuštene i devastirane da obnova postojeće strojarske opreme nije bila niti tehnički niti financijski opravdana. Tom prilikom modernizirana su sva električna postrojenja i sustavi pojedinih crpnih stanica. [15]

Predviđeno je dostizanje funkcionalnosti sustava zaštite od poplava na vodama I. i II. reda do razine od oko 87% do kraja 2023. godine i do 100% do kraja 2038. godine (postojeće stanje je oko 75% funkcionalnosti). Do cilja se ide postupnom provedbom sanacijskih i rekonstrukcijskih radova, te realizacijom razvojnih projekata. Polovica predviđenih radova obavit će se do 2023. godine, a polovica u narednom razdoblju do 2038. godine. Prosjećna godišnja ulaganja u sanacije, rekonstrukcije i razvoj zaštitnih sustava tijekom narednih desetljeća procijenjena su na oko 50 milijuna eura. Za redovita gospodarska i tehnička održavanja postojećih zaštitnih sustava treba ulagati ukupno preko 120 milijuna eura godišnje. [2]

Održavanje hidromelioracijskih sustava površinske odvodnje je vrlo zahtjevno. Tako npr. otvoreni kanali III. i IV. reda (detaljna mreža) zahtijevaju redovitu košnju, koju treba obavljati kontinuirano svake godine. Izmuljivanje i čišćenje dna kanala, trebalo bi obavljati minimalno svakih 3 do 4 godine. U protivnom, u kanalima dolazi do intenzivnog rasta, u početku raznih vrsta hidrofilnog zeljastog bilja (šaševi), a potom i drvenastih hidrofila (vrba, joha, topola). Za dovođenje detaljne kanalske mreže u funkcionalno stanje treba uložiti skoro 200 milijuna eura, a detaljna mreža je od 2009. u nadležnosti korisnika i Županija.

3.1. Kenalizacijska odvodnja

Uz sve strahote posljednjeg ratnog stanja osječki sustav je sve vrijeme bio pod kontrolom i u pogonu. Sanirane su ratne štete, a uz preustroj nadležnog poduzeća sustav se prilagođavao novonastalim privrednim i urbanističkim promjenama. Današnji sustav odvodnje grada Osijeka, odnosno aglomeracije Osijek prostire se i na prigradska i okolna naselja. Nešto je još u izvedbi, nešto treba pripojiti, a rade se i rekonstrukcije pojedinih razvojem prevaziđenih kolektora.

Osnovu trenutnog sustava čine Južni (12746 m) i Sjeverni (6633 m) te Spojni (3200 m) i Industrijski (930 m) glavni kolektori, koji se protežu u pravcu istok-zapad i prikupljaju više kolektora smještenih u pravcu sjever-jug. Mrežom kolektora (330 km) odvodi se otpadna voda do ispusne građevine Nemetin gdje se vrši pročišćavanje samo grubom rešetkom (30 mm). Sve otpadne vode ovog sustava ispuštaju se u recipijent rijeku Dravu. Lokacija Nemetin predviđena ja za izgradnju Uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kapacitete 170.000 ES. Projekt i građevinska dozvola su ishođeni te aplicirani prema predpristupnim fondovima EU. Početak gradnje je predviđen za kraj 2013 godine.

Osječki kraj je ravničarski pa se širenjem mreže potreban tehnički pad kanalizacije može ostvariti samo denivelacijom i mehaničkim dizanjem. U sustavu je, do prije koju godinu, bilo u funkciji 72 crpne stanice, od kojih je rad 52 potpuno automatiziran preko Nadzorno

upravljačkog sustava (NUS) SCADA. Većina njih su priključci manjih urbanih sredina, mali dio su poveznice udaljenijih cjelina, a posebne su crpne stanice koje omogućuju odvodnju kod viših vodostaja recipijenta Drave. U prošlom stoljeću (njegovih dvadesetak zadnjih godina) osječka kanalizacija je imala 15 crpnih stanica, a preko 20 je izgrađeno samo zadnjih nekoliko godina. [13]

Za osječku regiju može se konstatirati da je zaostajala u komunalnoj infrastrukturi prema drugim regijama. Na razini države, prema podatcima iz 2006. godine (popis 2001.), priključenost stanovništva na vodoopskrbne sustave je 77%, dok je na kanalizacijske sustave 43%, a priključenost stanovništva na uređaje za pročišćavanje otpadnih voda je tek 28%. U hrvatskom dijelu sliva Drave i Dunava priključenost stanovništva na kanalizaciju je 28%, a samo 12% stanovništva je na sustavu sa pročišćavnjem. [2]

Iskorak u poboljšanju životnih uvjeta, posebno manjih naselja u osječkoj regiji, desio se nedavnim velikim projektom „Unutarnje vode“. Ovaj projekt imao je za cilj razvoj sustava zaštite od poplava, javne vodoopskrbe, te odvodnje i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda na vodnim područjima Save, Drave i Dunava, a sufinanciran je sredstvima Svjetske banke. Od njegove najave 2005. te odobravanja i potpisivanja ugovora 2007. došlo je do realizacije tijekom posljednjih pet godina. Koirišten je zajam Međunarodne banke za obnovu i razvoj od 100 milijuna eura uz sufinanciranje Hrvatsih voda (5 milijuna eura). [15]

Ovdje se posebno ističu neki dijelovi projekta „Unutarnje vode“ - razvoj sustava odvodnje i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda u Južnoj Baranji, Našicama, Vukovaru, Iloku, Ivankovu, Cerni, Otoku i Komletincima. U južnoj Baranji (Darda i Bilje), u kojoj nije bilo nikakve komunalne odvodnje, nakon gradnje odvodnog sustava (vrijednog skoro 4,2 milijuna eura) moguća je i 80%-tna priključenost stanovništva. Izgrađeno je 25 km kolektorske mreže (13,2 km na području Bilja te 11,8 km na području Darde) sa pripadajućim objektima (5 crpnih stanica i to 4 na području Bilja, a jedna na području Darde). U Vukovaru je povećan opseg kanalizacijskog sustava, u Iloku je izgrađen uređaj za pročišćavanje otpadnih voda, a Ivankovo i Otok zajedno s Komletincima i Cernom su negdje proširili, a negdje novoizgradili kanalizacijski sustav te izgradili posebne uređaje za pročišćavanje. Vrijednost radova u Vukovaru iznosila je 7.1 milijun eura. Obuhvaćena je gradnja glavnog kolektora za općinu Borovo i grad Vukovar u dužini od 6,3 km sa svim pripadajućim sadržajima (4 crpne stanice i 3 retencijska bazena) do buduće lokacije uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, ali i 5 km sekundarne kolektorske mreže. Tako će se priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu sa 65 moći povećati na 70 posto. Gradnja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (8000 ES) grada Iloka vrijedna je 2.65 milijuna eura. Na širem području Vinkovaca Projektom su obuhvaćeni radovi u iznosu od 9,8 milijuna eura. Dužina je svih kanalizacijskih kolektora 22 km, a predviđena je i gradnja 4 crpne stanice, retencijskog bazena te 3 uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (Otok 8000, Cerna 6000 i Ivankovo s Komletincima 8500 ES). Tako priključenost stanovništva na kanalizacijsku mrežu u Otoku omogućuje povećanje sa 30 na 80 posto, a u Cerni i Ivankovu, gdje dosad nije bilo kanalizacije, na 60 odnosno 70 posto. [15, 16]

Razvojno mijenjanje objekata sustava prate i promjene nadležnog poduzeća. Na održavanju dosadašnjeg osječkog sustava u PJ Kanalizacija uposleno je oko 60 djelatnika.

Vodovod-Osijek, PJ Kanalizacija ima i vlastiti ovlašteni laboratorij za ispitivanje otpadih voda, a trenutno je u izgradnji nova zgrada laboratorija. Važnost redovitog i kvalitetnog održavanja kanalizacijskog sustava leži u higijenskim i zdravstvenim razlozima, a bogato stručno iskustvo Osijeka stečeno dugogodišnjim radom ulijeva vjeru u budućnost.

4. Zaključak

Odvodni sustavi osječke regije imaju dugu tradiciju. Upravo ovdje su nastali začetci današnjeg organiziranog gospodarenja vodama na državnoj razini.

Život je na ovom, vodom bogatom, području, zbog nekadašnjih prostranih močvarnih legla insekata, bio izložen širenju raznih bolesti. U barskim uvjetima množili su se razni nametnici i bakterije koji su ugrožavali životinje, ali i ljude. Rasprostranjen je bio metilj, a probleme je radilo i tzv. „kokošje sljepilo“. Među ljudima su se širili malarija, kolera, trbušni tifus i druge bolesti. Odvodnja se nametala i zbog drugih uvjeta života na tom području. Prisutna močvarnost tla i česte poplave nisu dopuštali razmah sve potrebnije ratarske djelatnosti i njezine tržišne usmjerenosti.

Vremenom (tijekom posljednjih par stotina godina), u osječkom kraju je došlo do transformacija prirodnog okoliša, stvaranja plodnog tla i njegove privredne iskorištenosti te zdravijih uvjeta življenja. Rezultat je to ljudskog dugogodišnjeg djelovanja kroz hidrotehničke regulacije rijeka (Drave, Vuke, Vučice, Karašice i drugih) te hidromelioracije (isušivanja) prostranih močvarnih područja. Povijesno je očevidno da je suočavanje ovdašnjega čovjeka s problemima, ponajprije s nevoljama i opasnostima koje zadaju nesavladane vode, bilo, po prirodi, složeno i, po potrebama, zahtjevno, a, po sredstvima koje je trebalo u tu svrhu uložiti, oskudno. Problematika voda ovdašnjega dijela dunavsko-dravskoga sliva zahtijevala je jasnoću ciljeva, cjelovitost pothvata i usredotočena sredstva te to treba zapamtiti za budućnost.

Tijekom vremena, a ovisno o političkim, društevnim i gospodarskim prilikama, mijenjali su se sadržaj i način vodnogospodarskog djelovanja. Prvotno je ovdje prevladavala zaštita od velikih voda i uređenje režima voda na poljoprivredno vrijednim površinama. Slijedilo je intenzivnije angažiranje na korištenju voda i vodnih snaga (vodozahvati, plovidba, vodenice, ribnjačarstvo). Urbanizacijom i razvojem industrije na značenju dobivaju komunalne vodne usluge (javna vodoopskrba i kanalizacija) i zaštita kakvoće voda. Današnje je vodno gospodarstvo ustrojeno na državnoj razini i od javnoga je značenja. Vodnokomunalno gospodarstvo djeluje na lokalnoj, odnosno regionalnoj razini, na poslovima javne vodoopskrbe, odvodnje i proćišćavanja otpadnih voda. Općenito, vodni sektor je značajan pokretač gospodarstva, osobito kroz pripremu, izgradnju, opremanje, održavanje i pogon vodnih građevina i sustava, što znatno pridonosi ukupnom društveno - ekonomskom razvoju.

Nakon osamostaljenja R. Hrvatske, osim ratnih stradanja, na zastoj u realizaciji prije planiranih projekata također su utjecali i gospodarski preustroj te time promijenjeni prioriteti glavnih partnera vodnoga gospodarstva (elektroprivrede, poljoprivrede, riječne plovidbe i drugih). Zbog općih gospodarskih uvjeta u poratnom razdoblju (sve do donošenja novih zakonskih rješenja u prosincu 2005. godine) vodno gospodarstvo nije

raspolagalo financijskim sredstvima nužnim za redovito održavanje funkcionalnosti postojećih sustava. Posljedica takvih okolnosti bilo je nezadovoljavajuće stanje zaštite od poplava u Hrvatskoj (visoki rizici od poplava na mnogim područjima), brojni nedovršeni i nedovoljno održavani zaštitni i melioracijski sustavi, te samo dijelom sanirane ratne štete.

Sustavi melioracijske odvodnje grade se radi brze i učinkovite odvodnje viška vode s poljoprivrednih i drugih nizinskih površina, a pretpostavka za njihovu gradnju jest prethodna zaštita melioracijskih područja od poplava vanjskih voda. Nužan su preduvjet za stabilniju i intenzivniju poljoprivrednu proizvodnju. Poljoprivreda je glavna gospodarska grana osječkog kraja i šireg regionalnog je karaktera što ukazuje na značaj održavanja i razvoja sustava melioracijske odvodnje.

Vodovodni i kanalizacijski sustavi su civilizacijski standard današnjeg društva. Zasigurno je jedan od većih razloga za bijeg stanovnika u druge sredine nedostatak osnovne životne infrastrukture, posebno vodoopskrbe i odvodnje. Dosad je bio mali postotak priključenosti stanovništva okolice Osijeka na odvodne sustave i pročiščavaće otpadne vode. Gradnja kanalizacijskih sustava, zajedno s uređivanjem odlagališta otpada, uvjetovani su R. Hrvatskoj kao obveza u pristupanju Europskoj Uniji. Poslijeratnom izgradnjom (zajmovima Svjetske banke) komunalnih vodovodnih i kanalizacijskih objekata uspješno su riješeni nedostatci u vodoopskrbi, a omogućena je priključenost stanovništva komunalnoj infrastrukturi na europskoj razini.

U okvirima Projekta obnove istočne Slavonije, Baranje i zapadnog Srijema te Projekta „Unutarnje vode“ ostvaren je značajan doprinos izgrađenosti i funkcionalnosti odvodnih sustava osječke regije. Omogućeni su bolji uvjeti za poljoprivrednu proizvodnju te preduvjeti za pokretanje drugih gospodarskih aktivnosti, poboljšana je kvaliteta života i rada stanovništva, a ostvarena je i viša zaštita iznimno vrijednih ekoloških područja. Doprinos je to ukupnom razvitku R. Hrvatske. Za očekivati je trend popularizacije manjih mjesta, posebno onih blizu većih gradova, u kojima su izgrađeni vodovodni i kanalizacijski sustavi, a cijene nekretnina i gradnje su niže. Posebno je to zanimljivo mladim i zaposlenim parovima, ali i umirovljenicima jer manje sredine nude i druge prednosti. Iz izvješća o provedbi ovih projekata uočljivo je da su premašeni prvobitno postavljeni ciljevi, ili je s raspoloživim sredstvima napravljeno više, ili se iznašlo još sredstava za proširenje planova. Povećanjem obima objekata komunalne infrastrukture, posebice na novim suvremenim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda, otvorila su se i nova radna mjesta. Nažalost, Osijek, jedan od najvećih hrvatskih gradova, još uvijek otpadne vode, i to šireg okruženja, bez ikakvog pročišćavanja koncentrirano ispušta u otvoreni vodotok Dravu i to nasuprot Kopačkog rita. Iako je lokacija za uređaj za pročišćavanje odavno određena iz nekih razloga nije došlo do gradnje. Priprema izgradnje uređaja, vrijednog oko 20 milijuna eura, je pri završetku i nastoji se da bude većinom financiran iz fondova Europske Unije.

5. Literatura

[1] Mimica, Bože: Slavonija – Zlatno srce Hrvatske – povijest Slavonije od antike do XX. stoljeća. Knjiga prva. Rijeka: Dušević i Kršovnik; 2012.; (ISBN 9789532212396);

[2] Strategija upravljanja vodama - Hrvatski sabor, 2009., izdavač: Hrvatske vode (Jadranko Husarić), urednik: dr.sc. Danko Biondić, tisak: AKD Zagreb, Zagreb, ožujak 2009.; (ISBN 978-953-7672-00-3);
[3] Živković-Kerže, Zlata: Od močvara do oranica (Osvrt na povijest preobrazbe okoliša osječkoga kraja hidromelioracijom područja Vuke i isušivanjem močvare Palače), Osječki zbornik, 27, Osijek, 2004.; (ISSN 0473-4882);
[4] Živković-Kerže, Zlata: Ivan Nepomuk Spannbauer i njegovo značenje za odvodnju osjećkog kraja – Poseban osvrt na isušivanje močvare Palača, VDG Jahrbuch, Vol. 15, 2008. str. 117-126; (ISSN 1331-717);
[5] Živaković-Kerže, Zlata: Voda i grad, Povijest vodoopskrbe grada Osijeka; monografija; Hrvatski institut za povijest, Podružnica za povijest Slavonije, Srijema i Baranje, Slavonski Brod / Vodovod Osijek d.o.o.; Osijek 2007.; (ISBN 978-953-6659-28-9);
[6] Petošić, Dragutin, Tomić, Franjo. Reguliranje suvišnih voda; Udžbenik Sveučilišta u Zagrebu. Agronomski fakultet, Zagreb, 2011.; (ISBN 978-953-6135-94-3);
[7] Marušić, J.: Objekti hidromelioracijskih sustava odvodnje; Priručnik za hidrotehničke melioracije, I kolo, knjiga 3; HDON; Zagreb, 1985., str. 149-217;
[8] Marušić, J., Pondeljak, J.: Značenje crpnih stanica za vodni režim melioracijskih područja; Priručnik za hidrotehničke melioracije, III kolo, knjiga 2; HDON; Rijeka, 2005.; str. 131-168; (ISBN 953-6953-11-0);
[9] Živaković-Kerže, Zlata: Razvoj zaštite zdravlja u Slavoniji, poseban osvrt na Osijek; Hrvatski časopis za javno zdravstvo; vol 4, broj 15; HZJZ, 2008.; str. 14-18; (ISSN 1845-3082);
[10] Živaković-Kerže Zlata: Javno zdravstvo u Osijeku – osamdeset godina; Od Epidemiološkog zavoda do Zavoda za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije (1925. – 2005.). Zavod za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije, Osijek, 2005.;
[11] Živaković-Kerže, Zlata: Voda - osnova života Osijeka ; Anali Zavoda za znanstveni i umjetnički rad u Osijeku; sv. 24, ur, Dekaris, Dragan; Martinčić, Julijo; 2008.; str. 51-63;
[12] Živaković-Kerže, Zlata: Voda i grad, Povijest vodoopskrbe grada Osijeka; monografija; Hrvatski institut za povijest, Podružnica za povijest Slavonije, Srijema i Baranje, Sl. Brod / Vodovod Osijek d.o.o.; Osijek, 2007.; (ISSN 978-953-6659-28-9);
[13] Maričić, Siniša; Mijušković, Tatjana: Crpne stanice odvodnje osječko-baranjske regije – važnost održavanja; Održavanje 2013, Zbornik radova 19. međunarodnog savjetovanja HDO, ur. Čala, Ivo; Šibenik, 2013, str. 151-158; (ISSN 1848-4867);
[14] Izvješće o realizaciji Projekta obnove područja Istočne Slavonije, Baranje i Zapadnog Srijema; Ministartvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva; Zagreb, ožujka 2004.;
[15] Nadilo, Branko: Projekt Unutarnje vode i Odvodnja južne Baranje; časopis Građevinar; br. 63 (2011) 9/10; str. 875-886; (ISSN 1333-9095);
[16] Bukša, Željko: Projekt „Unutarnje vode“ premašio početne ciljeve; časopis Hrvatska vodoprivreda, broj 200, godište XX., 2012., Zagreb, str 72-79; (ISSN 1330-321X);

Usporedba polietilenskih i čeličnih cijevi za plinovode
Comparison of Polyethylene and Steel Gas Pipes

Z. Tonković[1*], I. Skeledžija[2], P. Raos[3]

[1]HEP-Plin d.o.o., Osijek, Hrvatska

[2]WRASSing d.o.o., Osijek, Hrvatska

[3]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J.Strossmayera u Osijeku, Hrvatska

*Autor za korespondenciju. E-mail: zlatko.tonkovic@hep.hr

Sažetak

Izvršeni su proračuni padova tlaka kod čeličnih i polietilenskih plinovodnih cijevi. Kod proračuna koristili su se jednaki uvjeti, dimenzija profila plinovoda NO100, količine protoka plina i duljina plinovoda od 1km do 10km.

Proračunska analiza dokazuje da je pad tlak u polietilenskih cijevi manji od pada tlaka u čeličnim cijevima. Zaključak je da za polietilenske (PE) cijevi treba manje utrošiti energije za povišenje tlaka.

Ključne riječi: polietilenski plinovodi, čelični plinovodi, pad tlaka

Abstract

In this final thesis, pressure drop in steel and polyethylene gas pipeline tubes was calculated. When calculating, the same conditions, dimension profiles of pipelines, the gas flow rate and the length of the pipeline were used from 1km to 10km.

Calculation analysis shows that the drop in pressure within polyethylene pipes is less than the pressure drop in steel pipes. The conclusion is that in the practical application of polyethylene pipes less energy should be used for boosting pressure.

Keywords: polyethylene pipelines, steel pipelines, pressure drop

1. Uvod

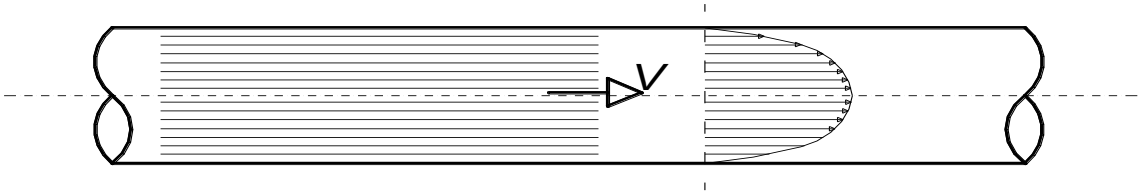
Prikazani su proračun padova tlaka za plinovodne cijevi različitih materijala: čelik i polietilen. Kod proračuna je korišten poprečni profil NO100 (NO - nazivni otvori), duljina i protoka.

Kao radni tlak pri proračunima u mreži uzet je maksimalni tlak 3 bar. Minimalni tlak ograničen je na 0,5 bar tako da je dozvoljeni pad tlaka u mreži Δp = 2,5 bar. Brzina strujanja/protok plina ograničen je na preporučenih 20m/s [1].

2. Vrste strujanja

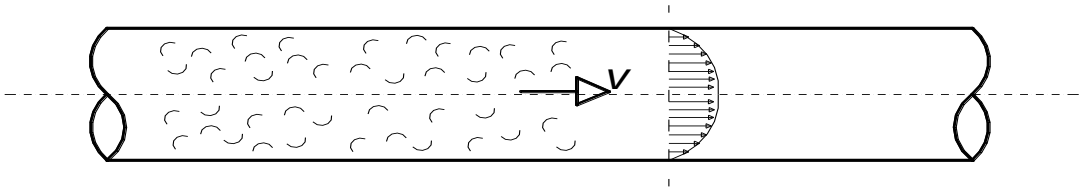
Stacionarno (postojano) strujanje je strujanje u kojem se brzina u promatranom presjeku ne mijena sa vremenom ni po veličini ni po smjeru, tj. maseni protok je konstantan [1].

Laminarno (slojevito) strujanje je ono strujanje pri kojem se čestice gibaju koaksijalno u cilindričnim slojevima. Brzina gibanja čestica raste od nule (uz stjenku cijevi) do maksimalne vrijednosti u osi cijevi (slika 1.) [1].



Slika 1. Shema laminarnog strujanja [1]

Turbulentno (vrtložno) strujanje je ono strujanje pri kojem se čestice kreću u raznim smjerovima, stvarajući vrtloge (slika 2.) [1].



Slika 2. Shema turbulentnog strujanja [1]

3. Reynoldsov broj

Reynoldsov broj označava granicu koja razdvaja vrste strujanja kroz cijev. Da li će strujanje biti laminarno ili turbolentno, ovisi o brzini strujanja, promjeru cijevi i viskoznosti fluida. Odnos navedenih veličina određuje Reynoldsov broj. [1] Kritična veličina, odnosno kritični Reynoldsov broj je granica između laminarnog i turbolentnog strujanja u području R_e=2320 [1].

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\eta} \qquad (1)$$

gdje su: $\boldsymbol{v}$ - brzina (m/s), $\boldsymbol{d}$ – unutarnji promjer cijevi (m), ν – kinematska viskoznost fluida (m^2/s), ρ - gustoća fluida (kg/m^3), η - smična viskoznost fluida (Pa·s).

Strujanje plina u plinovodima je u pravilu u turbulentnom području, tj. pri *R*e > 2320. U Reynoldsovom broju uzete su u obzir hidraulički značajne fizičke veličine plina koji struji, kinematska, odnosno smična viskoznost i gustoća [1].

3.2. Hrapavost

Već kod proizvodnje cijevi unutrašnjost stjenke pokazuje određenu hrapavost. Pored toga određeni otpor strujanju mogu stvarati razne nečistoće i korozija unutar cijevi. Hrapavost nema utjecaj na laminarno strujanje.

Hrapavost unutarnjih stjenki kod čeličnih plinovoda je veća od polietilenskih i pri izradi cijevi iznosi k = 0,02 do 0,1 mm. Za rabljene (korodirane) cijevi hrapavost iznosi k = 0,4 mm [1].

Polietilenske cijevi su pri izradi glatke, a srednja hrapavost unutrašnje stjenke cijevi iznosi k = 0,007-0,01 mm [1].

3.3. Jednadžba kontinuiteta

Pri stacionarnom strujanju nekog fluida gustoće ρ, brzinom v, kroz cijev površine presjeka A, maseni protok Q_m moguće je izraziti pomoću jednadžbe kontinuiteta:

$$Q_m = v_1 \cdot \rho_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot \rho_2 \cdot A_2 = konst. \tag{2}$$

Maseni protok je konstantan. Ostaje li pritom gustoća nepromijenjena, tj. $\rho_1 = \rho_2 = konst.$, kao što je slučaj pri strujanju inkompresibilnog fluida, volumni protok Q_v je:

$$Q_m = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 = konst. \tag{3}$$

Volumni protok u ovom slučaju je konstantan. Kada plin struji pod dovoljno malom razlikom tlaka između promatranih presjeka, možemo ga tretirati kao inkompresibilan fluid.

3.4. Bernulijeva jednadžba

Fluid u tečenju sadrži potencijalnu, tlačnu, kinetičku i toplinsku energiju. Suma svih energija (E) je, na temelju zakona održanja energije, pri strujanju konstantna [1]:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 = konst. \tag{4}$$

gdje su: E_1 - potencijalna energija, E_2 - tlačna energija, E_3 - kinetička energija, E_4 - toplinska energija.

Ako na promatranom putu nema dovođenja ili odvođenja topline, možemo toplinsku energiju zanemariti $E_4 = 0$. Svedemo li promatranje na jediničnu masu fluida dobivamo Bernulijevu jednadžbu [1]:

$$E = g \cdot H + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} = konst. \tag{5}$$

gdje su: g – ubrzanje sile teže (m/s^2), H – geodetska visina (m), p – hidrostatski tlak u fluidu (Pa).

Jednadžba tečenja idealnog fluida između dva presjeka [1]:

$$g \cdot H_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = g \cdot H_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \tag{6}$$

gdje se indeks „1“ odnosi na početni, a indeks „2“ na konačni presjek.

Linearnim povećanjem visine, tlačna energija pada, a smanjenjem presjeka cijevi kinetička energija raste. Pri tome suma članova u promatranom odsječku cjevovoda ostaje konstantna. Za protok realnog fluida (uzevši u obzir trenje) jednadžba dobiva oblik poprečnog [1]:

$$g \cdot H_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = g \cdot H_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + \frac{\Delta p}{\rho} \tag{7}$$

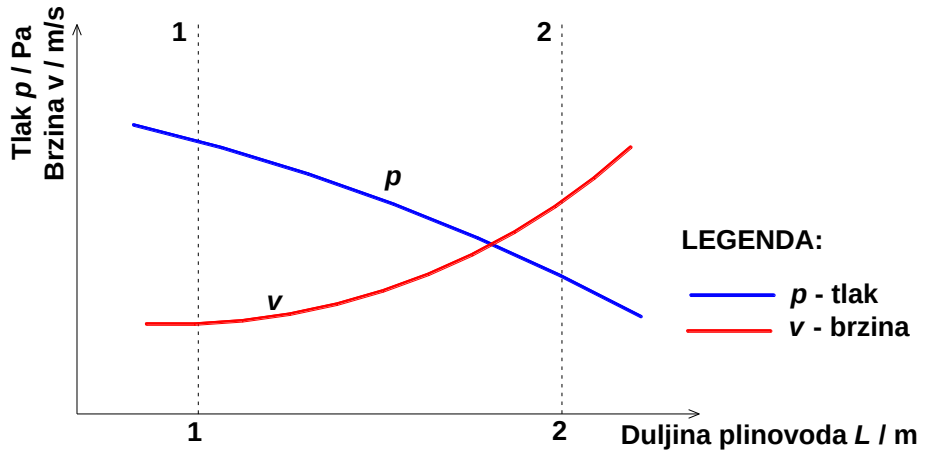
gdje je Δp – gubitak tlaka uslijed trenja.

4. Proračun pada tlaka kod visokotlačne mreže

Proračun pada tlaka, za niski i visoki tlak, se razlikuju zbog kompresibilnosti fluida. Plin u području niskog tlaka do 100mbar ima vrlo malu promjenu volumena. S obzirom na to svojstvo, uzima se u proračun kao da je inkompresibilni (nestlačiv).

Pri većoj razlici tlaka između promatranih presjeka plin se u području visokog tlaka ponaša kao kompresibilan fluid i mijenja gustoću. Kako tlak u cijevnoj mreži pada, plin se širi (ekspandira) i zauzima sve veći volumen. Nastaje ekspandirajuće strujanje što uzrokuje sve veću brzinu protoka plina, bez povećanje poprečnog profila cijevi. Znači da padom tlaka u daljnjim točkama plinovoda brzina raste jer se povećava volumen fluida. [1]:

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{\rho_1^2}{\rho_2^2} \tag{8}$$



Slika 3. Promjena tlaka i brzine pri strujanju kompresibilnog fluida kroz cijevi konstantnog presjeka [1]

Iz dijagrama je vidljivo da padom tlaka raste brzina strujanja zbog povećanja zapremina fluida. Znači da je količina plina na početku cjevovoda zbijena-komprimirana, a zbog otpora pada tlaka plin se širi.

5. Analiza strujanja na odabranim cjevovodima

Za proračuna promatrano je područje tlakova od p_1 = 3 bar, kao ulazni tlak i p_2 do minimalno 0,5 bar. Izvršeni su proračuni padova tlaka za određene dimenzije cijevi NO100. Analizirane je izvršena za čelične i polietilenske cijevi. Za proračuna koristili su se faktor hrapavosti. Za nove čelične cijevi faktor hrapavosti je k = 0,02 do 0,1 mm, a za rabljene (korodirane) čelične cijevi faktor hrapavosti je k = 0,4 mm [1].

Za nove polietilenske cijevi faktor hrapavosti iznosi k = 0,007 do 0,01 mm [1].

Za navedene materijale svaka unutrašnja površina cijevi pokazuje određenu hrapavost već kod isporuke cijevi. Uz to, u plinovodima u eksploataciji mogu se pojaviti i nastati dodatni otpori strujanja plina uslijed nakupljanja nečistoća i produkata korozije. Iz navedenih razloga koristili li su se pri proračunu faktor hrapavosti za čelične cijevi k = 0,5 mm i za polietilenske cijevi k = 0,1 mm [2].

5.1. Proračun pada tlaka pomoću *R* - značajke

Za proračun pada tlaka koristili su se gotovi obrasci formula iz propisa DVGW, radni list G 464 [2] i računalni program Excel. Korištenjem navedene literature i računalnim programom došlo se do određenih usporednih rezultata. Za proračun je korištena jednadžba [2]:

$$p_1^2 - p_2^2 = R_{HP} \cdot L \cdot Q_v^2 \qquad (9)$$

gdje je: R_{HP} - značajka za područje niskog tlaka (mbar h^2/mm^6)

5.2. Proračun pada tlaka za profile cijevi NO100

Proračun je izvršen za cijevi promjera NO100, gdje se mogu usporediti razlike u padovima tlaka između čeličnih i polietilenskih cijevi.

Tablice 1. i 2. pokazuju padove tlakova kod količine protoka od Qv = 100 do 600 m3/h u cjevovodima duljine L = 1 do 10 km.

Tablica 1. Pad tlaka u polietilenskim cijevima NO100

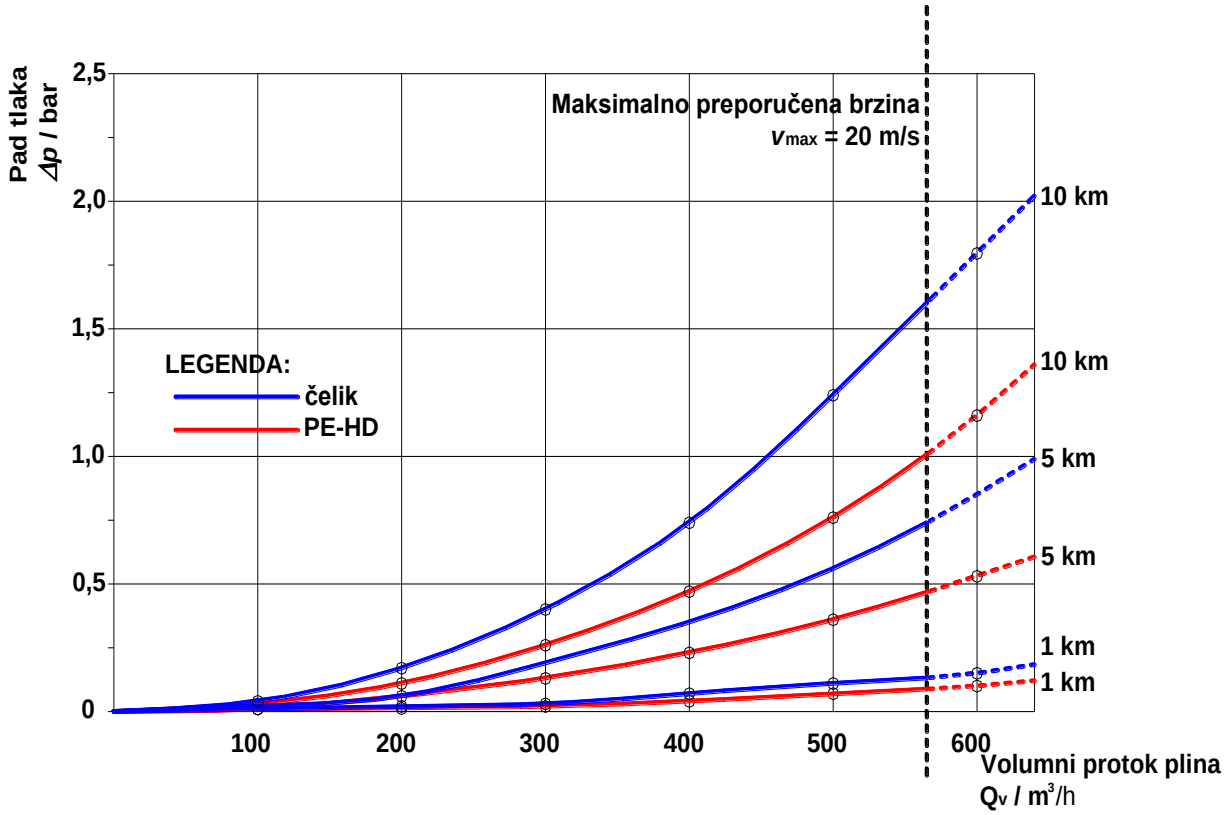
	L (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v (m/s)	Q_v (m^3/s)	*Δp*									
3,54	100	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
7,07	200	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
10,61	300	0,02	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,26
14,15	400	0,04	0,09	0,13	0,18	0,23	0,27	0,32	0,37	0,42	0,47
17,69	500	0,07	0,14	0,21	0,29	0,36	0,44	0,52	0,60	0,68	0,76
21,22	600	0,10	0,20	0,31	0,42	0,53	0,65	0,77	0,90	1,03	1,16

Tablica 2. Pad tlaka u čeličnim cijevima NO100

	L (km)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v (m/s)	Q_v (m^3/s)	*Δp*									
3,54	100	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
7,07	200	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15	0,17
10,61	300	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,36	0,40
14,15	400	0,07	0,14	0,21	0,28	0,35	0,43	0,50	0,58	0,66	0,74
17,69	500	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,69	0,82	0,95	1,09	1,24
21,22	600	0,15	0,31	0,48	0,66	0,85	1,04	1,26			

U dijagramu na slici 4. vidi se da je kod količine protoka od Q_v = 500 m^3/h i duljine plinske mreže od 1 km pad tlaka kod čeličnih plinovoda Δp = 0,11 bar, a kod

polietilenskih plinovoda pad tlaka je Δp = 0,07 bar. Razlika padova tlakova između čeličnih i polietilenskih cijevi iznosi Δ*p* = 0,04 bar.



Slika 4. Pad tlaka u ovisnosti o volumnom protoku u cjevovodu NO100

Kod količine protoka Q_v = 500 m^3/h i duljine plinske mreže od 5 km pad tlaka kod čeličnih plinovoda Δ*p* = 0,56 bar, a kod polietilenskih plinovoda pad tlaka je Δ*p* = 0,36 bar. Razlika padova tlakova između čeličnih i polietilenskih cijevi iznosi Δ*p* = 0,2 bar.

Za isti protok od Q_v = 500 m^3/h i duljine plinovoda od 10 km pad tlaka kod čeličnih plinovoda Δ*p* = 1,24 bar, a kod polietilenskih plinovoda pad tlaka je Δ*p* = 0,76 bar. Razlika padova tlakova između čeličnih i polietilenskih cijevi iznosi Δ*p* = 0,48 bar.

5.3. Analiza Reynoldsovog broja

Protjecanje plina kroz plinovode dolazi do promjena brzine, tlaka i količine plina. Jednadžba za izračun Reynolsovog broja je [2]:

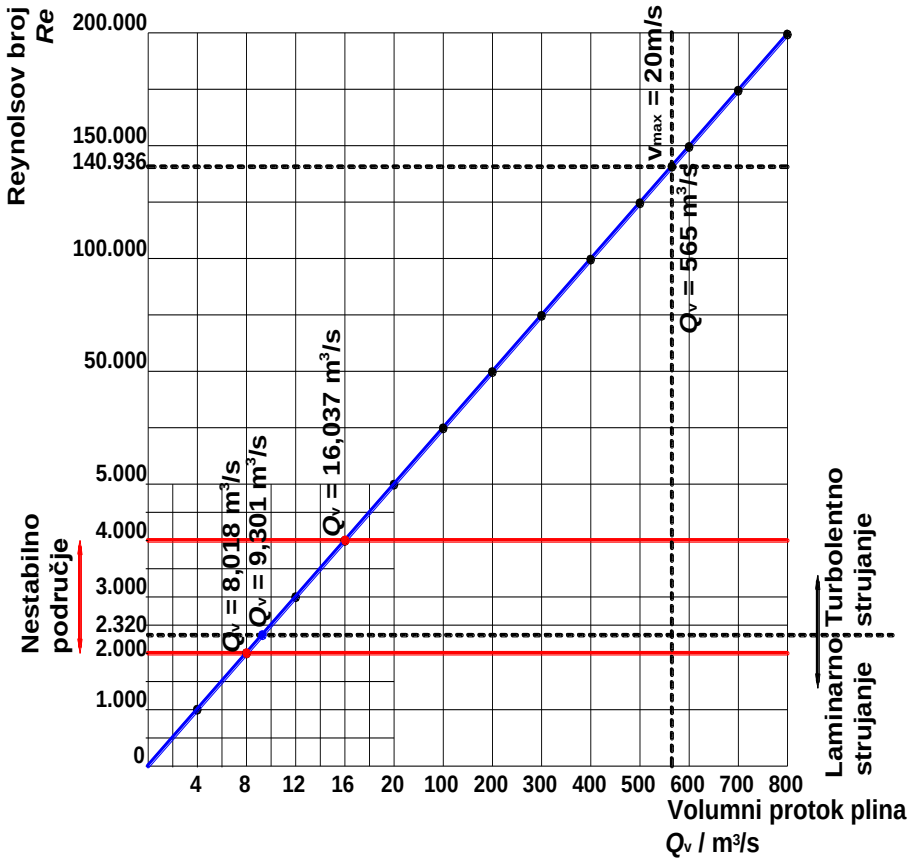
$$Re = 353{,}7 \cdot \frac{Q_v \cdot \rho}{10^6 \cdot \eta \cdot d} \qquad (10)$$

Tablica 3. Parametri strujanja u cijevima NO100

Q_v	d	ρ	η	Re	v
m^3/h	m	kg/m^3	Pa·s		m/s
2	0,1	0,78	11,06	498,89	0,07
4	0,1	0,78	11,06	997,78	0,14
6	0,1	0,78	11,06	1.496,67	0,21
8	0,1	0,78	11,06	1.995,56	0,28
10	0,1	0,78	11,06	2.494,45	0,35
12	0,1	0,78	11,06	2.993,34	0,42
14	0,1	0,78	11,06	3.492,23	0,50
16	0,1	0,78	11,06	3.991,12	0,57
18	0,1	0,78	11,06	4.490,01	0,64
20	0,1	0,78	11,06	4.988,90	0,71
100	0,1	0,78	11,06	24.944,48	3,54
200	0,1	0,78	11,06	49.888,97	7,08
300	0,1	0,78	11,06	74.833,45	10,62
400	0,1	0,78	11,06	99.777,94	14,15
500	0,1	0,78	11,06	124.722,42	17,69
565	0,1	0,78	11,06	140.936,34	19,99
700	0,1	0,78	11,06	174.611,39	24,77
800	0,1	0,78	11,06	199.555,88	28,31

Pokusima je utvrđeno da je $R_e < 2320$ strujanje laminarno, a za $R_e > 2320$ turbulentno. Granica između ta dva strujanja nije oštra već je u području od $R_e = 2000$ do 4000 nestabilno. Turbulentno strujanje prelazi ponovo u laminarno, nakon dosta dugog nesmetanog puta smirivanja. Kod većih Reynoldsovih brojeva turbulentno strujanje se više ne vraća u laminarno.

Iz dijagrama na slici 5. vidljivo je da je područje laminarnog strujanja u plinovodima Q_v = 9,301 m^3/h, a nestabilno područje od $R_e = 2000$ do 4000 u području količine protoka od Q_v = 8,018 do 16,037 m^3/h.



Slika 5. Reynolsov broj u ovisnosti o volumnom protoku u cjevovodu NO100

S obzirom da je maksimalna količina protoka Q_v = 565m^3/h, pri maksimalnoj preporučenoj brzini strujanja od 20m/s, dolazimo do zaključka da je laminarno strujanje u području do 1,65%. Kritično područje R_e = 2000 do 4000 je od 1,42% do 2,84%.

6. Rasprava

Provedenim proračunima dolazi se do zaključka da je pad tlaka u polietilenskim cijevima manji, zbog kojeg nastaju razlike u padu tlaka između čeličnih i polietilenskih cijevi je u samoj tehnologiji proizvodnje cijevi. Čelične cijevi su pri proizvodnji hrapavije u odnosu na polietilenske cijevi. U čeličnim cijevima se tijekom vremena prije ugradnje stvara korozija koja dodatno utječe na hrapavost.

Vršeći proračune na bazi potrebne količine plina, za određene dimenzije i duljine cjevovoda dobili se određeni komparativni podaci za čelične i polietilenske cijevi. Vidljivo je da za polietilenske cijevi ne treba toliki tlak u cijevima, tj može se ugraditi cijev manjih dimenzija ili smanjiti ulazni tlak (potrebna manje energije za podizanje tlaka u plinskoj mreži).

7. Zaključak

Nakon proračuna padova tlakova na plinovodima dimenzije NO100, pri različitim duljinama od 1 do 10km i pri različitim volumnim protocima Q_v došlo se do sljedećeg zaključka. Plinovodi od polietilenskih cijevi imaju manje padove tlaka. Glavna uzrok zbog čega je pad tlaka manji kod polietilenskih cijevi je u glatkoći unutarnje stjenke cijevi. Pri proizvodnji polietilenskih plinovodnih cijevi, visina hrapavosti je k = 0,007 do 0,01 mm i uzimamo za R – značajku visinu hrapavosti k = 0,1 mm. Kod čelika za R – značajku uzimamo visinu hrapavosti od k = 0,5 mm, pošto su rabljene cijevi (u uporabi) srednje visine hrapavosti k = 0,4 mm.

Dolazi se do zaključka da energija koja se ulože za transport plina, za rad kompresorskih stanica koje povećavaju tlak u plinovodu, može biti manja za isti profil kod korištenja polietilenskih cijevi. Tu se postiže ušteda u trošku energije za povećanje tlaka plina.

Povećana primjena polietilenskih materijala na području izgradnje plinovodnog sustava je u svojstvima polietilenskih cijevi kao što su: niska gustoća, velika istezljivost, postojanost na koroziju i dugi vijek uporabe. Brojne mogućnosti oblikovanja i jednostavno rukovanje, omogućile su sniženje cijene postavljanja i izgradnje plinskog sustava [3].

Isto tako smanjenjem dimenzije profila cijevi postiže se i financijski efekt u izgradnji plinovodnog sistema. Smanjenjem dimenzije cjevovoda dolazi do uštede pri cijeni nabavke materijala i izvođenju građevinskih radova, za što je potreban uži kanal, te prilikom horizontalnog bušenja ispod prometnica potreban je manji profil bušotine i zaštitne cijevi, posteljica pijeska je tanja kao i polumjeri savijanja cijevi.

8. Literatura

[1] Strelec, Vladimir i sur. Plinarski priručnik. Zagreb: Energetika marketing, 1995.
[2] N.N. Tehničko pravilo, radni list 464. Područje pada pritiska kod distribucije gasa, DVGW, 2005.
[3] Tonković, Zlatko. Procjena preostalog vremena uporabe oštećenih polietilenskih plinovodnih cijevi / doktorska disertacija. Slavonski Brod : Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2008.

Proračun sile prešanja podnica za tlačne posude
Pressing force calculation of the floor for pressure vessels

B. Grizelj [1], J. Cumin[1], M. Stoić [2,*], B. Vujčić[2]

[1] Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska
[2]Veleučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: mstoic@vusb.hr

Sažetak
U ovom radu prikazane su osnove procesa dubokog vučenja za proizvodnju čepova parnih kotlova iz debelostjenih materijala. Također, prikazana je analiza naprezanja koja se pojavljuju u procesu dubokog vučenja - naprezanje, naprezanje usljed sile trenja i unutarnje naprezanje zbog premještanja materijala su također prikazani. Nakon toga neke matematičke formule su izrađene kako bi se pronašla ukupna naprezanja koja se pojavljuju u materijalu tijekom procesa dubokog vučenja koja su potrebna za proračun snage.

Abstract
In this paper the basics of a deep drawing process for the production of a thick plate steam boiler end caps are shown. Also the analysis of stresses which appear in the deep drawing process are shown – bending stress, frictional stress and inner stress due to displacement of material are also shown. Afterwards some mathematical formulations are made in order to find total stresses which appear in the material during the forming process which are needed for the force calculation.

Ključne riječi: duboko vučenje, debelostjena ploča, parni kotao

1. Introduction
The production of thick plate steam boiler end caps is usually performed in one or more work travels on hydraulic presses. The designer of hydraulic presses and the engineer responsible for deep drawing of products should be aware of the amount of deep drawing force in the process.
So far, the empirical and theoretical expressions have shown to have very different results. In order to examine deep drawing forces which appear in the deep drawing process, a tool shown in Figure 1. was used.

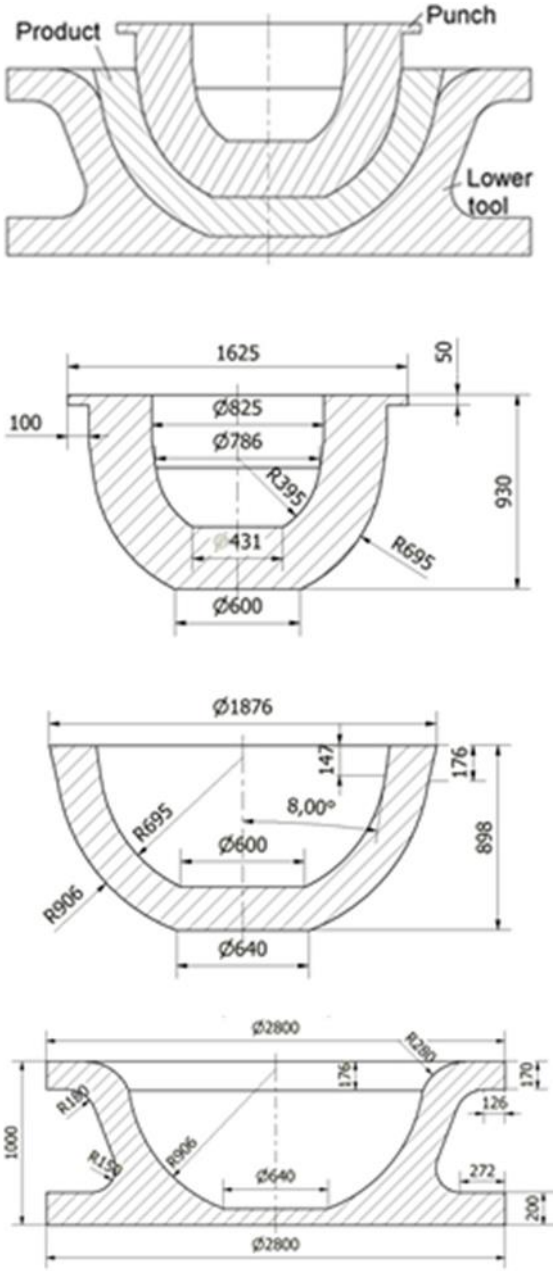


Figure 1. Experimental tool geometry and dimensions

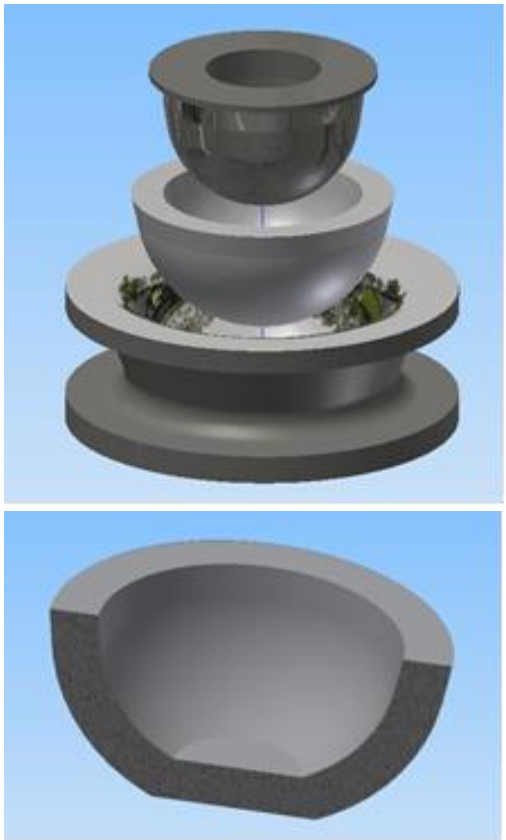


Figure 2. 3D model of experimental tool and deep drawn product

Deep drawing process is performed in such a way that first a thick metal plate (dimensions 2180 mm in diameter and 210 mm thick) is heated-up to forming temperature, and then it is formed with tools under the pressure of hydraulic press.

2. Force calculation

In order to obtain the forming force needed for deep drawing process, it is necessary to understand which stresses act on infinitively small element which is shown in Figure 3 and Figure 4.

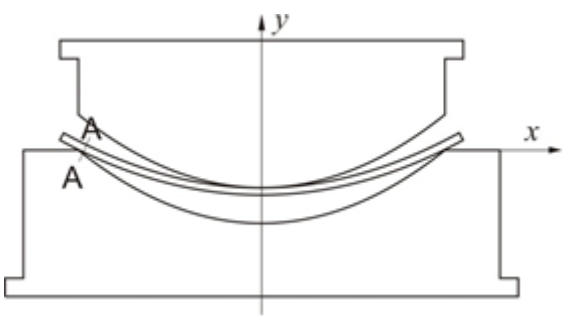


Figure 3. Schematic illustration of bending of plate with marked A-A section [1]

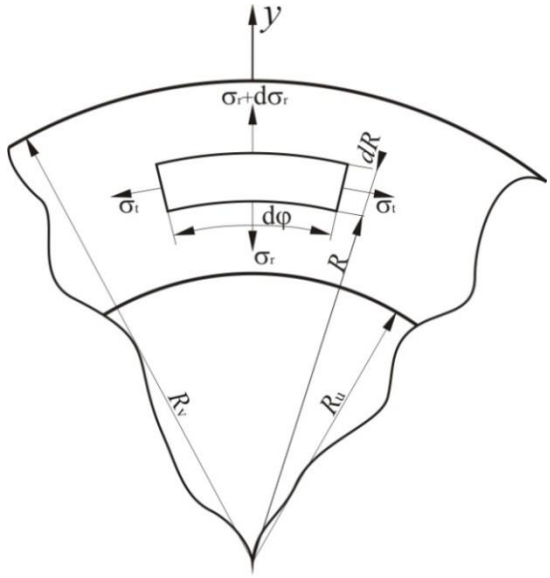


Figure 4. Stresses which act in marked section A-A form Figure 3. [1]

From Figure 3 it can be seen that section A-A is important for understanding stresses which act on the infinitive small element. This stresses are: plastic deformation stress σ_u, stress form friction over the edge σ_{fr} and bending stress σ_{bend} [1].
Total stress is calculated as:

$$\sigma_{tot} = \sigma_u + \sigma_{fr} + \sigma_{bend} \tag{1}$$

In order to obtain stress of plastic deformation σ_u it is necessary to use infinitesimally small element and forces acting on it which can be seen if Figure 4. [1].
From the condition that all forces in y direction are in equilibrium it can be written that:

$$(\sigma_r + d\sigma_r) \cdot (R + dR) \cdot s \cdot d\varphi - \sigma_r \cdot R \cdot d\varphi + 2\sigma_r \cdot sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) \cdot s \cdot dR = 0 \tag{2}$$

Since expression $\sin\left(\frac{d\varphi}{2}\right) = \frac{d\varphi}{2}$ can be written for infinitesimally small angles and after dividing the expression (2) with thickness s it can be written [1]:

$$(\sigma_r + \sigma_t) dR + d\sigma_r \cdot R = 0 \tag{3}$$

In order to solve this differential equation (3) one additional expression must be introduced where k_f is forming stress:

$$k_f = \sigma_r + \sigma_t \tag{4}$$

After combining expressions (3) and (4) the solution of differential equation can be found as [1]:

$$\sigma_u = k_f \cdot ln\left(\frac{R_v}{R_u}\right) \tag{5}$$

During the forming process, a plate is moving over the filleted edge with respective radius r_M and this plate needs to overcome the force of friction. This results in the larger stress near inner radius R_u which consists from bending and friction stresses.

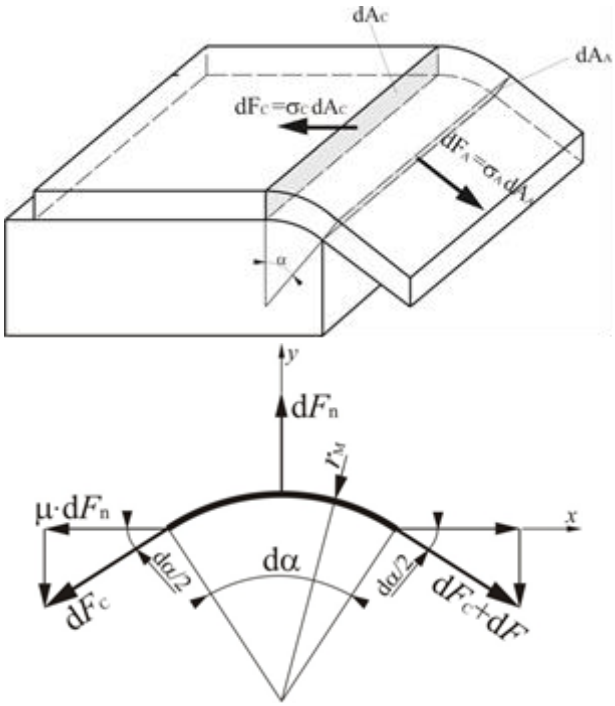


Figure 5. Schematic illustration of a plate moving over filleted edge of the tool and forces acting on the infinitesimally small element. [2]

If force dF_A increases for amount dF=dF_A-dF_C there will be movement of sheet metal. By increasing the bending detail it can be shown that the forces which act on the bended surface looks like in Figure 5. Elementary band shown in Figure 5. has length dl=r_M•dα [2]. From Figure 5., if all forces are set to be in equilibrium, and their values projected on x, and y axis, two equations can be written.

$$\sum X = 0$$
$$\left(dF_C + dF\right)\cdot\cos\frac{1}{2}d\alpha - dF_C\cos\frac{1}{2}d\alpha - \mu dF_N = 0 \tag{6}$$

$$\sum Y = 0$$
$$dF_{\mathrm{N}} - \left(dF_{\mathrm{C}} + dF\right)\sin\frac{1}{2}d\alpha - dF_{\mathrm{C}}\sin\frac{1}{2}d\alpha = 0 \tag{7}$$

Since it can be written that:

$$\sin\frac{1}{2}d\alpha \approx \frac{1}{2}d\alpha$$
$$\cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right) \approx 1 \tag{8}$$

Expressions (6) and (7) can be written as:

$$dF - \mu dF_{\mathrm{N}} = 0 \tag{9}$$
$$dF_{\mathrm{N}} - dF_{\mathrm{C}} \cdot d\alpha = 0 \tag{10}$$

When this two equations are combined it follows that:

$$dF = \mu dF_{\mathrm{C}} \cdot d\alpha \tag{11}$$

Total accession of force for the finite bending angle can be written as:

$$\int_{dF_{\mathrm{C}}}^{dF_{\mathrm{A}}} \frac{dF}{dF_{\mathrm{C}}} = \mu \int_{0}^{\alpha} d\alpha \tag{12}$$

By integration of expression (12) it can be seen that the force of friction for one volumetric element at the end of the arc can be written as:

$$\Delta F = dF_{\mathrm{A}} - dF_{\mathrm{C}} = dF_{\mathrm{C}} \cdot (e^{\mu a} - 1) \tag{13}$$

Then it can be written that:

$$\sigma_{\mathrm{fr}} = \frac{\Delta F}{\Delta A}, \mathrm{MPa} \tag{14}$$

$$\sigma_{\mathrm{fr}} = \sigma_{\mathrm{u}} \cdot (e^{\mu a} - 1), \mathrm{MPa} \tag{15}$$

$$\sigma_{\mathrm{fr}} = k_{\mathrm{f}} \cdot ln\left(\frac{R_{\mathrm{v}}}{R_{\mathrm{u}}}\right) \cdot (e^{\mu a} - 1), \qquad \mathrm{MPa} \tag{16}$$

Bending stresses in the steam boiler cap will be positive in the outer tensile zone, and negative in the inner compressive zone in front of neutral plane.

This stress will increase with the thickness of the plate, and it will decrease with larger radius r_{M}.

Bending stress can be calculated with the following expression [2]:

$$\sigma_{\text{bend}} = k_f \cdot \frac{s}{4r_{\text{M}}}, \ \text{MPa} \tag{17}$$

This, combined with the expressions (1,5,12) leads to the following expression used for the calculation of total stresses in the material during forming [2]:

$$\sigma_{\text{tot}} = k_{\text{f}} \cdot \left(ln\left(\frac{R_{\text{v}}}{R_{\text{u}}}\right) \cdot e^{\mu a} + \frac{s}{4r_{\text{M}}} \right), \text{MPa} \tag{18}$$

Since total stresses are known, the forming force can be calculated with the following expression:

$$F_{\text{tot}} = A_{\text{A}} \cdot \sigma_{\text{uk}}, \ \text{N} \tag{19}$$

$$F_{\text{tot}} = 2 \cdot R_{\text{v}} \cdot \pi \cdot s \cdot k_{\text{f}} \cdot \left(ln\left(\frac{R_{\text{v}}}{R_{\text{u}}}\right) \cdot e^{\mu a} + \frac{s}{4 \cdot r_{\text{M}}} \right), \text{N} \tag{20}$$

There are several more expressions with which the forming force can be calculated and for the purposes of this work only two of them will be mentioned.
The expression for calculation of forming force according to DIN norm [3]:

$$F_{\text{tot}} = 2 \cdot \pi \cdot s \cdot R_{\text{m}} \cdot \left(\frac{R_{\text{v}}}{R_{\text{u}}} - b \right), \text{N} \tag{21}$$

b=0,6 → coefficient

And the expression for the calculation of forming force according to Tomlenov [3]:

$$F_{\text{tot}} = (1{,}5 \div 2) \cdot R_{\text{m}} \cdot ln\left(\frac{R_{\text{v}}}{R_{\text{u}}}\right) \cdot \pi \cdot R_{\text{u}} \cdot s, \text{N} \tag{22}$$

According to Siebel's expression, the forming force can be calculated as [3]:

$$F_{\text{tot}} = 1{,}3 \cdot \pi \cdot R_{\text{v}} \cdot s \cdot R_{\text{m}} \cdot ln\left(\frac{R_{\text{v}}}{R_{\text{u}}}\right), \text{N} \tag{23}$$

3. Experiment

For the experiment, a chrome-nickel steel plate of 2800 mm in diameter and 210 mm of thickness was used. During the forming plate was coated with graphite mixed with mineral oil. The temperature of heating of a steel plate was 1100°C and by the time the steel plate was mounted on the tool the temperature has dropped to 1040°C.
At the end of the forming process the temperature of the steel plate was 920°C. The time needed for the plate to be extracted from the furnace and until the end of the forming

process was 10-13 minutes. The forming process was performed in the 50 MN forming hydraulic press. In the production a 23 steam boiler caps were made, and maximal forming force was 28,6 MN.

Maximal difference of forming force in the production of 23 boiler caps was 2 MN. Since material was heated to the medium temperature of 970°C, the forming stress and the tensile stress were assessed to 76 MPa according to the manufacturer data. With the above mentioned data, and the use of Figure 1. (from which R_u = 695 mm, R_v = 906 mm), the forming force F_{tot} can be calculated.

From (20):

$$F_{tot} = 2 \cdot 906 \cdot \pi \cdot 210 \cdot 76 \left(\ln\left(\frac{906}{695}\right) \cdot e^{0,2 \cdot 1,57} + \frac{210}{4 \cdot 280} \right)$$

$$F_{tot} = 50022389 \text{ N} \approx 50 \text{ MN}$$

From (21):

$$F_{tot} = 2 \cdot 695 \cdot \pi \cdot 210 \cdot 76 \left(\frac{906}{695} - 0,6 \right) = 49037842 \text{ N}$$

$$F_{tot} \approx 49 \text{ MN}$$

From (22):

$$F_{tot} = 2 \cdot 76 \cdot \ln\left(\frac{906}{695}\right) \cdot \pi \cdot 695 \cdot 210 = 18477886 \text{ N}$$

$$F_{tot} \approx 18,5 \text{ MN}$$

From (23):

$$F_{tot} = 1,3 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 906 \cdot 210 \cdot 76 \cdot \ln\left(\frac{906}{695}\right) = 31314033 \text{ N}$$

$$F_{tot} \approx 31,3 \text{ MN}$$

4. Conclusion

In this paper the basics of a deep drawing process for the production of a thick plate steam boiler end caps are shown. Theoretical analysis of stresses which appear in the deep drawing process are shown – bending stress, frictional stress and inner stress due to displacement of material are shown.

These stresses are described, and some mathematical formulations are made in order to find total stresses which appear in the material during the forming process.

Later the expression for the calculation of the forming force is shown. Also some other experimental formulations from the literature are presented.

These expressions were used for the calculation of the deep drawing force, and later the results were compared to the experimentally obtained force values in the production of boiler end caps.

The results show that the closest amount of force can be calculated with the expression (20). The difference in the results is from large amount of assumptions and simplifications used in the formulation.

Also some other forces exists in the forming process, and stresses which are caused by this forces needs to be further investigated by FEM methods in order to better understand the deep drawing process.

6. References

[1] Grizelj, Branko. Oblikovanje metala deformiranjem // Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, **(knjiga/poglavlje u knjizi)**

[2] Grizelj, Branko. Oblikovanje lima deformiranjem // Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, **(knjiga/poglavlje u knjizi)**

[3] M. Menzer. Uber die mechanik des tiefziehens von Kesselboden // Dissertation, TU Clausthal 1975

[4] K. Lange. Umformtechnik // Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1989.

[5] M. Planček. Alati za tehnologije plastičnog deformisanja materijala // Novi Sad 2011.

Kako odabrati i raditi s integratorima sustava nadzora i upravljanja u distribuciji komunalnih dobara
How to select and work with integrator of control supervisory system in utility distribution

D. Dorić[1,*], M. Šlezak[2]

[1]Elektrotehnički fakultet Sveučilišta J.J. Strossmayera u Osijeku (ETFOS), Osijek, Hrvatska
[2]Ato inženjering d.o.o., Osijek, Hrvatska, diplomant na sveučilišnom studiju ETFOS

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: doric@etfos.hr

Sažetak
Rad sa integratorima sustava nadzora i upravljanja (SNU) u distribuciji komunalnih dobara, vode, toplinske energije i plina, može biti dobro iskustvo, ali i ne mora. Integratori SNU su inženjerske tvrtke koje dodanu vrijednost realiziraju izvođenjem visokospecijaliziranih usluga čiji rezultat treba biti stabilan i dugovječan sustav, sve uz razumnu cijenu. Inženjerske usluge općenito, pa tako i usluge integratora SNU nije jednostavno vrednovati što otežava odabir i tehničkog rješenja i integratora koji ga treba realizirati. U okviru ovog rada se daje se opis sustava SNU u distribuciji komunalnih dobara i smjernice koje bi trebale pojednostavniti proces odabira integratora SNU.

Abstract
Working with system integrators of Supervisory and data acquisition (SCADA) systems in the distribution of utility services, water, heat and gas, it can be a good experience, but not necessarily. Integrators of SCADA systems are engineering firms that added value realized by performing a highly specialized service whose result should be stable and long-lasting system, all at a reasonable price. Engineering services in general, including service integrators of SCADA is not easy to evaluate what makes the selection of integrator difficult. This paper provides a description of the SCADA in the distribution of utility services and guidelines that should simplify the process of selecting an integrator of SCADA systems.

Ključne riječi: sustav nadzor i upravljanja, SCADA, integrator, odabir, kriteriji

1. Uvod
Sustav nadzora i upravljanja (SNU) je lokalno ili telemetrijski organiziran specijaliziranim računalima realiziran tehnički sustav koji omogućuje trajni nadzor proizvodnih i tehnoloških procesa ili distribucije raznih komunalnih i drugih dobara. U Hrvatskoj se među projektantima i investitorima naziva još i „Nadzorno upravljački sustav – NUS“, „Sustav

daljinskog vođenja – SDV“ ili korištenjem engleske terminologije „Supervisory Control and Data Acquisition – SCADA“. Rad se zasniva na slijedećem principu: Signali mjerenja se prikupljaju i na temelju njihovih veličina se automatski ili na temelju odluke operatera, čovjeka koji sjedi za zaslonom računala SNU, postavljaju veličine za različite izvršne naprave, ventile, elektromotorne pogoni i sl., koji upravljaju tijekom energije ili protoka fluida.

Distribucija komunalnih dobara, vode, toplinske energije i plina, kao i zbrinjavanje otpadne vode, zahtijeva telemetrijski SNU jer su objekti u distribuciji raširenu prostoru na području naselja ili regije. Vremenske konstante u komunalnim distributivnim sustavima, ako potpuno isključimo distribuciju električne energije iz ovog razmatranja, su relativno velike. Bez obzira na to, ako se želi kvalitetno upravljati, potrebno je mjerenja vršiti često, da bi se pratilo trend promjene veličine u svrhu dobrog, optimalnog upravljanja. Odabir telemetrijske tehnologije znatno utječe na inicijalnu cijenu kao i na cijenu u eksploataciji, ali i na pouzdanost i neovisnost SNU. Automatizirani sustav arhiviranja i izvještavanja predstavlja dobar temelj za predviđanje potrošnje u budućem razdoblju kao i nominiranje.

Integratori sustava nadzora i upravljanja su inženjerske tvrtke koje dodanu vrijednost realiziraju fokusirajući se na industrijske, proizvodne, energetske i tehnološke sustave izradom automatizacijskih softverskih aplikacija te projektiranjem pripadajućeg upravljačkog i telemetrijskog hardvera te sustavom napajanja i razvoda energije, što zahtijeva određena znanja i tehničku stručnost za prodaju, projektiranje, implementaciju, instalaciju, puštanje u rad i podršku.

Inženjerske usluge općenito, pa tako i usluge integratora SNU nije jednostavno vrednovati što otežava odabir i tehničkog rješenja i integratora koji ga treba realizirati. U okviru ovog rada se daju smjernice koje bi trebale pojednostavniti proces odabira integratora SNU, na način da se daje opis SNU, smjernice za odabir telemetrijskog sustava nadzora i upravljanja, daje se prikaz jednog karakterističnog rješenja SNU u distribuciji komunalnih dobara, preporuke za vrednovanje integratora SNU.

2. Sustavi nadzora i upravljanja

2.1. Funkcija SNU

SNU se može konfigurirati za primjenu u svim vrstama postrojenja. Modularna izvedba omogućuje proširenja i nadogradnju sustava, prema potrebama. Korištenje standardnih komponenata i sučelja osigurava niske troškove implementacije. Postojeće komponente sustava poput različitih signalizacija i mjernih uređaja se jednostavno uklapaju u sustav. SNU omogućuje prikupljanje mjernih podataka i „inteligentnu“ kontrolu preuzimanja, prerade, distribucije i potrošnje komunalnih dobara s potrebnom razlučivošću i frekvencijom.

S pomoću standardnog PC kompatibilnog računala i Windows grafičkog sučelja, prikazuju se sve informacije neophodne za efikasno praćenje . Prikupljeni podaci se pohranjuju u datoteke i na raspolaganju su u bilo koje vrijeme. Standardna rješenja u SNU sustavima jamče niske troškove implementacije, a time i brzo vrijeme amortizacije troškova

implementacije sustava za praćenje potrošnje energenata. Windows informatička tehnologija je donijela standardna rješenja u industrijske aplikacije, što za sobom povlači nižu cijenu i nadogradivost u budućnosti.
SNU sustavi služe za prikupljanje podataka iz nadgledanog procesa, obradu tih podataka tj. nadzor, prikaz, vremensko praćenje i pohrana, te upravljanje elementima procesa – na zahtjev operatera ili automatski. SNU mogu imati i funkciju daljinskog vođenja ako uključuju i funkcije proširenoga realnog vremena tzv. aplikacijske funkcije (npr. procjena stanja opskrbne mreže, GIS ili proračun sigurnosti mreže opskrbnog sustava, nominacije potrošnje i sl.).

Ovisno o geografskoj raširenosti procesa kojim se upravlja, SNU sustavi se dijele na lokalne i daljinske. Lokalni sustavi upotrebljavaju se za upravljanje (tipično industrijskim ili tehnološkim) procesima koji su ograničeni unutar zone primjerice od 1 km. Daljinski sustavi mogu kontrolirati geografski bitno distribuirane procese (npr. upravljanje proizvodnjom i prijenosom električne energije, distribucijom nafte, plina, pitke i otpadne vode, upravljanje prometom i sl.)[1].

Lokalni upravljački sustavi redovito uključuju mogućnost upravljanja u zatvorenoj petlji s brzinom reakcije do oko 500 ms, dok daljinski sustavi najčešće rade u otvorenoj upravljačkoj petlji , što znači da se podaci o promjenama u postrojenju prezentiraju operateru i on odlučuje koju će reakciju poduzeti. Vrijeme reakcije je u daljinskim upravljačkim sustavima za red veličine veće no u lokalnim.

Da bi se ostvarili ciljevi zbog kojih se SNU sustav realizira - funkcionalnost, pouzdanost, proširivost, neprekinuti rad što dulji niz godina, uz što niže troškove rada i održavanja, pri uvođenju u industrijski ili tehnološki proces treba obratiti pozornost na brojne detalje u svim fazama realizacije, u pripremi projektne zadaće, projektiranju, izvođenju, programiranju i parametriranju, puštanju u pogon, probnom radu, obuci operaterskog i osoblja u održavanju.
Proces promatran sa stajališta sustava procesnog upravljanja je skup diskretnih i kontinuiranih procesnih varijabli, koje međusobno funkcijski i vremenski koreliraju. Procesne varijable prihvaća upravljački sustav čime se osigurava funkcija nadzora i prikaza stanja procesa. Ovisno o tehnologiji i zahtjevima procesa obrađuju se prikupljeni podaci koji nakon obrade povratno utječu na proces u funkciji jednostavnog ili složenog upravljanja. Struktura i tehnologija procesa određuju izbor mjerno instrumentacijske i upravljačke opreme, arhitekturu sustava i povezivanja.

Sustavi procesnog upravljanja kakvi se danas koriste proizašli su iz koncepta “instrumentacije” kada je operater upravljao procesom ručno prema instrumentima povezanim na procesnu opremu. Jednostavna komunikacija s operaterom ostvarivana je izvedbom prednjih ploča s instrumentima i shematskim prikazom postrojenja (tzv. sinoptičkih ploča). U sljedećem koraku razdvojene su procesne stanice za upravljanje i nadzor i prikazne ili operaterske stanice. Osnovna zadaća operaterskih stanica jest

realizacija funkcija prednjih ploča procesnih kontrolera, a s brzim napretkom računala integriraju i sve snažnije funkcije.

2.2. Odabir sklopovske i programske opreme telemetrijskog SNU

Implementacija svake od komponenata SNU mora biti tehnički i ekonomski opravdana. Pri realizaciji SNU je bitan pravilan izbor sklopovskih i programskih komponenata, što općenito podrazumijeva:

- odabir glavne (master) ili više glavnih postaja, koja uključuje SCADA softver i eventualno glavni (frontend) programibilni logički kontrolor (engl. Programmable Logic Controller - PLC),
- odabir operatorskog sučelja,
- odabir telemetrijske mreže,
- odabir komunikacijske opreme,
- odabir udaljenih postaja za lokalnu kontrolu (engl. Remote Terminal Unit – RTU),
- odabir odgovarajućih ulazno-izlaznih modula za vezu s upravljanim procesom.

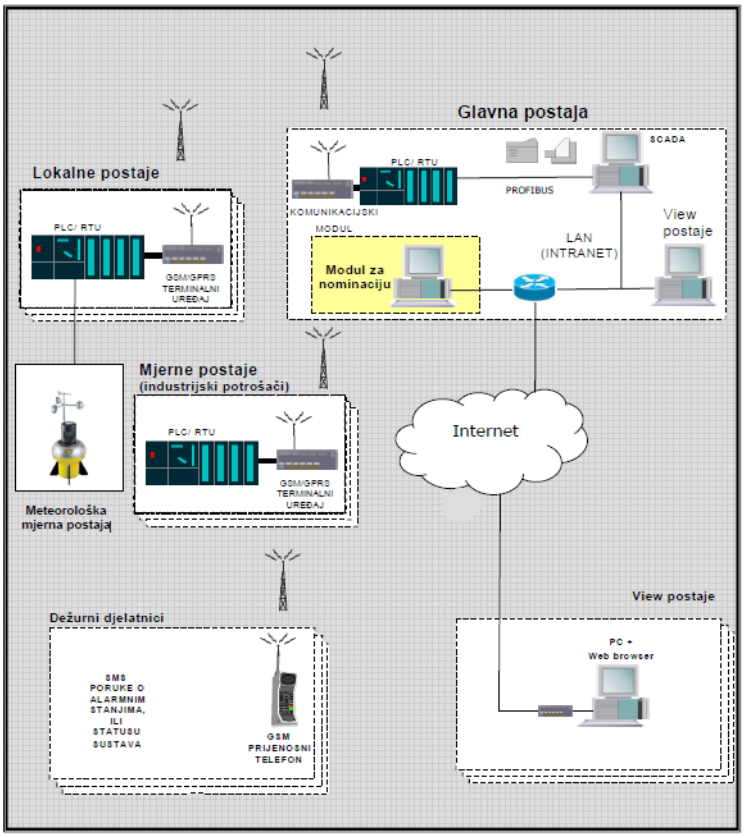
Pri odabiru telemetrijske mreže, treba odabrati topologiju, način rada, prijenosni medij i protokol. Topologija može biti u smislu veze jedne glavne i jedne udaljene postaje, zatim veze jedne glavne postaje s grupom udaljenih postaja, te topologija gdje sve postaje mogu međusobno izravno komunicirati. [2]

Ovisno o topologiji i načinu prijenosa treba odabrati neki od standardnih komunikacijskih protokola. Način prijenosa može biti polu dvosmjerni (half duplex), odnosno dvosmjerna veza uz naizmjence jednosmjernu komunikaciju ili puna dvosmjerna (full duplex) komunikacija uz simultanu dvosmjernu vezu. Naravno, ne smije se zanemariti potreba povezivanja s već postojećom opremom u nadziranom sustavu .

Prijenosni mediji su posljednjih godina doživjeli veliki napredak. Uvode se za potrebe Interneta razvijene tehnologije i u SNU. Pri odabiru prijenosnog medija treba analizirati potrebe aplikacije za prijenosom podataka; smještaj glavne postaje i udaljenih postaja; njihova međusobna udaljenost; raspoložive prijenosne medije; budžet projekta. Odabir se svodi na slijedeće medije: žičana ili optička veza (vlastite ili iznajmljene veze), atmosferski mediji (radio prijenos - potrebna dozvola od ministarstva za promet i veze), te prijenos javnom električnom mrežom. O prijenosnom mediju i potrebama aplikacije ovisi izbor komunikacijske opreme.

Odabir opreme glavne postaje bazira se na zahtijevanoj funkcionalnosti (broju ulaza i izlaza koje treba skenirati, količini podataka koju treba prikupljati, potreba za operatorskim sučeljem), broju udaljenih postaja, korištenom protokolu, te ostalim zahtjevima aplikacije. Izbor udaljenih postaja je uvjetovan izvedbom glavne postaje, zahtijevanim brojem ulaza i izlaza, mogućnošću smještaja i napajanja te zahtijevanim funkcijama. Najčešće se RTU izvode s pomoću PLC-ova, te nešto rjeđe kao decentralizirana periferija. Kod decentralizirane periferije RTU nema procesor za obradu podataka, već se statusi signala preko mreže prenose u nadređenu postaju i natrag.

Operatorsko sučelje u glavnoj postaji uglavnom je PC računalo sa SCADA softverom opremljenim Windows grafičkim korisničkim sučeljem, a ako aplikacija to zahtjeva udaljene postaje mogu imati svoje operatorsko sučelje u vidu računala ili operatorskog panela (samostalne alfanumeričke ili grafičke jedinice).
Kada se definira način rada opreme te krene u projektiranje i izvedbu, svaka promjena nekog od ključnih elemenata donosi dopunske troškove. Ne postoji potpuna kompatibilnost opreme čak ni renomiranih svjetskih proizvođača. Tek u posljednje vrijeme standardiziraju se, primjerice, programski alati za PLC-ove. Ulazak raznih standarda iz svijeta PC računala u PLC hardver pridonosi do neke mjere uniformnosti opreme različitih isporučitelja.
Izrada aplikacije SNU slijedi nakon što je izvršen odabir navedenih komponenti te izrađen izvedbeni projekt elektro i mjerenja regulacije i upravljanja, te s Investitorom usuglašen zadatak (tzv. design freeze).

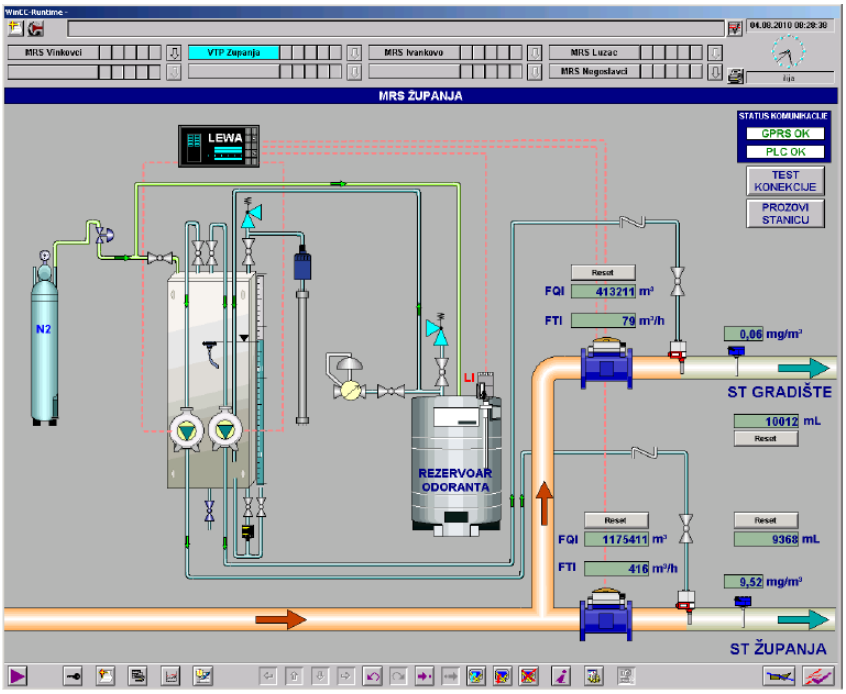


Slika 1. Tipično telemetrijsko rješenje SNU u distribuciji komunalnih dobara

2.3. Prikaz tipičnog rješenja SNU u distribuciji komunalnih dobara
Glavna postaja prikazanog SNU (slika 1.) za realizirana je u formi PC računala sa pripadajućom aplikacijom unutar grafičkog okruženja operativnog sustava Windows. PC računalo je povezano na telemetrijsku mrežu preko tzv. frontend uređaja. Frontend uređaj ima funkciju ostvarivanja komunikacije s Lokalnim postajama. Veza prema PC računalu je brza – LAN veza, a prema periferiji je serijska uz pomoć GSM/GPRS modema. Takva

telemetrijska tehnologija je povoljna i u fazi ugradnje, i u korištenju. Nedostatak je ovisnost o raspoloživosti davatelja GSM DATA M2M usluge. U slučaju nekih havarija ili nevremena može doći do prekida usluge, kada je bitno imati informaciju o stanju u distribucijskom sustavu [3].

Uvriježeni naziv za PC SNU aplikaciju je SCADA. SCADA aplikacija je razvijena u grafičkom okruženju Windows operacijskog sustava. Aplikacija je otvorena u smislu mogućnosti daljeg proširenja sustava i ima mogućnosti potpunog praćenja rada sustava, kao i upravljanje osnovnim parametrima. Pored dojave alarmnih situacija operateru koji upravlja SCADA aplikacijom omogućena je i dojava alarma dežurnim djelatnicima putem SMS poruka u GSM mreži. Funkcionalnost SCADA aplikacije je proširena integracijom nadzora svih funkcija NUS-a i SCADA putem WEB servera , koji omogućava prikaz rada sustava putem Intraneta (Interneta) bez mogućnosti upravljanja sustavom. Funkcionalna sigurnost SCADA sustava je ostvarena obaveznom prijavom korisnika na sustav s ograničenim skupom mogućnosti upravljanja, ovisno o dodijeljenim ovlastima. Moguće je jednostavno arhiviranje prikupljenih mjerenja te prikaz u trendovima, te arhiviranje i prikaz svih alarma iz procesa. Na slici 2. prikazan je primjer procesne slike SCADA aplikacije glavne postaje.



Slika 2. Tipično telemetrijsko rješenje SNU u distribuciji komunalnih dobara

Lokalne postaje imaju zadaću prikupljanja ulaznih i postavljanja izlaznih veličina na uređajima u postaji te prijenosa podataka u i iz Glavne postaje. U prikazanom primjeru postoje dvije vrste lokalnih postaja: lokalne postaje i mjerne postaje. Na lokalnim postajama mjere se različite veličine u distributivnoj mreži, npr. protok medija, koncentracija određene komponente, tlak medija i vanjske temperatura zraka, a od

alarmnih stanja prikupljaju se signali kao što su nestanak napajanja, vrata lokalnog ormarića otvorena, greške mjerenja, minimalna količina kemikalije itd. Drugi tip lokalnih stanica su stanice koje samo mjere i bilježe potrošnju konkretnih potrošača u sustavu te je broj signala koji se prikupljaju značajno manji.

Ugrađeni PLC uređaji u lokalnim postajama su često modularne građe, proširivi u smislu broja i vrste analognih i/ili digitalnih ulaza i izlaza u slučaju nadogradnje postaje. Komunikacija i prijenos podataka u i iz glavne postaje je ostvarena pomoću GSM/GPRS modema. Prijenos podataka je moguće obaviti po prozivu iz Glavne postaje te spontano ako se stanja u Lokalnoj postaji promijene prema ranije zadanim kriterijima. Uz svaki poslani podatak pridijeljen je vremenski žig. Vremenski žig nam omogućava automatsku kronološku rekonstrukciju događaja u slučaju nestanka napajanja na bilo kojoj razini.

3. Vrednovanje integratora SNU

Integratori SNU su inženjerske tvrtke koje dodanu vrijednost realiziraju fokusirajući se na usluge:

- Savjetovanja,
- Integriranih rješenja,
- Korištenja procesnog/tehnološkog znanja,
- Projektiranja i razvoja softverskih aplikacija,
- Usluge podrške,

Usluge dodane vrijednosti kao nadzor, školovanje, održavanje i sl. [4].

Inženjerske usluge općenito, pa tako i usluge integratora SNU nije jednostavno vrednovati što otežava odabir i tehničkog rješenja i integratora koji ga treba realizirati. Kako vrednovati integratora i pronaći takvog koji može zadovoljiti potrebe Investitora bez nepotrebnih rizika i po zadovoljavajućoj cijeni? Ocjenjivanje težinskim faktorima daje najbolju sliku u usporedbi. Kriteriji za odabir se mogu podijeliti u četiri grupe.

Prva grupa kriterija bi trebala poslužiti za procjenu temelja tvrtke. Informacije koje bi trebale, na prvu, dati uvid u činjenicu da li je integrator u stanju održivo poslovati u bližoj budućnosti je uvid u kretanje u tri posljednje godine:

- Godišnjeg prihoda i dobiti, likvidnost, dugovanja i potraživanja (eventualno broj dana u blokadi),
- Broja djelatnika,
- Udjela inženjera u broju zaposlenih.

Navedene informacije su javno dostupne i ne zahtijevaju veliki trud.

Druga grupa kriterija se odnosi na tržište i potencijal integratora. Uvid u tržište se može dobiti pregledom šireg popisa referentnih poslova, a sa stajališta poslova koje investitor misli povjeriti integratoru. Pri tome valja razmotriti, i provjeriti, reference kroz područja:

- Aplikacija,
- Hardvera,
- Softvera,
- Industrijskih branši.

Za ukupnu sliku treba, ako je moguće, prikupiti informacije o slijedećem:

- Koji opseg usluga integrator nudi?
- Koliko iskustva po pojedinoj grupi usluga ima u inženjer godinama?
- Je li certificiran za to područje?
- Slijedi li industrijske prakse i standarde?
- U kojoj mjeri koristi podizvoditelje i kako?

Informacije iz ove grupe, u pravilu, dostavlja sam integrator. Dobro je, metodom uzorka, provjeriti njihovu istinitost kao i zadovoljstvo naručitelja.

Treća grupa kriterija se odnosi na resurse kojima integrator raspolaže. Nakon uvida treba procijeniti ima li integrator dovoljno resursa za efikasnu komunikaciju i izvršenje zadaća koje mu investitor misli povjeriti.

Resursi na koje treba obratiti pažnju su:

- Zaposlenici po strukturi i organizacijskoj shemi, godine iskustva u firmi i pojedinim područjima rada, licence i potvrde,
- Uredski i radionički prostori, podružnice i izmještena radilišta,
- Količina i starost vozila, radioničkog alata, mjerne opreme, materijala na skladištu,
- Računala, softverski alati i licence.

Ova grupa kriterija se može utvrditi izjavama integratora.

Četvrta grupa kriterija se odnosi na kvalitetu poslovanja integratora. Za uvid u karakteristične pokazatelje treba više truda. Ovi kriteriji ukazuju je li integrator u stanju blagovremeno realizirati vrlo kvalitetnu uslugu ili koliko je njegov posao efikasan. Pokazatelji su brojni. Ako integrator ima uveden i certificiran sustav kvalitete poslovanja, te ga provodi, što često nije slučaj, uvid i ocjenjivanje može biti jednostavnije. Djelatnost integracije SNU ima određene specifičnosti koje razlikuju dobrog od lošeg integratora.

Bitniji kriteriji su:

- Vizija, misija, strategija menedžmenta,
- Organizacijska struktura i procedure,
- Ophođenje s računalima i softverskim alatima u tvrtki,
- Postojeće police osiguranja i politika ugovaranja,
- Praksa i metodologija projektnog menedžmenta,
- Standardi u projektiranju,
- Kontrola kvalitete na projektima,
- Postupanje s dokumentacijom,
- Procedure i praksa ispitivanja,
- Rad na siguran način,
- Kontrola kvalitete poslovanja,
- Marketing,
- Izrada ponuda, dopuna, pregovaranje, ugovaranje,
- Procjena rizika i tehnike smanjenja,
- Procjena ugodnosti poslovanja s integratorom
- Iskustva trećih u postprodajnim aktivnostima integratora.

Ova grupa kriterija čini razliku između integratora.

Izrada tablice i ocjenjivanje potencijalnih integratora bi trebalo dovesti do objektivne odluke koji je integrator najbolji za određeni posao ili za početak dugoročnije suradnje.

5. Zaključak

Inženjerske usluge općenito, pa tako i usluge integratora sustava nadzora i upravljanja (SNU) nije jednostavno vrednovati što otežava odabir i tehničkog rješenja i integratora koji ga treba realizirati. U okviru ovog rada je dan opći uvid u SNU u distribuciji komunalnih dobara, vode, plina i toplinske energije, dan je primjer jednog takvog sustava, te su dane smjernice koje bi trebale pojednostavniti proces odabira integratora SNU. U konačnici, cilj je pružiti građanima kvalitetnu komunalnu uslugu po što nižoj cijeni.

Zakon o javnoj nabavi ne daje mogućnost proučiti i vrednovati sve potencijalne ponuditelje u svrhu odabira najboljeg rješenja za investitora. Postoji mogućnost postavljanja kriterija u natječajnoj dokumentaciji koji trebaju dovesti do najboljeg i najpovoljnijeg integratora. Integrator, kao i svaka tvrtka, koja vodi računa o kvaliteti poslovanja i ima dokumentirane procese i procedure i drži se najboljih praksi iz branše, predstavlja potencijalno znatno boljeg partnera/integratora od one koja posluje stihijski.

6. Literatura

[1] mr.sc. Dražen Dorić dipl.inž.el., ELEKTRONIČKI MJERNI SUSTAV ZA PRAĆENJE UTROŠKA ENERGIJE U INDUSTRIJSKIM POSTROJENJIMA, magistarski rad, FER Zagreb 2001.g.

[2] Allen Bradley; Flexible Solutions for Your Supervisory Control and Data Acquisition Needs. *Rockwell Automation Publication* 1560-UM151-EN-P - July 2013.

[3] mr.sc. Dražen Dorić dipl.inž.el., ENERGY SUPPLY MONITORING SYSTEM FOR INDUSTRIAL PLANT, 12th IMEKO TC4 International Symposium Electrical Measurements and Instrumentation September 25–27, 2002, Zagreb, Croatia

[4] Michael D. Witt. Successful Instrumentation and Control Systems Design 2ed// *ISA*, (ISBN 978-1-936007-45-5), 2012.

Testing and qualification of welds in natural gas transmission systems

B. Baptiszta[1,*], J. Rittinger [2] , Sz. Szávai[1]

[1]Bay Zoltán Nonprofit Ltd., Institute for Logistics and Production Engineering, Miskolc, Hungary
[2]Rittinger Engineering, Budapest, Hungary

[*] Corresponding Author. E-mail: balazs.baptiszta@bayzoltan.hu

Abstract
In this paper a testing and qualification method for welds in natural gas transmission systems is presented. This method is part of a detailed guide, which contains specifications about up-to-date testing methods, acceptance levels based on well-known industrial standards like API 1104, BS 4515 and EN 14163, a method for the documentation and statistical analysis of the test results and specifications for unique cases like the testing and evaluation of welds on flange necks or pipe bends.

Keywords: non-destructive testing, weld, natural gas transmission, qualification, pipeline

1. Introduction

In the frame of an industrial project, a reliable, accurate and cost-effective testing and qualification method for welds in natural gas transmission systems was developed by analysing and evaluating the current practice and comparing the results with industrial „best practice“ and by taking the newest R&D results in the field of non-destructive testing into consideration and adapting them.

2. Comparison of the standards

It must be emphasised, that non-destructive testing is not a goal but a tool, which has to be used properly and its result has to be interpreted properly. Quoting ISO 3834-1:
“*Specification of quality requirements for welding processes is important because the quality of these processes cannot be readily verified. Therefore, they are considered to be special processes as noted by ISO 9000:2000*.”[1]

That is the reason why so many standards deal with the testing and evaluation of welded joints, so in first place these standards must be methodised. This can be seen in the following table.

Table 1. Standards concerning non-destructive testing of welds in transmission systems

PRODUCT STANDARDS						
EN 14163	EN 12732	EN 13480	etc.			
QUALITY LEVELS						
ISO 5817	EN 10042	ISO 13919-1				
	ISO 17635					
TESTING STANDARDS						
RT ISO 17636	ET ISO 17643	MT ISO 17638	PT ISO 3452-1	UT ISO 17640	UT TOFD ISO 17640	VT ISO 17637
				ISO 23279		
ACCEPTANCE LEVELS						
RT ISO 10675-1 10675-2	ET ?	MT ISO 23278	PT ISO 23277	UT ISO 11666	UT TOFD ISO 10863	VT ISO 5817

The first row of the table is the product standards, which contain specifications about non-destructive testing considering the significance of the given type of structure. The next row is about standards concerning the quality levels of imperfections in welded joints. ISO 5817 is for arc-welded joints in steels, EN 10042 is for arc-welded joints in aluminium and aluminium alloys and ISO 13919-1 is for welded joints made by high energy density welding processes (electron beam welding, laser beam welding). These standards provide quality levels regardless of the type of non-destructive testing.

2.1. Comparison of the acceptance levels of standards concerning non-destructive testing ISO 17635 takes the standardised testing methods into consideration and derive its levels from the quality levels of ISO 5817, as it can be seen in the following table.

Table 2. Acceptance levels according to ISO 17635 [2]

Testing method	ISO 5817	Technique	Requirement	Acceptance level
RT	B	ISO 17636 B	ISO 10675-1/2	1
RT	C	ISO 17636 B		2
RT	D	ISO 17636 A		3
UT	B	ISO 17640 B	ISO 11666	2
UT	C	ISO 17640 A		3
MT	B	ISO 17638	ISO 23278	2X
MT	C			2X
MT	D			3X
PT	B	ISO 3452-1	ISO 23277	2X
PT	C			2X
PT	D			3X
VT	B	ISO 17637	ISO 5817	B
VT	C			C

15 acceptance levels provided in API 1104, EN 14163 and ISO 5817 were compared to determine, which standard is the most conservative. The result of the comparison between API 1104 and EN 14163 shows that 11 acceptance levels are the same in both standards, 2 acceptance levels differ insignificantly and there are 2 acceptance levels, which cannot be compared because API 1104 does not deal with them. Comparing these product standards with ISO 5817 was more difficult because ISO 5817 uses a marking system (provided in ISO 6520) that differs from the one used by API and other EN standards. So the acceptance levels for similar defects were compared and it shows that ISO 5817 is more conservative than API 1104 or EN 14163. But in this case more conservative does not mean better because gratuitously strict specifications increase the number of repairs and costs and decrease the load-bearing capacity of the welded joint.

3. Guide for testing and evaluation of welded joints

From the results of the comparisons it can be stated that ISO 5817 is too conservative and not specific enough for using it the determination of the quality level of welded joints in transmission pipelines. The more specific API 1104, EN 14163 and BS 4515 were selected instead to be the base of a guide.

The philosophy of the guide can be summarised with another quote from ISO 3834-1:

"*Quality cannot be inspected into a product, it has to be built in. Even the most extensive and sophisticated non-destructive testing does not improve the quality of the product*."[1]

The guide can be evaluated from many different aspects. First, it has to provide sufficient safety to preserve the society and the environment. However, the guide cannot and does not have to provide total safety. The manufacturers would have to produce equipment, which do not have real value if total safety would be expected from them. For example: The knife has edge and tip, it can cut and pierce, so to achieve total safety, the knife should not have either of those. But who needs a knife like that?

On the other hand, every equipment and operation has to be reasonably safe and every data and information, which can help to achieve this safety, should be available any time.

The guide has taken the most commonly used standards in natural gas transmission into consideration, namely API 1104, BS 4515 and EN 14163. But it was not enough to simply copy the specifications from these standards it was also necessary to fit them into the local practice. This did not mean decreasing the safety; on the contrary, by taking the local engineering culture and the competency of the local testing personnel into consideration, the safety increased.

The guide can be used on its own, however it cannot miss the professional workmanship of the user, mostly because testing and evaluating can only be done by qualified personnel, which assumes the knowledge of the relevant standards.

Natural gas transmission systems are made up of elements. The requirements concerning the welded joints of the system elements are the same in every case. However in the case of system failure these elements have different effects on the society and environment. These effects should not be taken into consideration by applying different requirements but by using different safety factors during design.

3.1. Novelty of the guide

In the guide the visual testing has a much bigger role than in the current practice. In most cases visual testing is misinterpreted as surveying. It is not enough to survey a welded joint it must be examined with magnifying glass and gage. Most standards deal with visual testing in the last place. This is wrong because in most cases the order in which the standards deal with testing procedures is viewed as testing order as well.

In the guide the visual testing is in the first place. The testing has three stages: testing before welding to check for impurities and the weld preparation. This is important and has additional lasting effect on the evaluation of the non-destructive testing. Testing during welding, depending on the welding process, to check if the slag and the starting-point and arc craters were removed correctly. And testing after welding to check the surface of the welded joint.

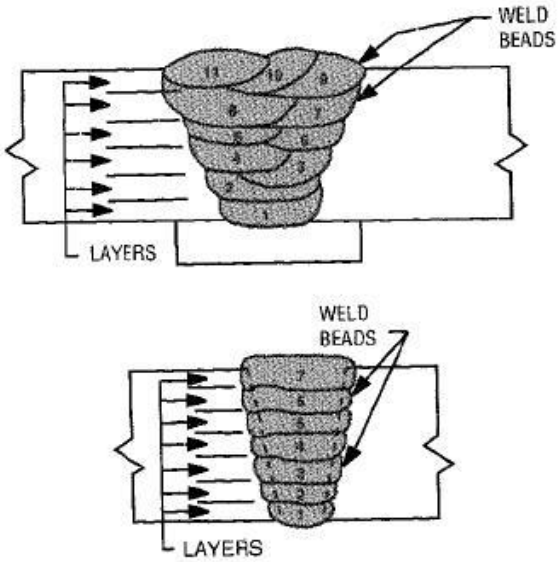


Figure 1. Visual testing of the weld by layers

It is very important to notice that surface defects must be repaired before performing any additional testing. Experts with VT2 qualification cannot necessary perform these tasks. This is the reason why the guide emphasises the introduction of the welding inspector (EWI-B) training. To support this here is a quote from ASME B 31.8 826.2 f:

„*In addition to the nondestructive inspection requirements outlined above, the quality of welding shall be continually controlled by qualified personel*."[3]
Magnetic particle testing is a complementary testing procedure to visual testing. It can detect surface discontinuities and slightly subsurface discontinuities as well. In the following table the magnetic particle testing (MT) is compared with the other two testing procedures for surface discontinuities, penetrant testing (PT) and eddy current testing (ET).

Table 3. Comparison of ET, MT and PT

Testing method	Sensitivity	Repeatability	Level of surface machining needed
ET	1	1	2
MT	2	1	1
PT	3	3*	3
* ET and MT can be repeated infinite times, while PT cannot be repeated at all.			

As it can be seen from the table, magnetic particle testing is not only more sensitive and can be repeated any number of times but the surface preparation does not need to be as strict as in the case of penetrant testing. Repairing surface and slightly subsurface defects is a necessity because they affect the detection and evaluation of volumetric defects.
The older specifications heavily focused on radiographic testing. Ultrasonic testing was only used when the result of radiographic testing cannot be evaluated properly. In this

case the manual ultrasonic testing was sufficient. However automated testing procedures are necessary to achieve 100% ultrasonic testing. Modern ultrasonic testing equipment enables group evaluation and compressed data storage by recording and digitising the test results.

Manual ultrasonic testing can be used for testing of welded joints in metallic materials of thickness greater than or equal to 8 mm [4]. However there are modern techniques, such as TOFD (ISO 10863) and guided wave ultrasonic testing, which allow testing materials with thickness less than 8 mm too.

The guide emphasises the importance of trained testing personnel because manufacturers and operators are heavily thrown back on suppliers when it comes to satisfying their testing needs. The deciding factor in the selection of the supplier is often the cost while preparedness and proficiency are neglected. Another problem with non-destructive technicians is their urge to satisfy their compulsion to conform. They will evaluate even if they are not sure about the result. A typical case is when an elongated slag inclusion is evaluated as a lack of fusion, which has a stricter acceptance level. Groundless repairs are expensive and they worsen the properties of the welded joint. Evaluation knowledge must be increased significantly and it can only be achieved by training. When it comes to bigger projects the testing and evaluating personnel are not the same in the cases of RT and UT. Evaluation is done by a group of 3 to 5 people in one area. This is a perfect opportunity for consultation and to guarantee the homogeneity of the evaluation.

The guide at many points refers to FFP (Fitness-for-purpose) and FFS (Fitness-for-service) as internationally recognised practices. Both methods are good to evaluate imperfections individually and prove their acceptability even if the requirements for the results of routine testing methods are not met, while not risking the safety.

The guide gives specification about the testing and evaluation of linear circumferential pipe welds but it also contains information about unique cases as well.

These are the following:

- welds of reconstruction
- flange welds
- welds on T-sections and reducers
- welds on pipe bends
- welds on operating pipelines
- weld repairs
- welds of corrective actions performed under pressure
- welds of structures and technological establishments

The specifications for the unique cases consist of three parts.
INTRODUCTION, in which the problem (e.g. available time) and the distinctive features of the element (e.g. accessibility, factors restricting the testing etc.) are summarised.
WELDING contains the features of the welding process, which affect the formation and location of imperfections.
TESTING, assumes 100% visual testing, handles the selection and implementation of additional tests.

3.2. Documentation of the test results
According to the guide the documentation (report) should build up from 6 parts.

a. **Heading**, giving information about who carried out the test. The identification data and any other communication of the laboratory (person) carrying out the test.

b. **The subject of the test, the scope of the testing**, the aim is consistent identification (mostly from the point of view of comparing the results of repetitive tests):
    - Customer
    - Order number (identification)
    - Designation, identification number of the weld
    - Material number
    - Dimensions (diameter, wall thickness)
    - Weld shape, weld preparation (according to ISO 9692)
    - Welding process (according to ISO 4063)
    - Number of welder(s)
    - Number of the test plan (provided by the Customer or prepared by the testing personnel and approved by the Customer. The method is included in the guide.)

c. **The testing technology**. Included in the guide. It should be provided partly by a statement that the guide was fully followed and partly numerically according to the testing procedures.

d. **Extent of testing** given in words, e.g. 100%, limited (<100%) extent. Is the testing location appointed by the Customer or the testing personnel? In the case of limited extent the location should be provided on a draft. Permanent marking of the location and the zero point (or unambiguous definition, e.g. the top point of the pipe), providing the direction of rotation because of circular symmetry (e.g. clockwise, but the viewing direction is identical to the streamline).

e. **Test results, acceptance level**, its structure and content depend on the testing methods, detailed in the guide.

f. Name and qualification of the person inspecting the test, name and qualification of the testing personnel, name and qualification of the supervisor**, the exact time of the test together with signatures and the report number.**

Block **a.**, **b.** and **f.** applies to all testing methods, the other blocks vary according to the methods.
This structure has an importance because block **a.** is an internal matter of the laboratory (carrying out the test). It is a formality with the restraint that a postal address should be included and a post office box cannot be allowed as an address.
Block **b.** should be filled in by the Customer as he/she holds the respective data. If the test plan is not provided by the Customer, then it should be elaborated by the testing laboratory and should be approved by the Customer. The temperature at the time of the test is an information recorded during testing. The temperature can significantly influence the goodness of the test. (In the case of PT, temperature is a technological parameter. In a PT report it is given in block c. In this case this is not required as it is not included in the guide.)
Blocks **c.**, **d.**, **e.**, and **f.** are filled in by the testing laboratory / testing personnel.

3.3. Method for statistical analysis of test results
As the proposed documentation system holds a large amount of data and textual information, one should be aware of the ways of storing these data in a database, ready for any kind of statistical analysis. This does not only require software engineering, but also the daily task of recording the data in the database. The easiest way of performing this task is to acquire these data from the material testing companies in an electronic form (such as an Excel spreadsheet) from which the data can automatically be uploaded into the database using a special program. However, as the reports must be presented in a printed and signed format, it is practical to store the scanned version of the signed report in the database as well. This makes it easier to look up the reports or check the data.
The data which can be utilized in a statistical analysis and therefore should be stored in a database can be divided into two groups and statistical analysis can be performed on them individually or in correlation to each other. These two groups are the following:

<u>Data which cannot be related to testing methods:</u>

- Designation according to the number of the weld (for identification)
- Number of the welder
- Name of the material testing specialist
- Type of weld
- Typical dimensions (diameter x wall thickness)
- Material quality

Advised satistical analyses related to these data:

- Number, ratio of defective welds produced by a given welder, according to:
  - the type of weld
  - the typical dimensions
  - the material quality
- Number, ratio of defective welds found by a given material testing specialist (company), according to:
  - the type of weld
  - the typical dimensions
  - the material quality

Data which can be related to testing methods:

Visual testing (VT):

- Type of imperfection (according to ISO 6520-1)

Magnetic particle testing (MT):

- Type of imperfection (according to ISO 6520-1)
- Satisfactory / non-satisfactory
- Location of indication (measured from the zero point in the direction of rotation)

Radiographic testing (RT):

- Type of imperfection (according to ISO 6520-1)
- Satisfactory / non-satisfactory / satisfactory after repair
- Location of the detected imperfection from the zero point in the direction of rotation

Ultrasonic testing (UT):

- Interpretation of the signal according to ISO 23279 (two-dimensional or three-dimensional imperfection)
- Satisfactory / non-satisfactory
- Location of the defective section

It is important to note that in the case of UT, MT and RT the report contains the circular welds that are satisfactory / non-satisfactory / satisfactory after repair. Repairing can be allowed two times, after that there are two cases: either the entire circular weld is cut out and a pipe with a length of l=2D is welded in with two welds, or the FFP (Fitness-for-purpose) analysis is carried out and a decision is made based on the results. The imperfection statistical analysis of transmission lines should be carried out based on the defective welds related to the satisfactory welds, depending on the length of the imperfections. Unlike the case of installed production where the length of imperfections is related to the length of the weld.

Advised statistical analyses:

- Number, ratio and location of the imperfections found during various tests, according to:
  - the types of imperfections
  - typical pipe dimensions
  - material qualities
- Number, ratio of all defective (non-satisfactory) welds, according to:
  - typical pipe dimensions
  - material qualities
  - the type of weld

4. Conclusions

The guide demonstrated in this paper deals with a method for the testing and qualification of welds in natural gas transmission systems. The most commonly used industrial standards provide the base of the guide but it is structured in a way that it can be modified to adapt to the local practice by taking the qualification of the NDT technicians of the given country into consideration. It also gives useful information about the proper documentation of the test results so they can be easily integrated into an electronic database which helps the monitoring of the effectiveness of the qualification method by performing statistical analyses. However the real strength of the guide comes from the fact that it combines decades of industrial experience with the latest results in the field of non-destructive testing.

5. References

[1] ISO 3834-1: Quality requirements for fusion welding of metallic materials – Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements – standard
[2] ISO 17635: Non-destructive testing of welds – General rules for metallic materials – standard
[3] ASME B 31.8 – Gas transmission & Distribution Piping Systems – standard
[4] ISO 17640: Non-destructive testing of welds – Ultrasonic testing – Techniques, testing levels, and assessment – standard

Conservative or Reliable; Overview of Pipeline Assessment Procedures of Corrosion Defect in the View of the Cost Effective Operation

Sz. Szávai*, R. Beleznai, Sz. Jónás

Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Applied Research, Institute for Logistics and Production Engineering (BAY-LOGI), Miskolc, Hungary

* Corresponding Author. E-mail: szabolcs.szavai@bayzoltan.hu

Abstract

The aim of the paper is to give a preview of the study, where a comparison is made between the most often used methods in the industry and new modern assessment procedures that are available at the international level considering results of rupture test of pipes to find the most economic method for corrosion defects without decreasing the safety level. The paper shows that there is no connection between the conservativeness and the reliability.

Keywords: pipeline, local corrosion defect, design method, multi-level assessment method

1. Introduction

No national standard or procedure exists for assessment of metal loss defects (corrosion, mechanical damage) in Hungary, only different international standards and engineering methods are available. For monitoring the state of the pipeline system smart pig tool is used. For assessment of the discovered defect during in-line inspection, which needs immediate intervention, an appropriate design method is required, which provides solution to determine the actual state of the pipeline and the type of the intervention. In practice, the longitudinal extension and the depth of the defects should be known for the assessment, the circumferential extension is less important.

The passed time and the gained experience since the last development require the review and further development of the applicable methods, as has been shown that the applied methodology suggests such high-cost engineering measures in numerous cases, in which necessity is not verified using numerical analyses and experimental tests based on inspection of excavated pipe.

Introduction of new less conservative procedures for assessment of metal loss defects, increasing the reliability level and decreasing the amount of defects, what should be corrected because of strength without increase the risk of the failure. This provides a cost effective operation.

1.1 Objectives

The aim of this study is to make comparison between the most often used methods in the industry and the new modern assessment procedures that are available at the international level taking into account the results of rupture test of pipes tested at the University of Miskolc.

The following methods should be compared:

- ASME B 31G
- Modified ASME B 31G
- RSTRENG
- DNV RP-F101
- PCORRC
- SHELL 92
- CPS
- SAFE

In comparative studies, the usability limitations and general guidelines for the application of the methods should be taken into account (like applicable boundary conditions for the given dimension and material, types of defects or other parameters, respectively). To choose the best design method(s), the following attention should be paid to:

- the reliability of strength assessment of metal loss defects should be increased,
- the risk of the occurrence of the failure should not be increased,
- low device and other financial investment claim

Measurement of the data needed for the calculations should be performed under field conditions on the operating pipeline in the excavation hole taking into account the measurement accuracy due to circumstances on the field.

2. Assessment and comparison of the most often used methods in the industrial practice

The **ASME B31G** American standard was generally applied in the ’80s in the hydrocarbon industry. The ASME B31G criterion is developed based on full scale tests of pressure to failure corroded pipes. It allows determination of the remaining strength of the corroded pipes and estimates the maximum allowable operating pressure. The corroded area is approximated depending on the defect length as parabolic (for short defect) or rectangular shape (for long defect), [3]. Later, based on this standard new and new procedures and methods are developed.

The B31G method was found to be too conservative and has been modified. One of the most significant changes to the original B31G method is the defect geometry approximation. Corrosion area is defined by 0.85dL in the **Modified ASME B31G** standard [3]. This method removes some conservatism by changing the flow stress limit to SMYS + 69 MPa.

The **RSTRENG** method [3], which is design software, is based on the Modified ASME B31G Modified standard, and differs from it in the geometry description of the defect. The RSTRENG considers the actual profile of the defect, while the Modified ASME B31G assumes a simplified geometry. Therefore more measurements have to be done to determine the bottom profile, but for this the corroded pipe should be uncovered.

The **DNV RP-F101** [2],[3] guidelines provides guidance on single and interacting defects only under pressure and combined loading. Two methods are provided: a partial safety factor method and an allowable stress design method. In the allowable stress design approach, the failure pressure of the pipe is calculated and multiplied by safety factors. These factors may be based on design factor and can consider uncertainties.

Battelle has selected to use an exponential function for the capacity equation which is called **PCORRC** [3]. On comparison with experimental test result, estimation of PCORRC equation proved to be conservative and the closest one when using 95% of UTS of tensile test.

The **SHELL 92** method is developed based on the procedures developed by Klever and Stewart [7],[6] for assessment of corroded pipelines. It provides an assessment method for pipe and pressure vessels containing local wall-thinning corrosion defect. The method can be applied in case of plastic collapse, but in case of brittle fracture the application of the method is not recommended.

The **CPS** procedure [4] is a computer code for assessment of complex corrosion defects. The code is based on the WDD (Weighted Depth Difference) Model, in which the failure pressure of the flawless pipe denotes to the upper limit of the failure pressure of the corroded pipe. While the failure pressure of the pipe containing infinite long defect is equivalent to the lower limit of the failure pressure of the corroded pipe. Using the lower and upper limits obtained by the WDD model, the failure pressure of a given corroded pipe can be determined. The method is based on the elastic-plastic calculation.

The Shell Analysis Failure Envelope (**SAFE**) computer program is developed by SwRI. Using this program, the safety of corroded pipe can be assessed and decision made regarding whether to excavate a specific corroded area of the pipe and whether to add a sleeve to the exposed area [5]. Engineering calculations embedded in the SAFE program to predict the failure pressure of the given corroded pipe have been calibrated and validated against full-scale experiments and finite element analyses.

Some of the abovementioned procedures to determine the failure pressure uses the ultimate tensile strength instead of the yield stress, in the other hand, different Folias-factors are also applied. For the assessment guaranteed material properties and guaranteed minimum wall thickness are necessary. If guaranteed data are not available, then it should be checked whether the available data can be safely applied using the conservative assessment method or more accurate measurement for the input data is necessary. The Operator is responsible at all times for the data necessary for the assessment. Nevertheless, if standard data are not available or the decrease of conservatism of the assessment is required, it is possible to use the data from the material certification or it can be determined by experimental test. Using instrumented hardness

test technique, which is a non-destructive method of determining the required material properties (yield stress, ultimate tensile strength), test can be performed on-site.

Most of the procedure uses the simplified defect shape, however, there are also such ones, which need more accurate and detailed defect profile. For example, the RSTRENG procedure requires the defect depth in very short distances to determine accurately the projected area of the corrosion defect. The CPS method requires also the defect depth in several points, while the SAFE procedures need the whole accurate geometry of the defect (depth, width and length).

In advance, based on the reviewed standards and literature the ASME B31G and SHELL 92 methods seem to be the most conservative, while the modified ASME B31G, DNV, CPS and SAFE procedures are less conservative (however, the latter ones require more accurate input data). To draw the conclusion from the literature study, no changes can be recognized in the expressions of the assessment methods in the last 10 years. New editions, of course, are available from the standards or procedures, but they are mostly extended regarding the validity range – validation tests are performed for new materials, so the methods can be applied in a wider range of materials than the previous versions.

3. Comparison of the data of the rupture test of steel pipelines containing metal loss defect and results of different assessment methods

The aim of this study is to give a preview on the comparison that is made between the assessment procedures and experimental tests based on available rupture test data from the international literature and measurements performed at the University of Miskolc. The range of analyzed pipe diameter is 300-800mm and the thickness varies between 6.3-16mm. The materials of the pipelines are quite different: L360MB, L415MB, L450 MB, L480MB, X46, X52, X60, X65. The nominal dimensions of the pipe and defect are usually available (Fig. 1), and the material properties are taken from the standards for the calculation, if measured data is not available.

The obtained results from different analytical methods are compared to the data from the experimental rupture tests. The first conclusion is that any of the assessment methods can be applied at lower d/t value (d/t<0.4), the DNV and the PCORRC provide less conservative result what follows the modified ASME B31G. At higher d/t ratio (d/t>0.4) several data points can be found, where the methods overestimate the failure pressure. The SHELL 92 and the ASME B31G remain stable in the conservative region. However, application of these methods results in too much conservatism, and in this way increases the number of the excavations and maintenance. Thus, additional considerations must be done.

Based on the comparative and sensitivity calculations in a given application range the modified ASME B31G, DNV and BS 7910 provide less conservative failure pressures in case of deeper defects (d/t>0.5). In case of larger pipe diameter and shorter defect length the modified ASME B31G is a bit more conservative, but at L/(Dt)^0.5>4.5 the DNV and BS 7910 become more conservative. The most conservative result can be obtained

using SHELL 92 procedures, except for pipes with smaller diameter (DN300) and longer defect length, where the ASME B31G will be the most conservative for deep defects.

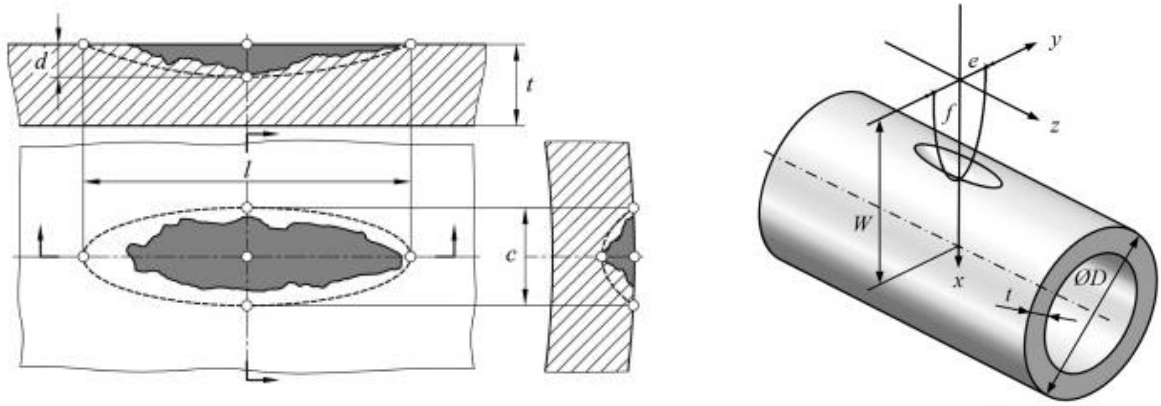


Figure 1. Defect and pipe geometry used for the assessment, [1]

Analyzing the measured data and the calculated results in function of defect length, it can be seen that only the modified ASME B31G provides non-conservative failure pressure at relatively longer defects. For other standards, this phenomenon occurs at short defects. It can be observed, – except for very short defects, – the result obtained using DNV method is correlated well with the experimental values.

The fact that a non-conservative result means real operational risk, and it does not arise from the fact of the non-conservatism in itself. If the method is mistaken within the region where the failure pressure is multiple of the authorization pressure, or on the contrary, the calculated data is under the authorization pressure, the defect does not cause neither increased risk nor higher cost. A method in the given application area is not appropriate, if it assess the defect acceptable, when the real failure pressure is under or significantly over the authorization or test pressure.

Based on the comparison and the abovementioned findings, the conclusions can be drawn from the diagram (Fig. 2), where the predicted failure pressure is plotted in function of measured failure pressure. However, the modified ASME B31G overestimates the measured values in several cases; moreover, the estimated values fluctuate between extreme high limits. In contrast, the DNV method has less scatter in the results and provides the estimated failure pressure close to the measured values in slightly conservative way. In case of DNV failed estimation can be found only when the measured failure pressure is much higher than the authorization pressure.

For the results of ASME B31G, mod. ASME B31G, RSTRENG and DNV methods trend lines are generated (the colour of the equations in the diagram are consistent with the mark of the data series, and the trend lines intersect the vertical axis in the origin). All trend lines follow the measured values in a conservative range. The trend lines of the DNV and mod. ASME B31G closely approximate the measured values, however, the trend line of the RSTRENG is also not so far from them and has much better R degree. Since the RSTRENG requires more precise input data, the DNV is recommended for application when only data from in-line diagnostic inspection is available. Later, after the excavation, in case there is large difference between measured values and smart pig data, the

RSTRENG method can be applied. In case of significant difference again the DNV method can be used. The DNV seems to be safer and more cost effective method than others based on the available experimental data. The mod. ASME B31G cannot be considered as such reliable method, like the DNV due to the larger scatter and the overestimation of the failure pressure according to the processed measurement data. Analysing further Fig 2., two limit pressures can be chosen (blue lines). The horizontal line designates the design pressure while the vertical straight line shows the authorization pressure (usually the both are the same). The two lines divide the chart into four quadrants. In our case, both the design and the authorization pressures are taken up to 64 bar.

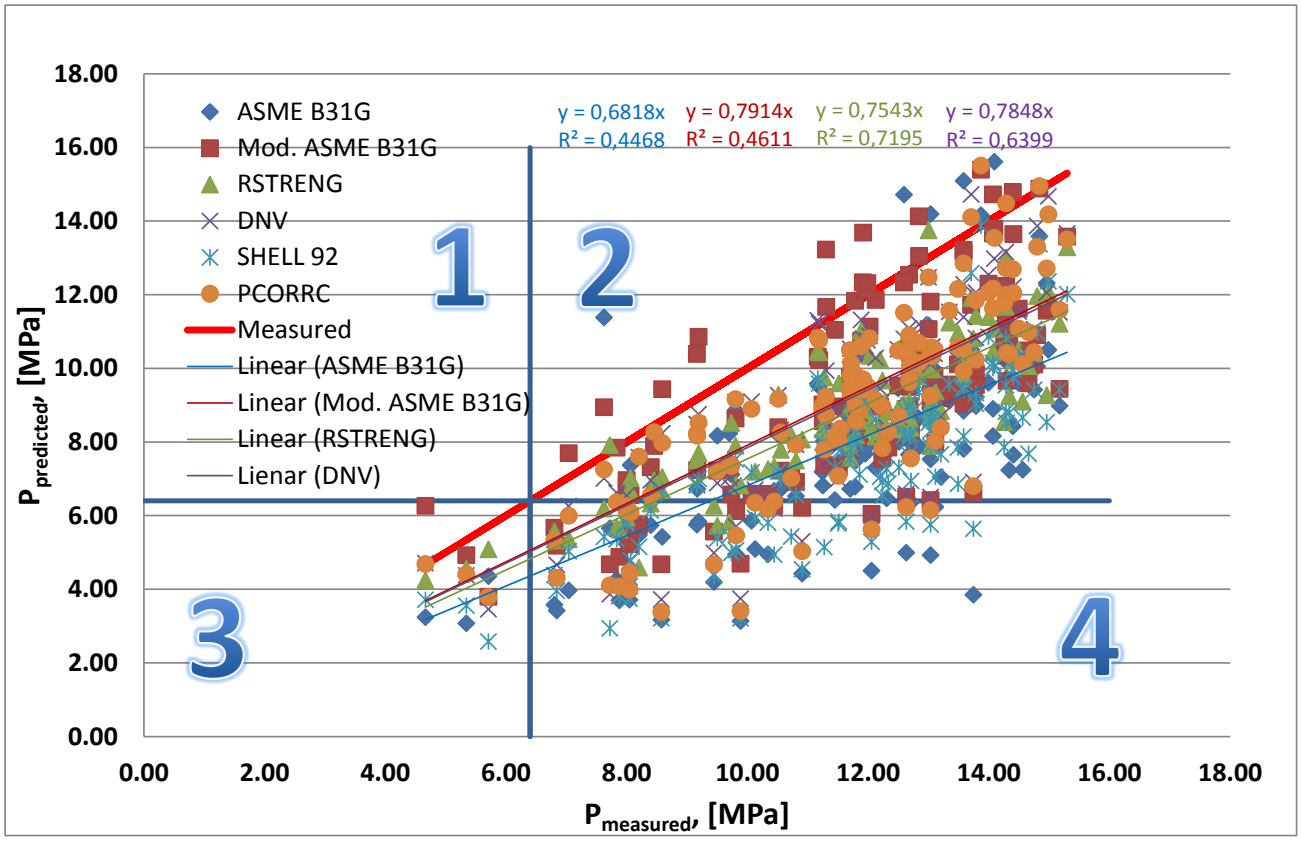


Figure 2. Predicted failure pressure vs. measured burst pressure

Quadrant 1 area would include those points, that are estimated above the design values due to non-conservatism, but the real failure pressure is under this value so the result is "unexpected" failure. Method that gives point here, are strictly not applicable. Luckily no any point is there. Those points can be found in the Quadrant 2, for which the failure pressure is higher than the given authorization pressure or the design pressure. In this case no inspection or excavation required, the pipe operates in safe. This region is the safety operation zone. The points in the third quarter (Quadrant 3) belong to those cases when the pipe should be excavated and inspected. Here, both failure pressure, the estimated and the measured one, is lower than the design pressure, thus, a kind of maintenance is needed. In the fourth Quadrant, the measured failure pressure values are

higher than the authorization pressure, but estimated one is lower than the design pressure so the pipe would be excavated and repaired although it is not necessary. This is the quadrant of the unnecessary maintenance that increases the costs without any scene.

Accordingly, a chart is plotted based on the available measurement and calculated data, which shows how many pipes exist in the fourth Quadrant, which should not be excavated (Fig. 3). This chart shows in case of different assessment methods according to the available database how many per cent of the data (pipes) should not be excavated. This can help in finding better method to reduce the number of excavations. These are the RSTRENG, DNV and the mod. ASME B31G. It should be noted that instead of the mod. ASME B31G the DNV is recommended because based on the large amount of data compared with the measurement results and it provides more reliable results.

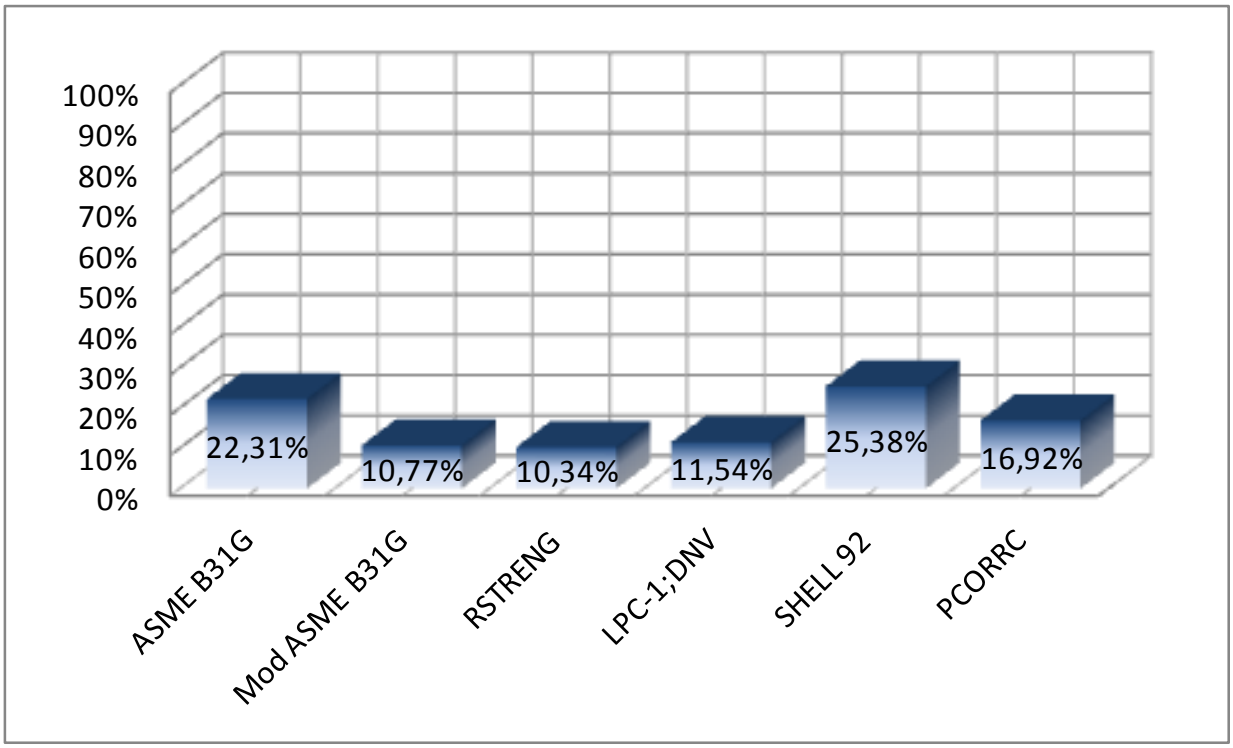


Figure 3. Percentage of that amount of pipes, which does not need excavation according to different assessment methods

4. Conclusions

The aim of the research is to perform critical and comparative analysis of assessment procedures for pipelines based on available experimental tests for a given range of pipe diameters, thickness and materials. The reviewed procedures are the following: ASME B31G, modified ASME B31G, RSTRENG, DNV-RP-F101, SHELL 92, PCORRC, CPS, SAFE, and BS 7910 method. In the paper these methods are described in detail, but the comprehensive summary is provided about the work and the obtained results. It is concluded from the study that ASME B31G and SHELL 92 are conservative procedures, while the modified ASME B31G, DNV and BS 7910 are less conservative ones.

The available experimental results are gathered into a database from the national and international literature. Calculation of the failure pressure is performed based on the rupture test data using different design methods. From the results it is observed that the modified ASME B31G method can overestimate the failure pressure in the given range of pipe geometry and material. DNV provides the best approach with small scatter in the result. The DNV seems to be safer and more cost effective method than others based on the available experimental data.

If data arise from an in-line diagnostic inspection, the measured values are recommended to increase with an uncertainty value. The accuracy can be improved, if any of the input data can be clarified. In case of excavated pipes there is possibility to measure precisely the defect geometry, to perform instrumented hardness test for receiving the actual material properties of the pipe.

5. References

[1] G. Fekete; L. Varga. The effect of the width to length ratios of corrosion defects on the burst pressures of transmission pipelines. Budapest University of Technology and Economics (BME), Department of Machine and Product Design, Hungary, 2011.
[2] Det Norske Veritas – Recommended Practive RP-F101 Corroded Pipelines, 1999.
[3] Belachew C. T.; Mokhtar C; Ismail, Saravanan K. Evaluation Of Available Codes For Capacity Assessment Of Corroded Pipelines. Universiti Teknologi PETRONAS, Mechanical Engineering Department, Bandar Sri Iskandar, 2009.
[4] Duane S. Cronin; Roy J. Pick. Prediction of the failure pressure for complex corrosion defects // Int. Journal of Pressure Vessels and Piping 79 (2002), 279-287.
[5] http://www.swri.org/3pubs/ttoday/fall96/pipe.htm
[6] F. Caleyo; J. L. González; J. M. Hallen. A study ont he reliability assessment methodology for pipelines with active corrosion defects // International Journal of Pressure Vessels and Piping 79 (2002), 77-86.
[7] Ainul Akmar Mokhtar; Mokhtar Che Ismail; Masdi Muhammad. Comparative Study between Degradation Analysis and First Order Reliability Method for Assessing Piping Reliability for Risk-Based Inspection // International Journal of Engineering & Technology IJET, 9 (2009), 10; 99-104.

Predviđanje potrošnje prirodnog plina pomoću prilagodljivog neuro-neizrazitog sustava zaključivanja
Natural gas consumption forecasting using adaptive neuro-fuzzy inference system

I. Svalina[1,*], G. Šimunović[1], K. Šimunović[1], B. Soldo[2]

[1]Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska
[2]HEP-Plin d.o.o., Osijek, Hrvatska

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: isvalina@sfsb.hr

Sažetak

Predviđanje potrošnje prirodnog plina jedan je od osnovnih alata za uravnoteženje transportnog sustava prirodnog plina. Opskrbljivači plina imaju obavezu, sukladno zaključenim ugovorima o dobavi prirodnog plina, nominirati buduću potrošnju na dnevnoj bazi, unutar ugovorenih tolerancija. Pogrešno nominiranje buduće potrošnje prirodnog plina ostaje bez posljedica u slučaju nominacije unutar zadanih tolerancija, dok se u slučaju prekoračenja ugovorenih tolerancija plaćaju penali za pogrešnu nominaciju. Kako bi izbjegli plaćanje penala, opskrbljivači plina u Republici Hrvatskoj trebaju alat za što preciznije predviđanje buduće potrošnje prirodnog plina, sve u cilju ostvarenja što boljih poslovnih rezultata. U ovom radu je predstavljen model predviđanja potrošnje plina na temelju prilagodljivog neuro-neizrazitog sustava zaključivanja (ANFIS). Za modeliranje plana ulazno/izlaznih podataka korišteni su povijesni podaci potrošnje plina za pet mjernih stanica u Vukovarsko-srijemskoj županiji za godišnja razdoblja 2010/2011 i 2011/2012. Model predviđanja kreiran je na način da za svaki od tri dana unaprijed predviđa potrošnju plina. Model predviđanja potrošnje plina se generira na temelju plana ulazno/izlaznih podataka pomoću metode prilagodljivog neuro-neizrazitog sustava zaključivanja (ANFIS), a predstavlja sustav neizrazitog zaključivanja (FIS). Bitno je naglasiti da se za svaki dan predviđanja generira posebni sustav neizrazitog zaključivanja (FIS) pomoću metode prilagodljivog neuro-neizrazitog sustava zaključivanja (ANFIS), a jedina je razlika što se za svaki posebni sustav neizrazitog zaključivanja (FIS) koriste različiti podskupovi za treniranje i provjeravanje te se drugačije kreiraju ulazne varijable. Na kraju rada su dane kvalitativne i kvantitativne ocjene za ovaj pristup predviđanja potrošnje prirodnog plina koje pokazuju da je ovaj pristup koristan za predviđanje unutar svojih ograničenja.

Abstract

Natural gas consumption forecasting is one of the main gas transportation system balancing tools. Local supply companies are obligated, according to the gas supply contracts, to nominate future natural gas consumption at daily basis, inside agreed tolerance interval. Incorrect nomination of the future gas consumption is without

consequence, if it is inside tolerance interval. Otherwise, penalty rule is applied. In order to avoid penalty and to achieve good business results, local supply companies have to use accurate forecasting tool. In this paper, a model predicting gas consumption based on adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) is proposed. For the modelling of the plan of input/output data, historical data of gas consumption from five measuring stations in Vukovarsko-srijemska county for periods 2010/2011 and 2011/2012 were used. Prediction model is created in a way that the gas consumption is predicted for the next three days, for each day in advance. Prediction gas consumption model is generated on the basis of input/output data using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and it presents a fuzzy inference system (FIS). It is important to emphasize that a separate fuzzy inference system (FIS) by the method of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) is generated for each prediction day. The only difference is that for each separate fuzzy inference system (FIS) different sub-sets of the training and checking are used and the input variables are created in a different way. At the end of the paper qualitative and quantitative estimates of the proposed natural gas consumption prediction were given, showing that this approach is useful for prediction within its limitations.

Ključne riječi: predviđanje potrošnje prirodnog plina, prilagodljivi neuro-neizraziti sustav zaključivanja (ANFIS), neizraziti sustav zaključivanja (FIS)

1. Uvod

U posljednje vrijeme 'Soft Computing' je trend, koji je u vidljivom porastu. Pojam 'Soft Computing' doslovno preveden na hrvatski jezik znači 'Meko računalstvo', međutim taj pojam nije rado prihvaćen u hrvatskoj literaturi. 'Soft Computing' predstavlja skupinu metoda koje oponašaju ljudsku inteligenciju s ciljem stvaranja alata koji imaju ljudske sposobnosti (kao što su učenje, zaključivanje i donošenje odluka), a temelje se na neizrazitoj logici, neuronskim mrežama i tehnikama probabilističkog zaključivanja kao što su genetički algoritmi [1]. Primjenom ovih metoda moguće je izgraditi inteligentne strojeve ili softvere koji će biti sposobni oponašati inteligentno ljudsko ponašanje, što se danas naziva umjetnom inteligencijom. Većina ovih metoda je poznata duže vrijeme u svojim teorijskim oblicima, međutim primjena ovih metoda doživljava svoj procvat u zadnja tri desetljeća kako u znanosti tako i u svakodnevnom životu. U gotovo svim znanstvenim područjima se primjenjuju 'Soft Computing' metode, od ekspertnih sustava [2] preko neuro-neizrazitih sustava [3] pa sve do evolucijskih metoda [4].

Kada se govori o prognoziranju ili predviđanju potrošnje prirodnog plina, metode umjetne inteligencije također zauzimaju veliki istraživački prostor. U radu [5] je korišten neuro-neizraziti multivarijantni algoritam za poboljšanje prognoze i analize dugoročne potrošnje prirodnog plina u Južnoj Americi. Autori u radu [6] koriste prilagodljivu mrežu na temelju neizrazitog sustava zaključivanja (ANFIS) za procjenjivanje kratkoročne potražnje prirodnog plina za Iran od 22.12.2007. do 30.06.2008. godine. Rezultati su pokazali da ANFIS daje točnije rezultate od umjetnih neuronskih mreža i konvencionalnog pristupa vremenskih serija. U radu [7] je kreiran model predviđanja potrošnje plina na regionalnoj

razini koristeći neuronske mreže. Modeli predviđanja pomoću neuronskih mreža su generirani na temelju povijesnih podataka jednog hrvatskog operatora distribucijskog sustava. Na temelju srednje apsolutne pogreške izabran je najbolji model neuronske mreže te su određene smjernice koje mogu biti korisne za istraživače i praktičare u ovom području. Višeslojna perceptronska umjetna neuronska mreža i pristup vremenskih serija se u radu [8] koriste za prognoziranje kratkoročne potrošnje prirodnog plina na regionalnoj razini, u Turskoj. Iako je broj podataka bio mali, predloženi algoritam dobro prognozira kratkoročnu potrošnju prirodnog plina te daje ohrabrujuće i smislene rezultate korisne za energetsku politiku ulaganja u budućnosti. U radu [9] je razmatran problem prognoze potrošnje prirodnog plina na temelju satnih kretanja temperature i potrošnje prirodnog plina za područje grada Osijeka pomoću matematičkih modela. Rezultati su pokazali da se najprihvatljivija prognoza dobiva matematičkim modelima u kojima su potrošnja prirodnog plina i temperatura povezane eksplicitno. Analiza i sinteza objavljenih radova iz područja prognoziranja potrošnje prirodnog plina od prvog pojavljivanja rada iz ovog područja do kraja 2010. godine su dane u radu [10]. Pored toga, autor je podijelio objavljene radove iz područja prognoziranja potrošnje plina u nekoliko grupa prema: opsegu ili području predviđanja, razdoblju predviđanja, korištenim podacima potrošnje plina i alatima predviđanja.

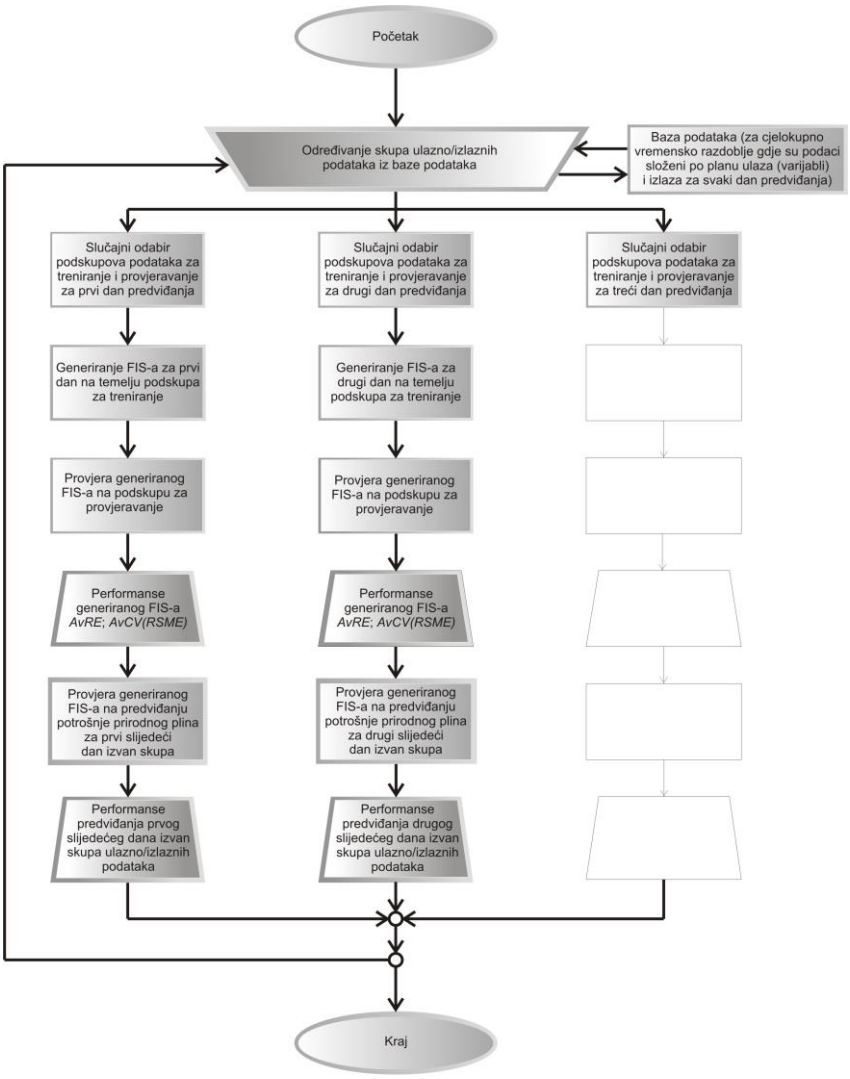
Ovaj rad se prema prethodnoj kategorizaciji ubraja u: područje predviđanja s obzirom na razinu operatora distribucijskog sustava, razdoblje predviđanja je po danu, korišteni podaci potrošnje plina su po danu i korišteni alat predviđanja je prilagodljivi neuro-neizraziti sustav zaključivanja (ANFIS).

2. Opis problema i cilj istraživanja

Kao što je već navedeno, problem predviđanja potrošnje prirodnog plina je aktualni istraživački problem. Znanstvenim istraživanjima korak po korak će se poboljšavati modeli predviđanja potrošnje prirodnog plina te će se na taj način sve više i više povećavati zarada određenih subjekata koji se bave opskrbom prirodnog plina ili će ih pametno planiranje ostaviti u tržišnoj utakmici s obzirom na druge konkurente. Iz tog razloga je odlučeno napraviti model predviđanja potrošnje prirodnog plina korištenjem povijesnih podataka potrošnje prirodnog plina i prosječne dnevne temperature jednog hrvatskog opskrbljivača, kako bi se dobio uvid u složenost problema i donijeli određeni zaključci.

Izlaz modela predviđanja je dnevna potrošnja prirodnog plina. Za kreiranje plana ulazno/izlaznih podataka korišteni su povijesni podaci jednog hrvatskog opskrbljivača prirodnog plina. Model predviđanja je kreiran tako da za svaki od tri dana unaprijed prognozira potrošnju prirodnog plina. Osim toga simulira se vremenski tok kroz povijest pri čemu se prvi skup ulazno/izlaznih podataka sastoji od podataka dnevne potrošnje prirodnog plina i prosječnih dnevnih temperatura u vremenskom razdoblju od 01.10.2010. godine do 05.02.2012. godine. Na temelju prvog skupa ulazno/izlaznih podataka generira se model predviđanja pomoću metode prilagodljivog neuro-neizrazitog sustava zaključivanja, a predstavlja sustav neizrazitog zaključivanja. Model je kreiran tako da se za svaki od tri dana generira posebni sustav neizrazitog zaključivanja na temelju istog skupa

ulazno/izlaznih podataka koji se dijeli tako da se 90% podataka koristi za treniranje, a 10% podataka za provjeravanje sustava neizrazitog zaključivanja. Podaci se u podskup za treniranje i podskup za provjeravanje dijele slučajnim odabirom s različitim rasporedom ovih podskupova za svaki od tri promatrana dana. Nakon toga se predstavljaju performanse za svaki od sustava neizrazitog zaključivanja s obzirom na dan predviđanja pomoću prosječne relativne pogreške *AvRE* i prosječnog koeficijenta varijance korijena srednjeg kvadratnog odstupanja *AvCV(RSME)*. Ono što čini razlike između generiranih sustava neizrazitog zaključivanja po danima predviđanja su već spomenuti različiti podskupovi za treniranje i provjeravanje, te drugačiji odabir ulaznih varijabli.
Zatim se skup ulazno/izlaznih podataka mijenja na način da se pomiče za tri dana unaprijed nakon čega se ponavljaju gore navedene aktivnosti. Bitno je naglasiti da se pomicanje skupa ulazno/izlaznih podataka događa 26 puta gdje su zadnji podaci u 26. skupu ulazno/izlaznih podataka prosječna dnevna temperatura i dnevna potrošnja prirodnog plina na 23.04.2012. godine. Na slici 1. prikazana je shema cjelokupnog modela predviđanja.



Slika 1. Shema modela predviđanja

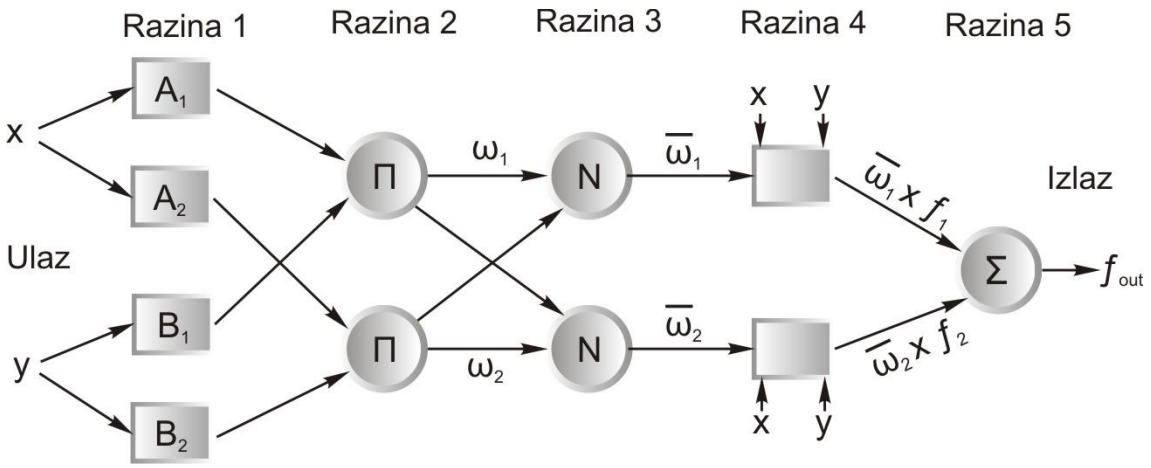
Plan ulazno/izlaznih podataka s obzirom na dane predviđanja kreiran je iz dnevnih potrošnja prirodnog plina i dnevnih temperatura na način kako je prikazano u tablici 1. Iz tablice se vidi da plan ulazno/izlaznih podataka ima tri ulaza i jedan izlaz.
Za svaki dan predviđanja ulazi su drugačije kreirani, a obilježeni su oznakama *Tprosjek* (prosječna dnevna temperatura) i *Potrošnja* (potrošnja po danu) s obzirom na dan na koji su izmjereni dok vrijeme *t* obilježava dan zadnje poznate prosječne dnevne temperature i potrošnje prirodnog plina.

Tablica 1. Plan ulazno/izlaznih podataka

	Ulaz 1	Ulaz 2	Ulaz 3	Izlaz
Prvi dan predviđanja	Tprosjek(t-1)	Tprosjek(t)	Potrošnja (t)	Potrošnja (t+1)
Drugi dan predviđanja	Tprosjek(t-2)	Tprosjek(t)	Potrošnja (t-1)	Potrošnja (t+2)
Treći dan predviđanja	Tprosjek(t-3)	Tprosjek(t)	Potrošnja (t-2)	Potrošnja (t+3)

3. Prilagodljivi neuro-neizraziti sustav zaključivanja (ANFIS)

Prilagodljivim neuro-neizrazitim sustavom zaključivanja se može smatrati neizraziti sustav zaključivanja Sugeno tipa u obliku sličnom neuronskim mrežama, gdje se treniranjem sustava na skupu ulazno/izlaznih podataka podešavaju parametri funkcija pripadnosti neizrazitog sustava zaključivanja ili parametri premise i parametri izlazne funkcije Sugeno neizrazitog sustava ili parametri zaključka (p_i, q_i *i* r_i). Vidi se da se treniranjem optimiraju parametri koji se mogu smjestiti u dva skupa: parametri premise i parametri zaključka. Kako su parametri zaključka linearni, koristi se linearna metoda najmanjih kvadrata pri optimiranju parametara dok se kod parametra premise za optimiranje koristi algoritam najstrmijeg gradijenta kao što je algoritam unatražnog rasprostiranja.
Na slici 2. je prikazana općenita arhitektura ANFIS sustava za sustav neizrazitog zaključivanja koji ima dva ulaza *x* i *y* i jedan izlaz f_{out}.



Slika 2. Opća arhitektura ANFIS-a

U osnovi se koristi pet razina za prikazivanje ANFIS sustava zaključivanja. Svaka razina sastoji se od nekoliko čvorova opisanih čvornim funkcijama. Ulazi trenutnih razina se dobivaju iz čvorova prethodnih razina. ANFIS-ova baza pravila sadrži neizrazita AKO – ONDA pravila Sugeno vrste. Za prvi red Sugeno sustava neizrazitog zaključivanja, dva pravila se mogu zapisati kao:

Pravilo 1: *AKO x je A_1 I y je B_1 TADA z je $f_1(x,y)$*
Pravilo 2: *AKO x je A_2 I y je B_2 TADA z je $f_2(x,y)$*

gdje su: *x* i *y* ulazi ANFIS-a, A_i i B_i neizraziti skupovi te $f_i(x,y)$ prvi red polinoma i predstavlja izlaze prvog reda Sugeno sustava neizrazitog zaključivanja. Za arhitekturu ANFIS-a prikazanu na slici 2. funkcije čvorova svake razine opisane su dalje u tekstu. Prilagodljivi (adaptivni) čvorovi su označeni kvadratićima i predstavljaju parametre skupova koji su prilagodljivi (podesivi) u ovim čvorovima dok su fiksni čvorovi označeni kružićima i predstavljaju parametre skupova koji su fiksni (nepromjenjivi) u sustavu.
Razina 1: je razina koja sadrži prilagodljive čvorove čije čvorne funkcije se opisuju kao (1):

$$\begin{aligned} Q_{1,i} &= \mu_{A_i}(x) \quad \text{za} \quad i = 1,2 \\ Q_{1,i} &= \mu_{B_i-2}(y) \quad \text{za} \quad i = 3,4 \end{aligned} \tag{1}$$

gdje su: *x* i *y* ulazi čvorova, A i B lingvističke oznake, *μ(x)* i *μ(y)* su funkcije pripadnosti. Postoji više oblika funkcija pripadnosti koje se mogu koristiti, međutim najčešće se koristi funkcija zvončastog oblika s maksimumom i minimumom jednakim 1 i 0. Opći oblik funkcije pripadnosti zvončastog oblika može se zapisati kao (2):

$$\mu(x) = \frac{1}{1+\left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^{2b_i}} \quad \text{ili} \quad \mu(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)\right] \tag{2}$$

gdje su: a_i, b_i i c_i parametri neizrazitih skupova. Mijenjanjem ovih parametara, funkcija pripadnosti ili neizraziti skup se podešava čime mijenja svoja svojstva.
Razina 2: Svaki čvor u ovoj razini je fiksni čvor označen kružićem. Čvorna funkcija svakog čvora ove razine predstavlja množenje dolaznih signala te taj umnožak predstavlja izlaz za svaki pripadni čvor (3)

$$Q_{2,i} = \omega_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) \quad \text{za} \quad i = 1,2 \tag{3}$$

Izlaz ω_i predstavlja težinu pravila.
Razina 3: Svaki čvor u ovoj razini je fiksni čvor predstavljen kružićem, a označen sa N. Čvorna funkcija svakog čvora ove razine predstavlja izračunavanje omjera *i*-te težine pravila sa sumom težina svih pravila (4).

$$Q_{3,i} = \varpi_i = \frac{\omega_i}{\sum \omega_i} \quad \text{za} \quad i = 1,2 \tag{4}$$

Izlaz ϖ_i predstavlja normaliziranu težinu pravila.

Razina 4: Svaki čvor u ovoj razini je prilagodljivi čvor označen kvadratićem sa čvornom funkcijom (5):

$$Q_{4,i} = \varpi_i \cdot f_i \quad \text{za} \quad i = 1,2 \tag{5}$$

gdje su: f_1 i f_2 neizrazita AKO – ONDA pravila kako slijedi:

Pravilo 1: *AKO x je A_1 I y je B_1 TADA $f_1=p_1x+q_1y+r_1$*
Pravilo 2: *AKO x je A_2 I y je B_2 TADA $f_2=p_2x+q_2y+r_2$*

gdje su p_i, q_i *i* r_i parametri skupa, određeni kao parametri zaključka.
Razina 5: Ova razina ima samo jedan čvor koji je fiksan i označen je kružićem. Funkcija ovog čvora je izračunavanje sveukupnog izlaza preko sljedećeg izraza (6):

$$Q_{5,i} = f_{out} = \sum \varpi_i \cdot f_i = \text{ sveukupni izlaz} \tag{6}$$

Za prethodno opisanu ANFIS strukturu, sveukupni izlaz može biti izražen kao linearna kombinacija parametara zaključka. Točnije, sveukupni izlaz može se zapisati kao (7):

$$\begin{aligned} f_{out} &= \varpi_1 \cdot f_1 + \varpi_2 \cdot f_2 = \frac{\omega_1}{\omega_1+\omega_2} \cdot f_1 + \frac{\omega_2}{\omega_1+\omega_2} \cdot f_2 = \\ &= (\varpi_1 \cdot x)p_1 + (\varpi_1 \cdot y)q_1 + (\varpi_1)r_1 + (\varpi_2 \cdot x)p_2 + (\varpi_2 \cdot y)q_2 + (\varpi_2)r_2 \end{aligned} \tag{7}$$

4. Dobiveni rezultati

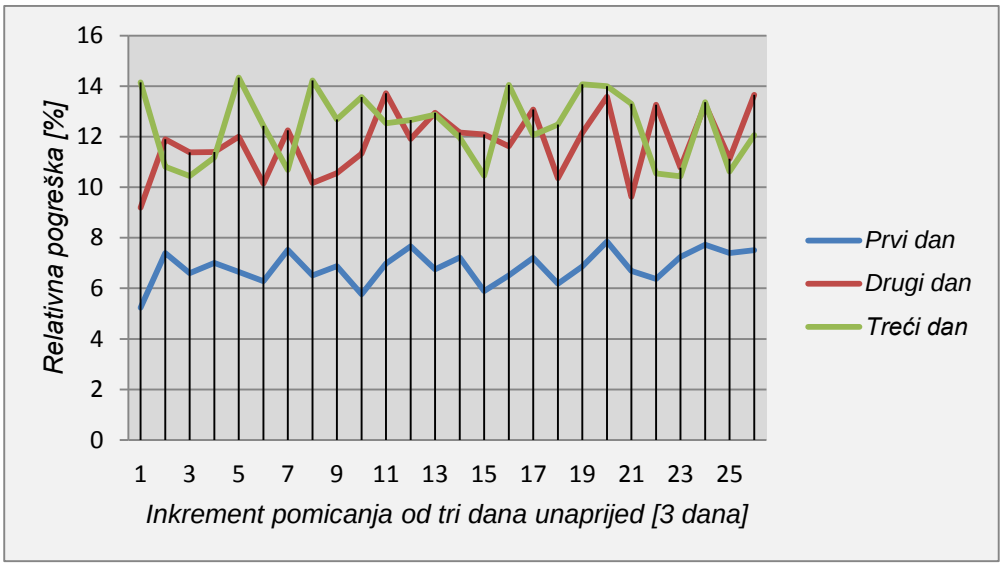
U ovom radu se predlaže model koji predviđa potrošnju prirodnog plina na višednevnoj razini koji je detaljno objašnjen u poglavlju 2. Model predviđa potrošnju prirodnog plina tri dana unaprijed za svaki dan posebno. Osim toga simulira se vremenski tok kroz povijest tako da je prvi dan za koji se predviđa potrošnja prirodnog plina 06.02.2012. godine jednak prvom danu predviđanja za prvi inkrement pomicanja od tri dana unaprijed, a 26.04.2012. godine je zadnji dan za koji se predviđa potrošnja prirodnog plina i jednak je trećem danu predviđanja za zadnji inkrement pomicanja od tri dana unaprijed.
Za procjenjivanje performansi modela koristit će se prosječna relativna pogreška i prosječni koeficijent varijance korijena srednjeg kvadratnog odstupanja (8).

$$AvRE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{\left|Potrošnja(t)_i - PredviđenaPotrošnja(t)_i\right|}{\left|Potrošnja(t)_i\right|}$$

$$AvCV(RSME) = \frac{RSME}{\overline{Potrošnja}} = \frac{\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\left(Potrošnja(t)_i - PredviđenaPotrošnja(t)_i\right)}{n}}}{\overline{Potrošnja}} \tag{8}$$

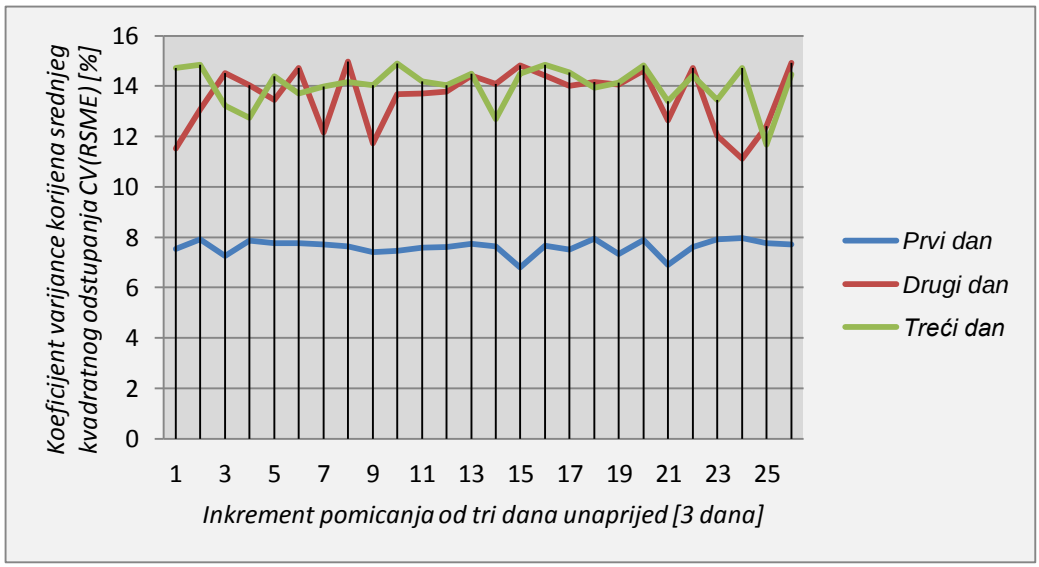
Gdje je: *AvRE* – prosječna relativna pogreška, *AvCV(RSME)* – prosječni koeficijent varijance korijena srednjeg kvadratnog odstupanja, *RSME* – korijen srednjeg kvadratnog

odstupanja, *Potrošnja(t)* – stvarna potrošnja prirodnog plina, *PredviđenaPotrošnja(t)* – predviđena potrošnja prirodnog plina i $\overline{Potrošnja}$ – prosječna vrijednost potrošnje prirodnog plina. Na slici 3. je dan tijek relativne pogreške za sva tri dana predviđanja s obzirom na inkrement pomicanja od tri dana unaprijed u fazi provjeravanja.



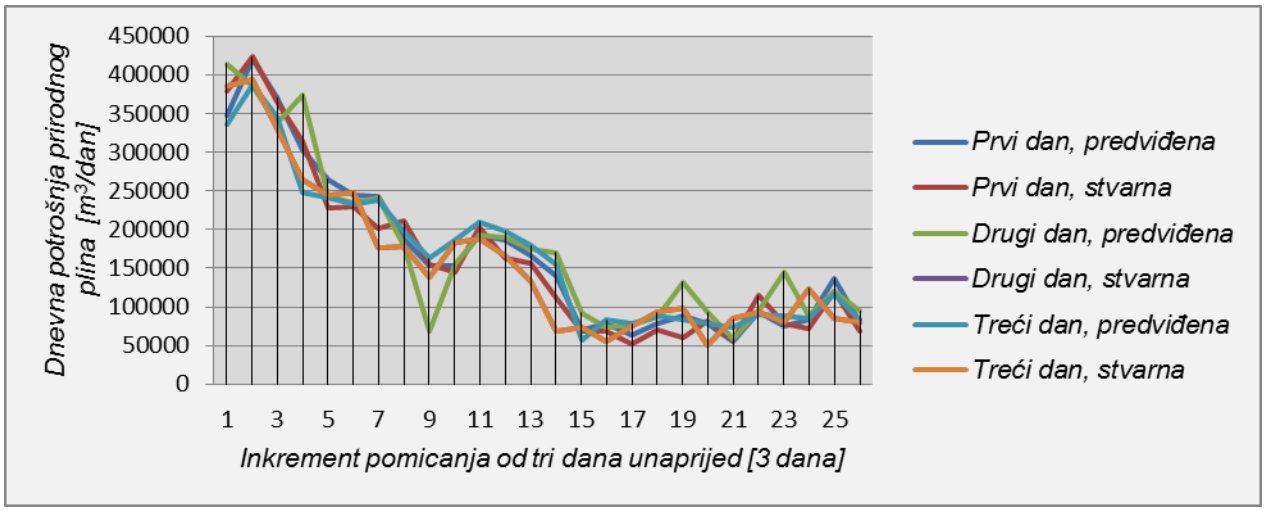
Slika 3. Tijek relativne pogreške za sva tri dana predviđanja

Na slici 4. je prikazan tijek koeficijenta varijance korijena srednjeg kvadratnog odstupanja CV(RSME) za sva tri dana predviđanja s obzirom na inkrement pomicanja od tri dana unaprijed u fazi provjeravanja.



Slika 4. Koeficijent varijance korijena srednjeg kvadratnog odstupanja za sva tri dana predviđanja

Na slici 5. je prikazan dijagram stvarne i predviđene potrošnje prirodnog plina za sve dane predviđanja u fazi testiranja.



Slika 5. Stvarna i predviđena dnevna potrošnja prirodnog plina po danima predviđanja

5. Zaključak

U ovome radu je razmatran problem predviđanja potrošnje prirodnog plina na razini operatora distribucijskog sustava. Model predviđanja je generiran pomoću ANFIS-a, a performanse modela su ocijenjene pomoću prosječne relativne pogreške i prosječnog koeficijenta varijance korijena srednjeg kvadratnog odstupanja. Dobiveni rezultati su predstavljeni kroz fazu provjeravanja prema slici 3. i slici 4. i fazu testiranja prema slici 5. Prema slici 3. se može vidjeti tijek relativne pogreške za sva tri dana predviđanja u fazi provjeravanja. Relativna pogreška za prvi dan predviđanja se kreće između 5 i 8%, za drugi dan predviđanja između 11 i 15% te za treći dan predviđanja između 12 i 15% dok su prosječne relativne pogreške po danima redoslijedno 6,84%, 11,75% i 12,38%.

Vrlo su slični rezultati i za koeficijent varijance korijena srednjeg kvadratnog odstupanja prema slici 4. pri čemu su prosječne vrijednosti koeficijenta varijance srednjeg kvadratnog odstupanja po danima redoslijedno 7,61%, 13,61% i 14,04%. Međutim prema slici 5. može se uočiti kako model relativno dobro oponaša trend potrošnje prirodnog plina u fazi testiranja.

S obzirom na vremenski tok od 06.02.2012. do 26.04.2012. godine koji se simulira kroz povijest kao faza testiranja, bilo je za očekivati navedene performanse modela i aproksimativnost. Budući da navedeni vremenski tok (veljača, ožujak i travanj) obiluju naglim vremenskim promjenama pa tako i naglim promjenama prosječnih dnevnih temperatura koje egzistiraju u planu ulazno/izlaznih podataka, sigurno će i potrošnja prirodnog plina značajno varirati od dana do dana što će utjecati na performanse modela koji je robustan i osjetljiv na nagle promjene.

U budućim istraživanjima bilo bi dobro proširiti vremenski tok na minimalno godinu dana kako bi robustnost predloženog modela došla do izražaja. Dinamičniji periodi bi se ublažili monotonijim vremenskim razdobljima kroz godinu. Međutim, za poboljšanje performansi predviđanja za vremenski tok simuliran u ovome radu, trebalo bi u budućim istraživanjima kreirati plan ulazno/izlaznih podataka koji bi bolje korelirao s potrošnjom prirodnog plina.

Osim dnevne potrošnje prirodnog plina i prosječne dnevne temperature mogli bi se uzeti neki drugi pokazatelji kao ulazne varijable modela te prikladnije odabrati podskup podataka na kojem bi se trenirao model. Za realizaciju navedenih ideja u budućim istraživanjima svakako bi bilo dobro imati povijesne podatke potrošnje prirodnog plina i meteorološka mjerenja za više prethodnih godina jer bi na većem skupu podataka do izražaja došla robustnost modela, a također bi se mogli izdvojiti specifični podskupovi podatka te tako proučavati određene vremenske tokove unutar godine.

6. Literatura

[1] http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/soft+computing (02/07/2013)

[2] Stampfer, Michael; Rétfalvi, Attila. Expert System for Fixture Planning and Design for box-shaped parts // Proceedings of 4th International Scientific and Expert Conference of the International TEAM Society (Technique, Education, Agriculture & Management) / Živić, Marija; Galeta, Tomislav (ur.). (ISSN 1847-9065). Slavonski Brod: 17th to 19th October 2012, pp. 161-164.

[3] Svalina, Ilija; Galzina, Vjekoslav; Lujić, Roberto; Šimunović, Goran. An adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) for the forecasting: The case of close price indices // Expert Systems with Applications, 20(2013), 15; 6055-6063. (ISSN 0957-4174)

[4] Zaina, Azlan Mohd; Harona, Habibollah; Sharif, Safian. Integration of simulated annealing and genetic algorithm to estimate optimal solutions for minimising surface roughness in end milling Ti-6AL-4V // International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 24(2011), 6; 574-592. (ISSN 1362-3052)

[5] Azadeh, Ali; Saberi, Morteza; Asadzadeh, Seyed Mohammad; Hussain, Omar Khadeer; Saberi, Zahra. A neuro-fuzzy-multivariate algorithm for accurate gas consumption estimation in South America with noisy inputs // Electrical Power and Energy Systems, 46(2013), 315-325. (ISSN 0142-0615)

[6] Azadeh, A.; Asadzadeh; S.M.; Ghanbari, A. An adaptive network-based fuzzy inference system for short-term natural gas demand estimation: Uncertain and complex environments, // Energy Policy, 38(2010), 3; 1529-1536. (ISSN 0301-4215)

[7] Tonković, Zlatko; Zekić-Sušac, Marijana; Somolanji, Marija. Predicting Natural Gas Consumption by Neural Networks // *Tehnički vjesnik*, 16(2009), 3; 51-61. (ISSN 1330-3651)

[8] Taspinar, Fatih; Celebi, Numan; Tutkun, Nedim. Forecasting of daily natural gas consumption on regional basis in Turkey using various computational methods // Energy and Buildings, 56(2013), 23-31. (ISSN 0378-7788)

[9] Sabo, Kristian; Scitovski, Rudolf; Vazler, Ivan; Zekić-Sušac, Marijana. Mathematical models of natural gas consumption // Energy Conversion and Management, 52(2011), 3; 1721-1727. (ISSN 0196-8904)

[10] Soldo, Božidar. Forecasting natural gas consumption // Applied Energy, 92(2012), 26-37. (ISSN 0306-2619)

Grafički prikaz energetske bilance upotrebom Sankey dijagrama

Graphical Presentation of the Energy Balance with Sankey Diagrams

S. Kovbanovski, T. Barić, H. Glavaš*

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

*Autor za korespodenciju. E-mail: hrvoje.glavas@etfos.hr

Sažetak

Rad daje objašnjenje energetske bilance, pojedine oblike prikaza i područje primjene. Analizirane su mogućnosti primjene dostupne programske podrške za grafičku interpretaciju tokova energije pomoću Sankey dijagrama. Na primjeru složenog sustava primijenjena je programska podrška i prikazani su tokovi energije u grafičkom obliku. Zaključna razmatranja naglašavaju pojedine značajke grafičke interpretacije energetske bilance s ciljem lakšeg uočavanja tokova energije i energetskih transformacija.

Abstract

In this work the concept of energy balance is defined. The application area and different ways of representing energy balance are also shown. Application possibilities of the software for graphical interpretation of energy flows using Sankey diagrams are analyzed and an example of graphical interpretation of energy flows is made using that software. Concluding observations emphasize certain features of the graphical interpretation of energy balance in order to indentify energy flows and energy transformations more easily.

Ključne riječi: energetska bilanca, grafička interpretacija, Sankey dijagram, IEA, Eurostat

1. Uvod

Energetska bilanca postavlja temelje za analizu kretanja energije pojedinih procesa, odnosno sustava. Ovaj rad se bavi pojmom i načinom prikaza energetske bilance te daje uvid u mogućnost primjene grafičke interpretacije energetske bilance na primjeru složenog sustava. Dostupna programska podrška: S.Draw, SankeyEditor, Sankey Helper, Excel to Sankey, drawSankey, Sankey by tamc i e!Sankey analizirana je s aspekta značajki ukazujući na prednosti i nedostatke pojedinih aplikacija. Zaključna razmatranja naglašavaju pojedine značajke grafičke interpretacije energetske bilance pomoću Sankey dijagrama s ciljem lakšeg uočavanja tokova energije i energetskih transformacija. Rad se može podijeliti na dva dijela. U prvom dijelu, koji obuhvaća drugo poglavlje dana je definicija pojma energetske bilance te su navedeni načini prikaza i područja primjene

energetske bilance. U drugom dijelu, koji obuhvaća poglavlja tri i četiri, prikazana je programska podrška za grafičku interpretaciju tokova energije pomoću Sankey dijagrama, te je dan primjer grafičkog prikaza energetskih tokova složenog sustava.

2. Energetska bilanca

Energetska bilanca je statistika posebnog tipa kojom se prate tokovi energije od njezine pojave u energetskoj privredi promatranog područja do njezine konačne predaje neposrednim potrošačima, odnosno pretvorbe u korisnu energiju u potrošačkim postrojenjima ili aparatima. Svrha izrade energetske bilance je obuhvatiti tokove svih oblika energije kako bi se omogućio prikladan i pregledan prikaz iskorištavanja pretvorbenih oblika energije, uvoza i izvoza prirodnih i pretvorbenih oblika energije, energije za pogon energetskih postrojenja, gubitaka energije u transportu i distribuciji, te iskorištavanja pojedinih oblika energije za opskrbu neposrednih potrošača, tj. industrije, prometa i opće potrošnje [1]. Cilj izrade energetske bilance je omogućiti analizu strukture proizvodnje, pretvorbi i potrošnje energenata u nekom području na osnovu koje se može planirati potrebni razvoj te eventualno restrukturiranje kapaciteta za proizvodnju, pretvorbu, transport i distribuciju energije [2]. Struktura i način prikazivanja energetske bilance pojedine zemlje ovisi o metodi prema kojoj je energetska bilanca rađena.

2.1. Ogrjevne vrijednosti i pretvorbeni faktori

Opća energetska bilanca se obično izrađuje paralelno u naturalnim mjernim jedinicama koje su karakteristične za pojedine oblike energije, kao što je na primjer kWh za električnu energiju, t za ugljen i naftu, m^3 za prirodni plin i sl., te u zajedničkoj mjernoj jedinici. Preračunavanje iz naturalnih u zajedničku mjernu jedinicu se ostvaruje množenjem količina s ogrjevnim vrijednostima pojedinih oblika energije. Prednost prikazivanja energetske bilance u zajedničkoj energetskoj mjernoj jedinici je mogućnost međusobnog uspoređivanja i zbrajanja različitih oblika energije, kao i mogućnost izračunavanja odnosa i karakteristika promatranog energetskog sustava [1]. U tablici 1. prikazani su pretvorbeni faktori kojima su definirani odnosi među pojedinim mjernim jedinicama.

Tablica 1. Pretvorbeni faktori, izvor: http://www.mingo.hr

	kcal	kJ	kWh	kgen	kgeu
1 kcal =	1	4,1868	$1{,}163 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1{,}4286 \cdot 10^{-4}$
1 kJ =	0,2388	1	$2{,}7778 \cdot 10^{-4}$	$2{,}3885 \cdot 10^{-5}$	$3{,}4121 \cdot 10^{-5}$
1 kWh =	859,845	3600	1	$85{,}9845 \cdot 10^{-3}$	0,1228
1 kgen =	10000	41868	11,63	1	1,4286
1 kgeu =	7000	29307,6	8,141	0,7	1

kcal	1000 kalorija	1000 Calories
MJ	1000000 Joula	1000000 Joules
kgen (kgoe)	1 kg ekvivalentne nafte	1 kg of oil equivalent
kgeu (kgce)	1 kg ekvivalentnog ugljena	1 kg of coal equivalent

Osim pretvorbenih faktora za analizu energetske bilance potrebno je i poznavanje ogrjevne vrijednosti pojedinih izvora energije. Primjenom ogrjevnih vrijednosti može se

doći do podatka o količini pojedinog energenta potrebnoj za stvaranje određene količine energije. Ogrjevne vrijednosti pojedinih izvora energije prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Ogrjevne vrijednosti, izvor: http://www.mingo.hr

		Jedinica | Unit	kcal	MJ	kgen	kgeu
Kameni ugljen	Hard coal	kg	5800-7000	24,28-29,31	0,580-0,700	0,829-100
Kameni ug. za koksiranje	Coking Coal	kg	7000	29,31	0,700	1,000
Mrki ugljen	Brown Coal	kg	4000-4600	16,75-19,26	0,400-0,460	0,571-0,657
Lignit	Lignite	kg	2300-3000	9,63-12,56	0,230-0,300	0,329-0,429
Koks	Coke Oven Coke	kg	6300-7000	26,38-29,31	0,630-0,700	0,900-1,000
Ogrjevno drvo	Fuel Wood	dm^3	2150	9,00	0,215	0,307
Biodizel	Biodiesel	kg	8837	36,90	0,884	1,262
Bioetanol	Bioethanol	kg	6370	26,67	0,637	0,910
Deponijski plin	Landfill Gas	m^3	4060	17,00	0,406	0,580
Bioplin	Biogas	m^3	4777	20,00	0,478	0,682
Prirodni plin	Natural Gas	m^3	8120-8570	34-35,88	0,812-0,857	1,160-1,224
Sirova nafta	Crude Oil	kg	10127	42,40	1,013	1,447
Ukapljeni plin	Liquefied Petroleum Gases	kg	11200	46,89	1,120	1,600
Motorni benzin	Motor Gasoline	kg	10650	44,59	1,065	1,521
Primarni benzin	Naphtha	kg	10650	44,59	1,065	1,521
Petrolej	Kerosene	kg	10500	43,96	1,050	1,500
Mlazno gorivo	Jet Fuel	kg	10500	43,96	1,050	1,500
Ekstralako loživo ulje	Light Heating Oil	kg	10200	42,71	1,020	1,457
Dizelsko gorivo	Diesel Oil	kg	10200	42,71	1,020	1,457
Loživo ulje	Fuel Oil	kg	9600	40,19	0,960	1,371
Naftni koks	Petroleum Coke	kg	7400	31,00	0,740	1,057
Ostali derivati	Other Products	kg	8000-9600	33,49-40,19	0,800-0,960	1,143-1,371
Rafinerijski plin	Refinery Gas	kg	11600	48,57	1,160	1,657
Etan	Ethane	kg	11300	47,31	1,130	1,614
Koksni plin	Coke Oven Gas	m^3	4278	17,91	0,428	0,611
Gradski plin	Gas Works Gas	m^3	6630	27,76	0,663	0,947
Visokopećni plin	Blast Furnace Gas	m^3	860	3,60	0,086	0,123
Električna energija	Electricity	kWh	860	3,60	0,086	0,123

2.1. Područja primjene energetske bilance

Energetska bilanca ima izuzetno široko područje primjene. Potreba za izradom energetske bilance kreće se od prikaza tokova energije u pojedinim procesima pa sve do energetskih tokova složenih sustava poput država. Uvjet za izradu energetske bilance je postojanje barem jednog energetskog toka. Planiranje na razini države je podloga za kreiranje i unapređenje energetske politike radi uravnoteženog i održivog razvoja [3]. Energetska bilanca upravo omogućuje analizu strukture proizvodnje, pretvorbi i potrošnje energenata na temelju koje je moguće donijeti odgovarajuće odluke. Primjena energetske bilance je važna u proračunu energetskih ušteda zbog referenciranja potrošnje. Ona omogućuje analizu trenutne potrošnje, odnosno uvid u udio potrošnje pojedinog dijela sustava. Energetska bilanca tako predstavlja alat za pomoć u odlučivanju o provedbi potrebnih mjera za ostvarivanje najvećih ušteda, odnosno za poboljšanje energetske učinkovitosti.

2.2. Načini prikaza energetske bilance

Postoje dva osnovna načina na koji se može prikazati energetska bilanca:

- numerički prikaz energetske bilance

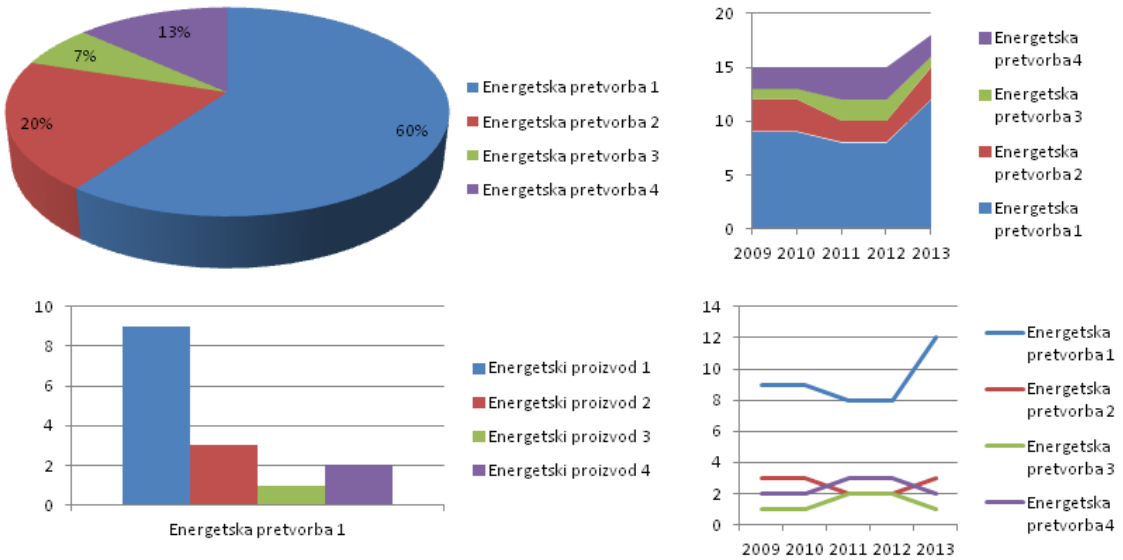
〉 grafički prikaz energetske bilance

Numerički prikaz energetske bilance se najčešće koristi prilikom prikazivanja složenih sustava s velikim brojem energetskih tokova. Energetska bilanca se može izraditi kao jedna ili kao više tablica. Energetska bilanca prikazana jednom tablicom ima velik broj stupaca i redaka kako bi se obuhvatili svi elementi tijeka energije na jednom mjestu. U tablici je predviđeno da svakom obliku energije koji se iskorištava na promatranom području odgovara po jedan stupac tablice [1]. Primjer energetske bilance jednostavnog sustava s dvije energetske pretvorbe i tri energetska proizvoda te zajedničkom mjernom jedinicom prikazan je u tablici 3. Zbroj energija pojedinih energetskih pretvorbi u sustavu, kao i ukupna energija prikazani su u zasebnom stupcu na kraju tablice. Negativna vrijednost ukupne energije predstavlja gubitke energetskih pretvorbi.

Tablica 3. Primjer numeričkog prikaza energetske bilance

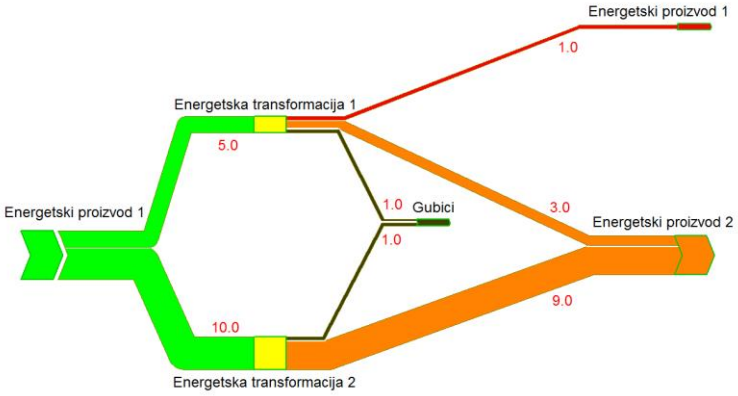
Mjerna jedinica	Energetski proizvod 1	Energetski proizvod 2	Energetski proizvod 3	Ukupno
Početno stanje	15	0	0	15
Energetska pretvorba 1	-5	3	1	-1
Energetska pretvorba 2	-10	9	0	-1
Ukupna energija	-15	12	1	-2

Grafički prikaz energetske bilance moguće je ostvariti pomoću grafikona u obliku stupca, crte, torte i površinskog grafikona te pomoću Sankey dijagrama. Glavni nedostatak prikaza energetske bilance pomoću grafikona je nemogućnost prikaza složenih sustava na jednom grafikonu. Za prikaz sustava koji se sastoje od velikog broja procesa, odnosno sustava koji imaju veliki broj energenata potrebno je koristi više grafikona čime je onemogućena izravna grafička usporedba podataka na jednom mjestu. Pomoću grafikona moguće je prikazati raspodjelu ukupne energije među energetskim pretvorbama, odnosno raspodjelu energenata u energetskim pretvorbama. Na slici 1. prikazane su energetske bilance izrađene pomoću grafikona.



Slika 1. Prikaz energetske bilance pomoću grafikona

Sankey dijagrami predstavljaju poseban tip dijagrama tokova čije su strjelice, odnosno spojni putovi proporcionalni količini toka energije. Na osnovi Sankey dijagrama moguće je grafičkim putem odrediti stupnjeve djelovanja pojedinih energetskih pretvorbi, kao i prosječni stupanj djelovanja svih energetskih pretvorbi. Prikaz energetske bilance jednostavnog sustava prema tablici 3. pomoću Sankey dijagrama dan je na slici 2.



Slika 2. Primjer prikaza energetske bilance Sankey dijagramom

2.3. Temeljni tokovi energije u energetskoj bilanci

U energetskoj bilanci mogu se istaknuti temeljni tokovi energije koji su najčešće posebno označeni prilikom numeričkog opisa tijeka energije, neovisno o tome da li se energetska bilanca prikazuje jednom tablicom ili s pomoću više tablica.
Temeljni tokovi energije u energetskoj bilanci su:

- proizvodnja

  Proizvedena količina goriva bi trebala biti ona koja se mjeri kada su goriva u tržišnom stanju. Bilo koja količina koja se izravno ne upotrebljava ili se ne koristi za prodaju ne bi se trebala pribrajati podacima vezanim za proizvodnju. Mjerenje proizvedene količine električne energije i topline za potrebe energetske bilance trebalo bi se provoditi što dalje od mjesta na kojemu se energetski tok iskorištava.

- uvoz i izvoz

  Podaci o uvozu i izvozu obuhvaćaju one količine energenata koji ulaze i izlaze iz pojedine države kao rezultat kupnje ili prodaje robe od strane osoba koje žive u toj državi. Uvoz i izvoz robe se uzima u obzir kada roba prelazi državne granice, bez obzira na to da li je ili nije prošla kroz postupak carinjenja. Roba koja je u tranzitu kroz državu ne uzima se u obzir kod sastavljanja podataka o uvozu i izvozu.

- bunker brodova

  Količina derivata nafte koju dobivaju brodovi za međunarodne plovidbe predstavljaju poseban tip tokova derivata nafte iz zemlje. Ova količina derivata nafte se koristi za pokretanje brodova, ali ne i kao dio tereta kojeg prevoze. Svi brodovi, neovisno o tome kojoj zemlji pripadaju, pod uvjetom da ostvaruju plovidbu izvan teritorijalnih voda,

moraju biti uključeni u podatke o količini energije za bunker brodova. Potrošnja ribarskih brodova je isključena iz podataka o količini energije za bunker brodova [4].

〉 saldo skladišta

Podaci prikazani u energetskoj bilanci vezani za saldo skladišta se odnose na promjenu stanja zaliha na početku i na kraju godine u nekoj državi kod uvoznika, proizvođača i poduzeća koja obavljaju transformacije energije. Iznos salda skladišta dobiva se oduzimanjem stanja zaliha na početku prvog radnog dana od stanja zaliha na kraju posljednjeg dana u toj godini [5].

〉 energetske transformacije

Energetske transformacije predstavljaju pretvorbu primarnih izvora energije u sekundarne izvore energije koji posjeduju bolje uporabne vrijednosti, odnosno koji imaju pogodniji oblik za zadovoljavanje potreba potrošača. Unutar energetske bilance prikazani su podaci više različitih procesa takve pretvorbe.

〉 neposredna potrošnja

Neposredna potrošnja obuhvaća isporuku energenata industriji, prometu i općoj potrošnji u energetske ili neenergetske svrhe. Energenti korišteni za proizvodnju električne energije ili topline za prodaju su isključeni iz podataka za neposrednu potrošnju te su pridodani podacima za energetske transformacije.

2.4. Metode prikaza energetske bilance

U Republici Hrvatskoj se koriste dvije međunarodno priznate metode za prikaz energetske bilance. To su energetske bilance prema IEA metodi i energetske bilance prema Eurostat metodi. Obje metode prikaza sadrže sve oblike energenata, odnosno izvora energije, ali prikazuju samo rezime bilanci kako bi se omogućio pregledan prikaz.

U energetskoj bilanci prema Eurostat metodi dio koji se odnosi na transformacije podijeljen je na energiju za transformaciju i proizvodnju transformirane energije. Taj dio se naziva matrica transformacije. Sve veličine u matrici transformacije su prikazane s pozitivnim predznakom. Energetska bilanca prema IEA metodi sadrži samo primarne izvore energije u retku koji se odnosi na proizvodnju. Proizvodnja sekundarne energije prikazana je kao pozitivna količina energije u matrici transformacije uz pripadajuću vrstu postrojenja za pretvorbu energije. U istoj matrici transformacije prikazana je energija potrebna za transformaciju i proizvodnja transformirane energije, odnosno ti dijelovi nisu posebno izdvojeni. To se postiže tako da se energiji potrebnoj za transformaciju priroda negativan predznak.

Energetske bilance prema Eurostat i IEA metodi se također razlikuju i u načinu prikaza prijenosa energije unutar bilance. U energetskoj bilanci prema IEA metodi energija iz primarnog izvora energije se prenosi preko transformacijske matrice. Ona se unosi kao energija potrebna za transformaciju s negativnim predznakom i jednakim pozitivnim

iznosom dodanim ukupnoj proizvodnji energije. Energetska bilanca prema Eurostat metodi koristi poseban redak za transfere [4].

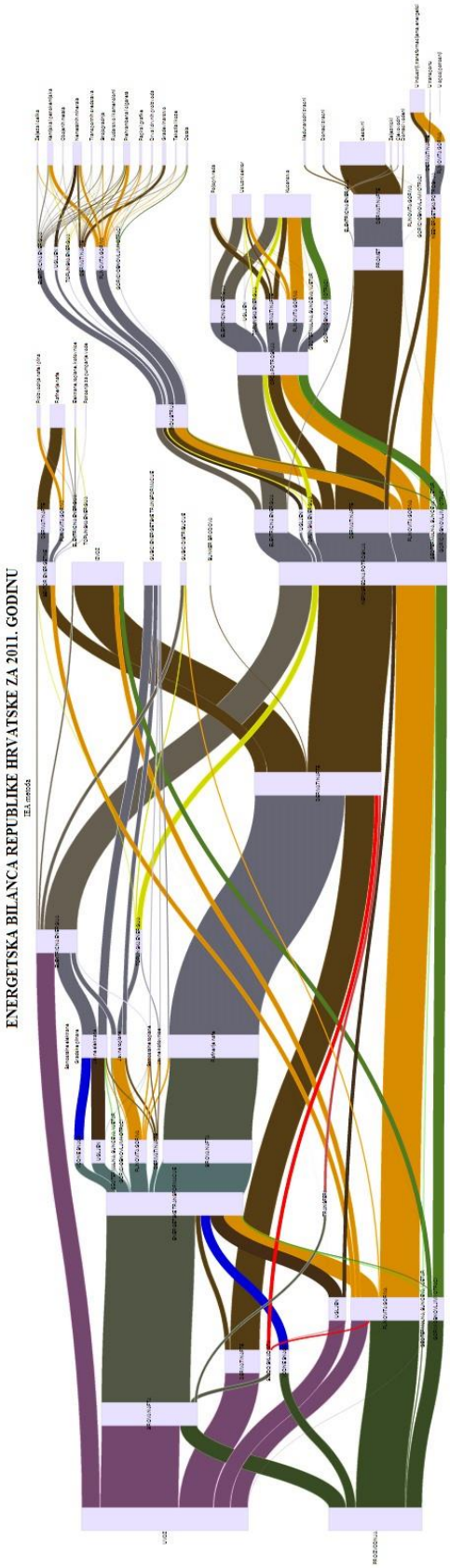
3. Programska podrška za grafičku interpretaciju tokova energije pomoću Sankey dijagrama

Dostupnu programsku podršku možemo podijeliti na dvije skupine, odnosno na besplatne alate i programe koji zahtijevaju određena financijska izdvajanja.
Prvoj skupini pripadaju slijedeći alati: Sankey Helper, Excel to Sankey, drawSankey i Sankey by tamc. Za pokretanje alata Sankey Helper i Excel to Sankey potreban je program MS Excel, a za drawSankey je potreban program MATLAB. Ti alati imaju ograničene mogućnosti podešavanja Sankey dijagrama te nisu prilagođeni za izradu dijagrama složenih sustava. Za rad alata Sankey by tamc nije potrebna nazočnost nikakvog drugog programa na računalu osim internet preglednika. Taj alat pruža brojne mogućnosti podešavanja izgleda Sankey dijagrama, ali je njegovo korištenje kompliciranije u odnosu na druge programe i alate.
Drugoj skupini programske podrške pripadaju: S.Draw, SankeyEditor i e!Sankey. Ovi programi imaju napredne postavke za podešavanje izgleda i načina prikaza Sankey dijagrama, oni pružaju određenu razinu korisničke podrške, omogućuju prijenos i obradu podataka u drugim alatima, ali i zahtijevaju visoka financijska izdvajanja. SankeyEditor se ističe mogućnošću prikazivanja animacija vremenski ovisnih energetskih tokova, a e!Sankey mogućnošću stvaranja korisničkih baza energetskih tokova i mjernih jedinica što može ubrzati izradu pojedinih dijagrama.

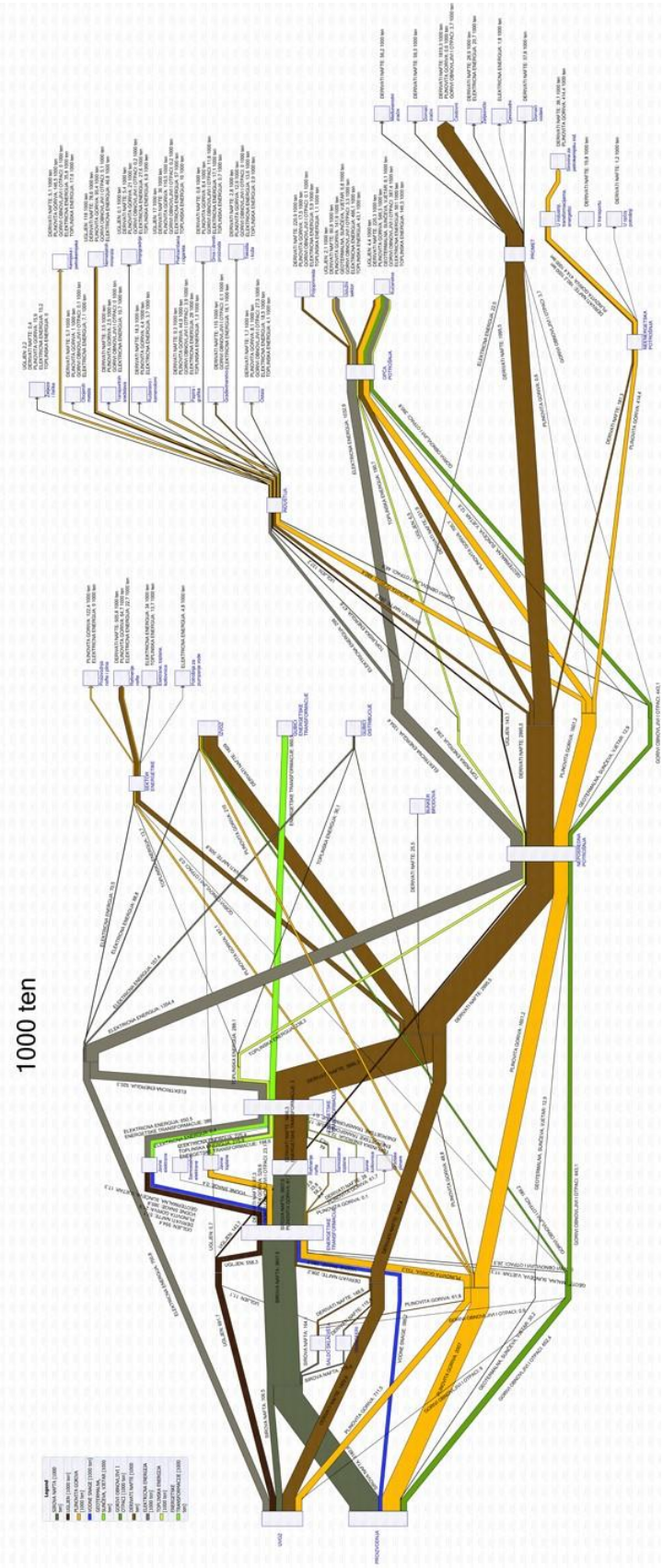
4. Prikaz energetskih tokova složenog sustava u grafičkom obliku

Za složeni sustav odabrana je Republika Hrvatska, odnosno godišnja energetska bilanca Republike Hrvatske. Energetska bilanca Republike Hrvatske prikazuje se svake godine u numeričkom obliku prema IEA i Eurostat metodi na temelju podataka Energetskog instituta Hrvoja Požara te je dostupna na stranicama Ministarstva gospodarstva i Državnog zavoda za statistiku. Godišnjom energetskom bilancom obuhvaćena je analiza iskorištavanja primarnih oblika energije, energetskih transformacija, uporabe transformiranih oblika, uvoza i izvoza primarnih i transformiranih oblika energije te uporabe pojedinih oblika energije za neposrednu opskrbu krajnjih korisnika. Energetska bilanca prema IEA metodi pogodnija je za prikaz pomoću Sankey dijagrama zbog manje količine potrebnih čvorova za analizu cjelokupnog tijeka energije unutar Republike Hrvatske.

Za izradu grafičkog prikaza energetske bilance pomoću Sankey dijagrama korišten je jedan besplatan alat Sankey by tamc i jedan od vodećih programa za izradu Sankey dijagrama e!Sankey. Položaj čvorova i boja kojom su prikazani pojedini energenti u energetskoj bilanci su usklađeni kako bi se mogli lakše usporediti dobiveni dijagrami. Tokovi energije svakog pojedinog energenta od njezine pojave u energetskoj privredi do njezine konačne predaje neposrednim potrošačima, odnosno pretvorbe u korisnu energiju u potrošačkim postrojenjima ili aparatima prikazani su na slici 3. i na slici 4.



Slika 3. Prikaz energetske bilance Republike Hrvatske za 2011. godinu po IEA metodi pomoću alata Sankey by tamc



Slika 4. Prikaz energetske bilance Republike Hrvatske za 2011. godinu po IEA metodi pomoću programa e!Sankey

5. Zaključak

Svrha izrade energetske bilance je obuhvatiti tokove svih oblika energije kako bi se omogućio prikladan i pregledan prikaz iskorištavanja pretvorbenih oblika energije, uvoza i izvoza prirodnih i pretvorbenih oblika energije, energije za pogon energetskih postrojenja, gubitka energije u transportu i distribuciji, te iskorištavanja pojedinih oblika energije za opskrbu neposrednih potrošača, odnosno industrije, prometa i opće potrošnje. Grafička interpretacija energetske bilance uporabom Sankey dijagrama može poslužiti kao dodatak numeričkom prikazu energetske bilance kako bi se osigurala osnovna svrha energetske bilance ili u pojedinim slučajevima može i samostalno omogućiti postizanje osnovne svrhe energetske bilance. To se postiže tako da se uz svaki pojedini energetski tok na Sankey dijagramu doda informacija o količini energije. Za razliku od numeričkog načina prikaza, grafički prikaz energetske bilance omogućuje jednostavno praćenje tijeka energije od njezine pojave do konačnog iskorištenja. Kao nedostatak grafičkog prikaza energetske bilance pomoću Sankey dijagrama u odnosu na numerički prikaz može se navesti povećana potreba za prostorom potrebnim za prikazivanje energetske bilance, kao i nemogućnost podjele jednog Sankey dijagrama na više odvojenih dijelova.

6. Literatura

[1] Udovičić, Božo. Energetika. Zagreb: Školska knjiga, 1993.
[2] Goić, Ranko. Opća energetika. Split: Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje.
[3] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva i Program Ujedinjenih naroda za razvoj (UNDP). Prilagodba i nadogradnja strategije energetskog razvoja Republike Hrvatske, Zelena knjiga. 2008.
[4] Međunarodna energetska agencija (IEA) u suradnji sa Statističkim uredom Europskih zajednica (Eurostat). Energy Statistics Manual // *Priručnik za energetsku statistiku*. Pariz: OECD/IEA, 2005.
[5] Pugar, Jasmina; Petanjek, Mirjana; Elezović, Mustafa. Energetska statistika u 2010. Zagreb: Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske, 2011.

Integrirani sustav za geoprostorno upravljanje imovinom i infrastrukturom plinske mreže: KJKP Sarajevogas d.o.o.

Integrated system for geospatial asset management of gas network infrastructure: KJKP Sarajevogas Ltd.

J. Dizdarević[1*]

[1] dipl.ing.el., KJKP Sarajevogas d.o.o., 71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: jasminad@sarajevogas.ba

Sažetak

Upravljanje imovinom predstavlja kompleksan i jedan od ključnih poslovnih procesa organizacije, te ima važnu ulogu u definiranju poslovne strategije. Obuhvata aktivnosti i/ili operacije za očuvanje i stvaranje vrijednosti kroz najveće moguće povećanje prihoda, optimizaciju troškova, upravljanje rizicima, ispunjavanje svih regulatornih, tehničkih i ostalih zahtijeva, kao i osiguranje prikladnog fizičkog održavanja i obnavljanja imovine.

Proširenjem tradicionalnog modela upravljanja imovinom geoprostornom komponentom, omogućava se laka i brza vizualizacija i bolje razumijevanje geografskog konteksta imovine, te podržava izvođenje različitih prostornih upita i analiza. Za distributera plina ovo je od naročitog značaja kod donošenja učinkovitih svakodnevnih operativnih odluka i za uspješno upravljanje cjelokupnom infrastrukturom plinske mreže. Integriranjem geoprostorne tehnologije u sustav upravljanja imovinom, postojeći finansijsko-tehnički podaci se uvezuju sa lokacijskim podacima i ostalim pridruženim meta-podacima čime se dobiva cjelovita slika 'stvarnog svijeta' odnosno opis, karakteristike i performanca, izvedba, aktualni status te životna historija, geografski položaj i prostorne relacije tekuće imovine u odnosu na okruženje tj. ostale objekte i elemente u sustavu. Analize vezano za 'neposrednu blizinu i okruženje' određene posmatrane imovine igraju značajnu ulogu u svakodnevnoj operativi distributera plina, a omogućene su upravo integriranjem geoprostorne tehnologije u sustav centralne baze podataka. Odlučivanje bazirano na poznavanju stvarnog stanja i situacije na terenu smanjuje rizike i istovremeno donosi značajne uštede u vremenu, ljudskim, tehničkim i ostalim resursima čime doprinosi smanjenju ukupnih troškova poslovanja. Ipak, treba naglasiti da upravljanje imovinom vezano za infrastrukturu plinske mreže nadilazi aktivnosti održavanja i sanacije te zadire u čitav opseg aktivnosti od planiranja, projektovanja, analize mreže, mjerenja performansi poslovanja, pa sve do finansijskog i strateškog odlučivanja i upravljanja.

KJKP Sarajevogas d.o.o. je realizaciju *Projekta integriranog upravljanja portfeljom imovine poduzeća* započeo krajem 2012. godine kojim je obuhvaćen razvoj i dizajn novog, sistemskog poslovnog rješenja, uz integraciju sa GIS platformom i otvaranje pristupa korisnicima unutar LAN mreže Sarajevogasa.

Ključne riječi: upravljanje imovinom, geoprostorne tehnologije, infrastruktura plinske mreže, GIS platforma, web-orjentisano sistemsko rješenje.

Abstract

Asset management is a complex and one of the key business processes of the organization, and plays an important role in defining business strategy. Includes activities and/or operations to preserve and create value through the greatest possible increase of revenue, cost optimization, risk management, compliance with all regulatory, technical and other demands, as well as ensuring proper physical maintenance and renewal of assets.

By extending the traditional model of asset management with geospatial component, enables easy and fast visualization and a better understanding of the geographical context of property, and perform various supporting spatial queries and analysis. For gas distributors, this is of particular importance in order to make effective daily operational decisions and to conduct a successful management of the entire gas network infrastructure. Integrating geospatial technologies into an asset management system, the existing financial and technical data is binded with location data and other associated meta-data, which gives a complete picture of 'real world' that is description, features and performance of assets, current status, life history, geographic location and spatial relationships of current asset in relation to the environment i.e. other objects and elements in the system. Analysis regarding the 'immediate vicinity and environment' certain observed properties play a significant role in the daily operative gas distributors, enabled with integrating geospatial technologies into the central database system. Decision-making based on knowledge of the actual situation and the situation on the ground at the same time reducing the risks and delivers significant savings in time, human, technical and other resources, which helps to reduce the total cost of operations. However, it should be noted that the asset management in relation to the gas network infrastructure is far beyond repair and maintenance activities, and delves into a wide range of activities from planning, design, network analysis, performance measurement business, to financial and strategic decision-making and management.

KJKP Sarajevogas Ltd. started the realization of *the Project of Integrated Asset Management of Company portfolio* at the end of 2012. year, which included the development and design of a new, systematic business solutions along with integration with GIS platform and open access to users within the LAN Sarajevogas.

For gas distributor, this system plays a key role in the efficient use of portfolio assets which organizations manage or dispose of, contributing to operational efficiencies, increase system reliability and security, preserving the quality of service and significant cost savings, and provides long-term return on investment for the introduction of such technology in business processes of the company.

Keywords: asset management, geospatial technologies, gas network infrastructure, GIS platform, web-oriented system solution.

1. Uvod

Upravljanje imovinom predstavlja kompleksan i jedan od ključnih poslovnih procesa organizacije, te ima važnu ulogu u definiranju poslovne strategije. Obuhvata aktivnosti i/ili operacije za očuvanje i stvaranje vrijednosti kroz najveće moguće povećanje prihoda, optimizaciju troškova, upravljanje rizicima, ispunjavanje svih regulatornih, tehničkih i ostalih zahtijeva, kao i osiguranje prikladnog fizičkog održavanja i obnavljanja imovine. Tradicionalni sustavi upravljanja imovinom sadržavaju čitav set alata za prikupljanje, upravljanje i analizu podataka o imovini te podržavaju sve faze u životnom ciklusu imovine tvrtke. Obično se koriste desktop aplikativna rješenja sa tabličnom formom za prikaz ovih podataka, najčešće, sa izvorom iz izoliranih baza podataka. Proširenjem tradicionalnog modela upravljanja imovinom geoprostornom komponentom, omogućava se laka i brza vizualizacija i bolje razumijevanje geografskog konteksta imovine, te podržava izvođenje različitih prostornih upita i analiza. Za distributera plina, ovo je od naročitog značaja kod donošenja učinkovitih svakodnevnih operativnih odluka i za uspješno upravljanje cjelokupnom infrastrukturom plinske mreže. Integriranjem geoprostorne tehnologije u sustav upravljanja imovinom, postojeći finansijsko-tehnički podaci se uvezuju sa lokacijskim podacima i ostalim pridruženim meta-podacima čime se dobiva cjelovita slika 'stvarnog svijeta' odnosno opis, karakteristike i performanca, izvedba, aktualni status te životna historija, geografski položaj i prostorne relacije tekuće imovine u odnosu na okruženje tj. ostale objekte i elemente u sustavu. Ipak, ovaj jednostavan zadatak može biti prilično zahtjevno izvršiti bazirajući se isključivo na korištenju tabelarnih sustava. Analize vezano za 'neposrednu blizinu i okruženje' određene posmatrane imovine igraju značajnu ulogu u svakodnevnoj operativi distributera plina, a omogućene su upravo integriranjem geoprostorne tehnologije u sustav centralne baze podataka. Odlučivanje bazirano na poznavanju stvarnog stanja i situacije na terenu smanjuje rizike i istovremeno donosi značajne uštede u vremenu, ljudskim, tehničkim i ostalim resursima čime doprinosi smanjenju ukupnih troškova poslovanja. Ipak, treba naglasiti da upravljanje imovinom vezano za infrastrukturu plinske mreže nadilazi aktivnosti održavanja i sanacije te zadire u čitav opseg aktivnosti od planiranja, projektovanja, analize mreže, mjerenja performansi poslovanja, pa sve do finansijskog i strateškog odlučivanja i upravljanja.

KJKP Sarajevogas d.o.o. je realizaciju *Projekta poboljšanja vođenja stalnih sredstava poduzeća* započeo krajem 2012. godine kojim je obuhvaćen razvoj i dizajn novog, sistemskog poslovnog rješenja, uz integraciju sa GIS platformom i otvaranje pristupa korisnicima unutar LAN mreže Sarajevogasa. Na osnovu analize zatečenog stanja evidencije stalnih sredstava i definisanih ciljeva izrađen je Projektni zadatak koji obuhvata opise svih aktivnosti potrebnih za dopunjavanje postojećih podataka, razvoj novog modela podataka i formiranje konsolidovane baze podataka za sva materijalna i nematerijalna dobra poduzeća, prepoznavanje veza i integraciju sa GIS bazom, dizajn novog korisničkog interfejsa, te razvoj web-orijentisanog sistemskog rješenja sa definisanim aplikativnim modulima za vođenje, izvještavanje i statistiku.

Osnovni ciljevi Projekta obuhvataju sljedeće elemente**:**

- Dinamičko upravljanje klasifikacijom/hijerarhijskim nivoima (klasama, grupama, tipovima..) stalnih sredstava distributera plina;
- Postići jednoznačnu identifikaciju za svako materijalno i nematerijalno dobro koje je u vlasništvu poduzeća ili mu je povjereno na upravljanje;

- Za svaki dio plinskog sustava voditi strukturu ulaganja;
- Za svako stalno sredstvo poduzeća učiniti poznatim vrijeme i vrijednost na dan nabavke/ugradnje radi utvrđivanja knjigovodstvene vrijednosti na današnji dan;
- Revidirati procedure zaduživanja i razduživanja stalnih sredstava poduzeća;
- Jednoznačna identifikacija svih mjerača protoka plina;
- Konsolidacija postojećih, segmentiranih baza podataka na Centralnoj bazi Sarajevogasa;
- Razvoj novog modela podataka sa objedinjenim poslovnim i prostornim podacima;
- Uvezivanje sa GIS platformom (vizualizacija/editovanje/upravljanje podacima);
- Kolaboracija postojećih aplikacija kroz izgradnju „real-time“ web aplikativnog – sistemskog rješenja;
- Nezavisnost u razvoju i održavanju takvog sistemskog rješenja;
- Analiza i statistika baze podataka osnovnih sredstava, itd.

2. Klasifikacija stalne imovine distributera plina

Osnovna klasifikacija imovine poduzeća je na stalna i obrtna sredstva. U nastavku rada će, pak, biti razmatrana samo stalna imovina distributera plina.

Stalna sredstva se koriste u poslovnim aktivnostima poduzeća *u dužem vremenskom periodu*, u više ciklusa reprodukcije (najmanje godinu dana), te podliježu obračunu amortizacije kojom se *mjeri trošenje stalnih sredstava*. Stalna sredstva mogu biti stečena kupnjom, izgradnjom odnosno izradom u vlastitoj izvedbi, razmjenom ili darivanjem. Osnovna sredstva poduzeća predstavljaju trajnu osnovu za rad.

S ciljem boljeg razumijevanja čitavog (distributivnog) upravljačkog sustava kao i bržeg pristupa željenim podacima i informacijama, vrši se klasifikacija stalnih sredstava koja se pojavljuju u poduzeću - u ovom slučaju kod distributera plina.

Klasifikacija stalnih sredstava Sarajevogasa je izvršena uzimajući u obzir karakter i ulogu stalnog sredstva u procesu distribucije prirodnog plina kao osnovne djelatnosti poduzeća.

Na sljedećoj slici su prikazane bazne klase osnovnih sredstava KJKP Sarajevogas d.o.o. distributera plina:

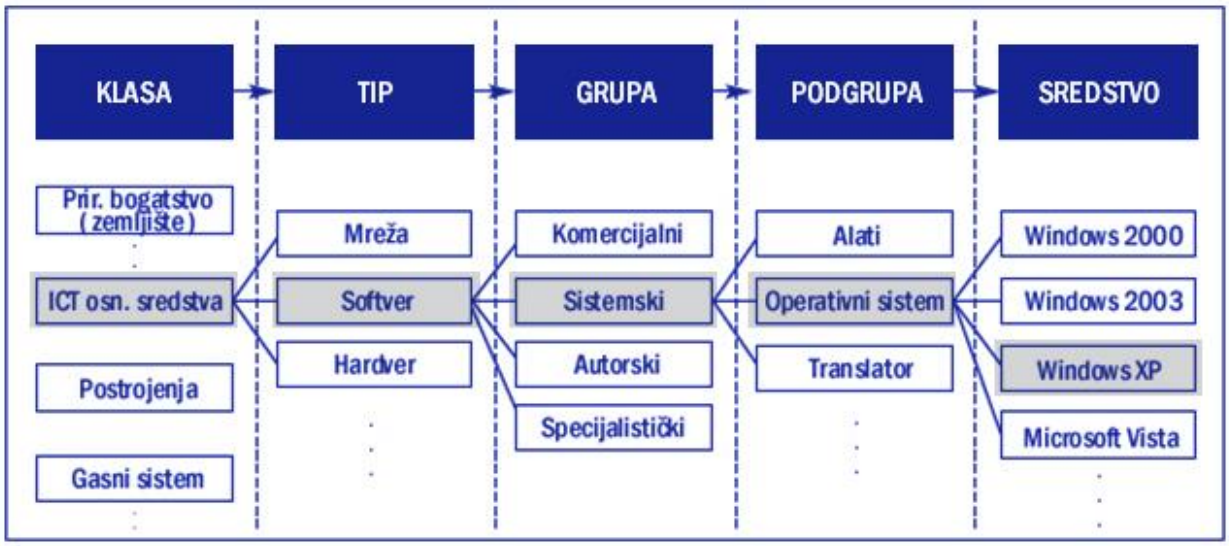
Slika 1. Bazne klase stalnih sredstava kod distributera plina

Detaljnija hijerarhijska klasifikacija stalnih sredstava distributera plina se može predočiti *klasifikacijskim listama* na osnovu kojih se osigurava jednoznačna identifikacija svih osnovnih sredstava u upravljačkom sustavu. Prilikom uvođenja i registracije novog materijalnog sredstva, istom se dodjeljuje jedinstvena oznaka/identifikator koja ga prati kroz čitav sustav. S druge strane, to omogućuje u GIS-u uvezivanje postojećih prostornih podataka sa finansijsko-tehničkim bazama podataka, te 'fizičko lociranje' i objektno-relacijsko mapiranje novog osnovnog sredstva - kao tipskog objekta u zasebnom GIS sloju.

Slika 2. Klasifikacijske liste stalne imovine KJKP Sarajevogas distributera plina

2.1. Klase, tipovi i grupe stalnih sredstava

Hijerarhijska shema osnovnih sredstava organizacije sastoji se iz više razina, pa se tako za pojedinačno osnovno sredstvo pored bazne klase definišu još i **tip, grupa i pripadajuća podgrupa osnovnog sredstva**. Na taj način, svako osnovno sredstvo ima svoju, tačno određenu poziciju u ukupnoj hijerarhijskoj shemi portfelja imovine poduzeća. Složenost ove kompletne sheme donosi brojne izazove i mogućnosti za različite analize, proračune i optimizacije po uspostavljenim, definisanim razinama. Optimizacija složenog skupa imovine poduzeća može se postići samo kroz sustavan i učinkovit proces donošenja odluka u cilju ostvarivanja ukupne strategije poduzeća, uz potencijalna raznolika imovinska ulaganja.



Slika 3. Klase, tipovi i grupe osnovnih sredstava poduzeća

Važno je napomenuti da implementirano sistemsko rješenje za podršku upravljanju osnovnim sredstvima treba da obezbijedi adekvatnu podršku za *dinamičko* vođenje i upravljanje klasifikacijom osnovnih sredstava poduzeća, uz kontrolu korisničkih privilegija za pristup i rad u sustavu. Na taj način, krajnji korisnik može sâm održavati klasifikacijske liste i ostale elemente hijerarhijske sheme imovine poduzeća.

Dobra kvaliteta i kompletnost podataka i informacija o osnovnim sredstvima čini osnovu za upravljanje imovinom. Stoga je vrlo važno izvršiti procjenu kvaliteta, kompletnosti i formata postojećih podataka i informacija, zatim identificirati praznine, planirati dopunu evidencija i registara novim podacima, te na kraju klasificirati i strukturirati imovinu tako da se podrži efikasno, efektivno i cjelovito upravljanje imovinom. Za uspješnu realizaciju *Projekta poboljšanja vođenja stalnih sredstava poduzeća* prepoznata je, na samom početku implementacije, potreba za dopunjavanjem postojećih kolekcija odnosno baza podataka nakon koje neminovno slijedi redizajn i razvoj novog modela podataka koji bi podržao

3. Životni ciklus upravljanja imovinom poduzeća

Svako osnovno sredstvo prolazi kroz različite faze ili stepene u svom životnom ciklusu, od nabavke/izgradnje do otpisa/zamjene istog. U tom procesu ono postepeno troši svoju početnu vrijednost odnosno gubi svoj izvorni kvalitet, tako da je neophodno periodično ili po potrebi vršiti aktivnosti odnosno sprovoditi postupke na održavanju ili obnavljanju imovine kako bi se što duže očuvala, u što boljem i kvalitetnijem stanju. Ipak, ukoliko se određeno sredstvo 'potroši' u obimu da ga više nije moguće koristiti i tako izgubi svoju vrijednost i kvalitet, tada je potrebno kroz posebne postupke izvršiti otpis ovog osnovnog sredstva ili, pak ukoliko to mogućnosti dozvoljavaju, izvršiti njegovu zamjenu. Stoga, upravljanje imovinom poduzeća predstavlja složen zadatak koji sa sobom nosi brojne prepreke ali i različite mogućnosti.

Slika 4. Životni ciklus upravljanja imovinom poduzeća

Postoje brojni mjerni pokazatelji odnosno parametri uspješnosti upravljanja imovinom. Općenito, uspješno upravljanje imovinom je ono koje je u skladu sa strateškim, finansijskim i operativnim ciljevima poduzeća te doprinosi njihovom dostizanju i tako podržava održivost, rast i razvoj ukupnog poslovanja.

4. Tradicionalni sustavi upravljanja imovinom poduzeća

Tradicionalni sustavi upravljanja imovinom se najčešće baziraju na korištenju izoliranih aplikativnih rješenja i istih takvih, pripadajućih kolekcija podataka koji su dostupni samo ograničenom broju privilegiranih korisnika, dok ostali korisnici poduzeća nemaju omogućen pristup sustavu te stoga nemaju uvid u imovinske podatke. Postojanje višestrukih izvora podataka osnovnih sredstava rezultira brojnim problemima uključujući loš kvalitet podataka, redudanciju i inkompatibilnost podataka, radnu neefikasnost, nedovoljnu tačnost i pouzdanost izvještavanja, ograničene analitičke mogućnosti, itd. Sve ovo ukazuje na potrebu za novim, sistemskim pristupom i naprednijim modelom upravljanja osnovnom imovinom poduzeća. Za cjelovito upravljanje imovinom poduzeća, od esencijalnog je značaja uvezivanje svih poslovnih procesa i sudionika koji učestvuju u procesu kreiranja tj. stvaranja imovinskih podataka kako bi se svi 'ostrvski' 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 poduzeća.

5. Integracija sa GIS tehnologijom/platformom

Uvođenjem GIS tehnologije i etabliranjem Centralne baze svih prostornih i poslovnih podataka u KJKP Sarajevogas, uspostavljena je Integracijska platforma koja obuhvata i

povezuje različite informacione sustave, aplikacije, servise i ostale tehnologije poduzeća. GIS platforma, zapravo, predstavlja korporacijsku sabirnicu Sarajevogasa. Na taj način, GIS daje podršku i zadire u sva poslovna područja distributera plina, počevši od operativnog planiranja, dizajniranja i projektovanja, izvođenja radova, održavanja, do odlučivanja i upravljanja plinskim sustavom Kantona Sarajevo.

Migracijom disperziranih kolekcija podataka o osnovnoj imovini i integracijom na Centralnoj bazi podataka, omogućeno je njihovo dodatno uvezivanje sa prostornom komponentom baze i GIS tehnologijom, čime je stvorena osnova za izgradnju inoviranog, 'lokacijski-inteligentnog' *Sustava za upravljanje osnovnim sredstvima Sarajevogasa*. Implementacija efikasnog Sustava za upravljanje osnovnim sredstvima zahtijeva međusektorski i multidisciplinaran pristup, te omogućuje podizeću maksimalno povećanje vrijednosti i realizaciju strateških ciljeva. Za razliku od dosadašnjeg desktop aplikativnog rješenja, ovaj sustav korištenjem moderne webGIS tehnologije, obezbjeđuje jednostavan pristup informacijama širokom spektru korisnika, zatim kvalitetniju prezentaciju i vizuelizaciju podataka, efikasnu distribuciju imovinskih i ostalih poslovnih podataka, prostornu analizu i upravljanje imovinom poduzeća, izvršavanje 'ad-hoc' i predefinisanih upita, generisanje 'on-line' izvještaja, itd. Dakle, unaprijeđeni Sustav za upravljanje osnovnim sredstvima poduzeća obuhvata sve faze tijekom životnog ciklusa imovine, te sadržava čitav set alata za prikupljanje, upravljanje i analizu podataka o osnovnim sredstvima. Na taj način, omogućeno je efikasno praćenje i korištenje imovine, te optimizacija stanja iste ali i ukupnog poslovanja poduzeća.

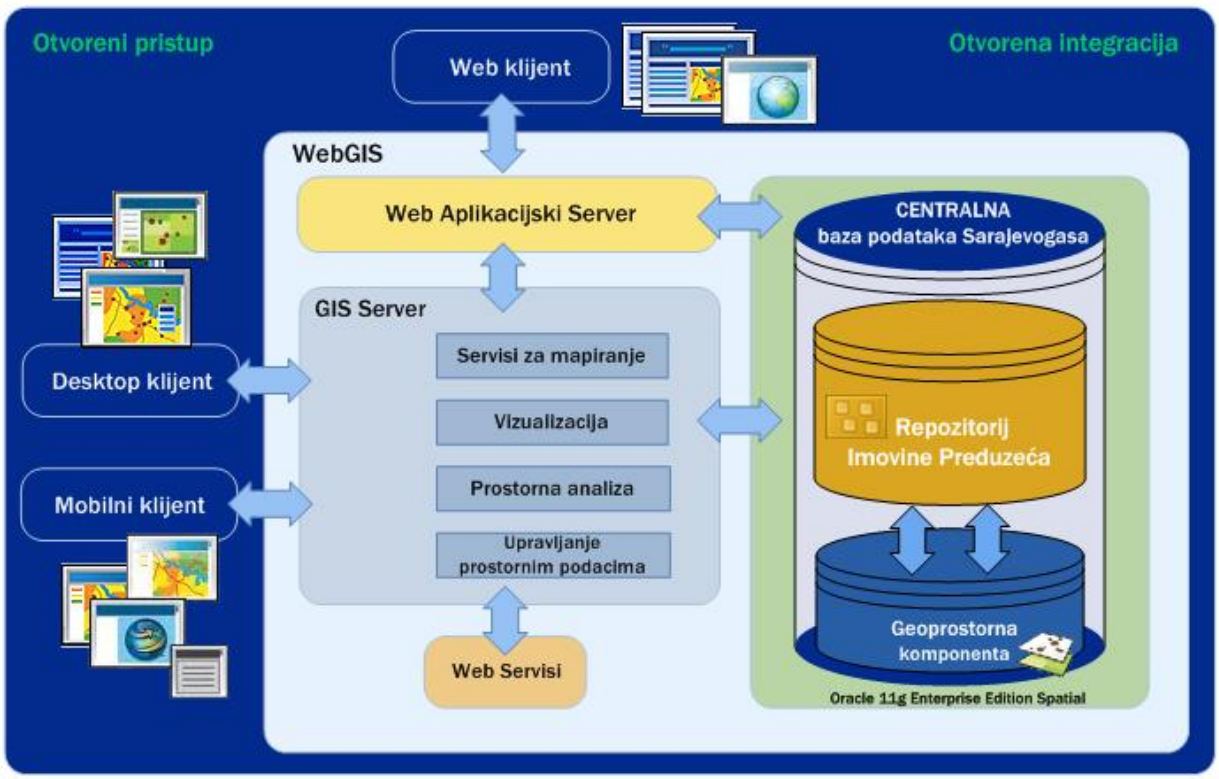
Slika 5. GIS Integracijska platforma - suvremeno poslovno okruženje distributera plina

WebGIS predstavlja web-orjentisani informacioni sistem koji daje funkcionalnosti geoinformacionih sistema na webu preko HTTP-a i HTML-a. WebGIS aplikacije nude

različite mogućnosti, od uvida u statične i dinamične karte pa sve do naprednih funkcionalnosti, kao što je izvođenje prostornih analiza. Za podršku upravljanju osnovnom imovinom Sarajevogasa, planira se nadogradnja postojeće WebGIS aplikacije *WebPresenter*, sa definisanim pravima za pristup i rad u sustavu.

WebGIS platforma se bazira na troslojnoj klijent-server arhitekturi. Prvi sloj predstavlja korisnički interfejs na klijentskoj strani. Drugi je sloj poslovne logike koji izvršava definisanu poslovnu logiku i omogućava pristup GIS i poslovnim podacima, te istovremeno logički izolira klijentsku stranu od podataka. Na taj način smanjena je kompleksnost pristupa podacima klijentskoj strani, ali i povećana sigurnost podataka. Treći sloj predstavlja Centralnu bazu podataka sa integrisanim prostornim i poslovnim podacima poduzeća.

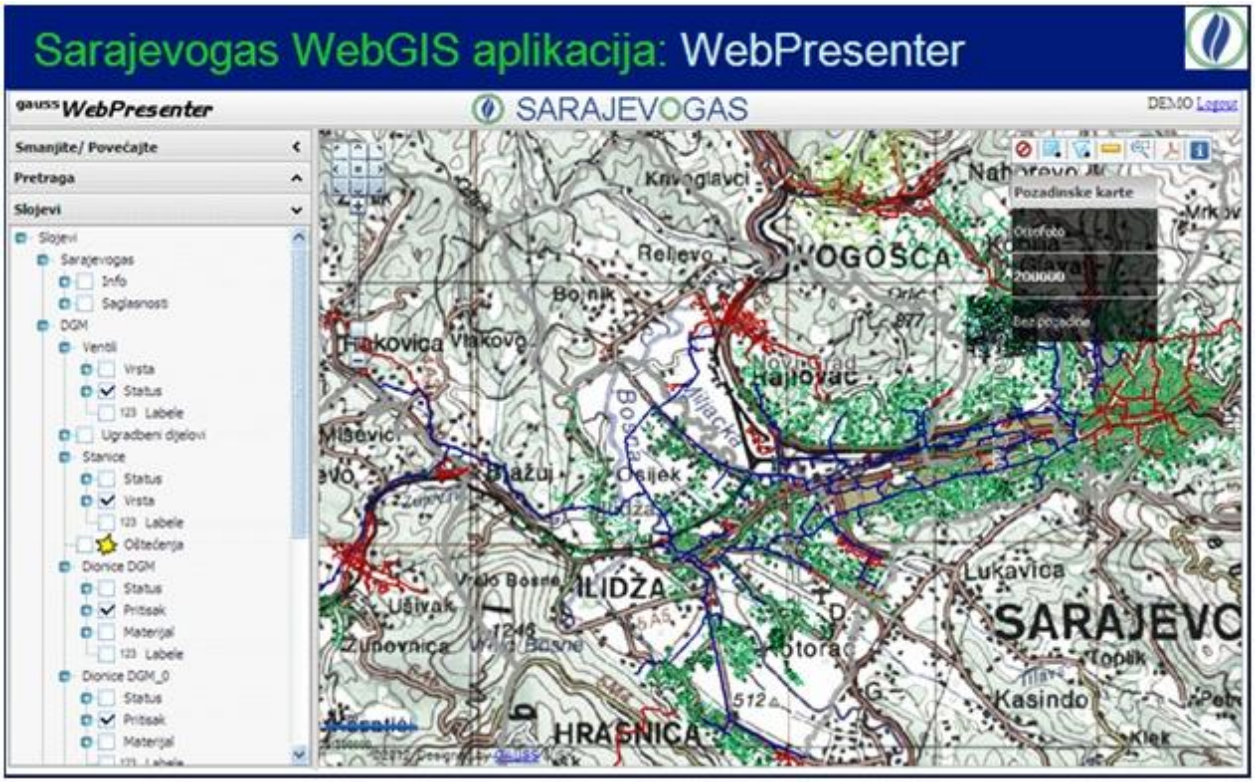
Dakle, korisnici sada za pristup GIS sistemu i imovinskim podacima koriste osim desktop softvera i web preglednike, te tako preko web aplikacijskog i GIS servera dolaze do podataka Centralne baze i Repozitorija imovine poduzeća. GIS server podržava Mapping servise, vizuelizaciju, prostornu analizu i upravljanje prostornim podacima, kao na sljedećoj slici:



Slika 6. WebGIS Arhitektura za podršku geoprostornom upravljanju imovinom

6. Geoprostorno upravljanje imovinom poduzeća

Za distributera plina, ključni segment upravljanja imovinom se odnosi upravo na upravljanje infrastrukturom plinske mreže, te pratećim objektima i elementima distributivnog plinskog sustava. Naime, čitava distributivna plinska mreža može se posmatrati kao dinamički model međusobno povezanih (mrežnih) osnovnih sredstava uključujući dionice (svih nivoa pritisaka), dionice priključnog plinovoda, vertikale/horizontale, postrojenja, mjerno regulacionu opremu i ostale elemente distributivne plinske mreže, te investiciono-projektnu dokumentaciju. Sustav upravljanja imovinom treba da pruži podršku za cjelokupan tok aktivnosti od planiranja nabavke neophodnih osnovnih sredstava odnosno izgradnje imovine (distributivne plinske mreže, priključaka i mjerno regulacionih uređaja), zatim njenog uknjiženja i aktiviranja kao stalnog sredstva u poslovnim knjigama poduzeća, te korištenja tijekom njenog vijeka trajanja, održavanja i obnavljanja, sve do konačnog otpisa i dealokacije iste imovine. Imajući u vidu da se radi o ključnoj i kritičnoj imovini sa aspekta poslovanja za koju se vežu značajni troškovi, alokacija resursa, mjerenje performansi te procjena rizika, neophodno je u Sustav upravljanja imovinom ugraditi uspješne strategije koje će smanjiti troškove i rizike, a povećati sigurnost plinskog sustava kao i učinkovitost održavanja, zamjene ili rekonstrukcije dijelova plinske mreže te povećati kapitalna ulaganja.



Slika 7. Sarajevogas WebGIS aplikacija: *WebPresenter*

7. Zaključak

Implementacijom inoviranog, sustavnog rješenja za upravljanje osnovnim sredstvima poduzeća ostvarili bi se zacrtani ciljevi i kvalitet upravljanja cjelokupnom imovinom a time i infrastrukturom plinske mreže. Naime, čitava distributivna plinska mreža može se posmatrati kao dinamički model međusobno povezanih (mrežnih) osnovnih sredstava uključujući dionice (svih nivoa pritisaka), dionice priključnog plinovoda, vertikale/horizontale, postrojenja, mjerno regulacionu opremu i ostale elemente distributivne plinske mreže, te investiciono-projektnu dokumentaciju. Sustav geoprostornog upravljanja infrastrukturom plinske mreže pruža menadžerima prostorne i vremenski-dinamične informacije o sustavu potrebne kako bi se povećale performanse i životni vijek imovine, istovremeno smanjujući operativne troškove. Za distributera plina, ovakav sustav igra ključnu ulogu u efikasnom korištenju imovine kojom organizacija upravlja ili raspolaže, doprinoseći operativnoj učinkovitosti, povećanju pouzdanosti i sigurnosti sustava, očuvanju kvaliteta servisa, te značajnim uštedama, a dugoročno osigurava i povrat uloženih investicija za uvođenje ovakvih tehnologija u poslovne procese poduzeća.

8. Literatura

[1] A. Brint, J.Bridgeman, M.Black, *"Current Position and Future Direction of Asset Management in Utility Industries"*, Journal of Operational Research Society, 2009

[2] I.Eusgeld, W.Kroger, G.Sansavini, M.Schlapfer, E.Zio, *"The Role of Network Theory and Object-oriented Modelling within a Framework for the Vulnerability Analysis of Critical Infrastructures"*, 2009

[3] J.Altmann, "*Best Practices in Infrastructure Asset Management"*, PEI Media Ltd, 2010

[4] Integraph Corporation, "*Gas distribution & Pipeline Infrastructure Management"*, 2010

[5] R.Remenyte-Prescott, J.Andrews, *"Review of Infrastructure Asset Management Methods for Networked Systems"*, The Journal of Finanace, 1952

[6] E.J.Elton, M.J.Gruber, *"Modern Portfolio Theory"*, Journal of Banking & Finance, 1977

[7] D.Maringer, *"Portfolio Management with Heuristic Optimization"*, Computational Management Science Series, 2005

[8] F.Black, M.C.Jensen, M.Scholes, *"The Capital Asset Pricing Model: Some Empirical Tests"*, Praeger Publishers, 1972

[9] S.Dragićević, *"The potential of Web-based GIS"*, Journal of Geographical Systems, 2004

Servisiranje i održavanje regulatora tlaka u mjerno-regulacijskim stanicama
Servicing and maintenance of the pressure regulator placed in metering and regulating stations

P. Knežević [1], M. Stoić[2,*], A. Stoić [3], J. Kopač[4]

[1] Papuk-plin d.o.o., Orahovica, Hrvatska
[2]Veleučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska
[3] Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod, Hrvatska
[4]University of Ljubljana, Mechanical Engineering faculty, Ljubljana, Slovenia

[*]Autor za korespodenciju. E-mail: mstoic@vusb.hr

Sažetak

Cilj rada je ukazati na potrebu redovitog servisiranja i održavanja regulatora tlaka smještenog u mjerno-regulacijskoj stanici za potrebe kućanstva. Za vrijeme mirovanja svih potrošača u nekom kućanstvu u pravilu bi potrošnja plina trebala biti jednaka nuli. Međutim, mjerenjima je utvrđeno kako unutar mjerno-regulacijske stanice ipak dolazi do istjecanja određene količine plina u okolinu, a da ta količina nije nigdje zabilježena te predstavlja potencijalnu opasnost za okolinu, a također i direktan gubitak. Jedan od razloga nekontroliranog ispuštanja plina je uslijed nakupljanja nečistoća na brtvi dosjeda ventila regulatora tlaka zbog čega ne dolazi do potpunog zatvaranja ventila te dio plina i dalje istječe kroz sigurnosno-odušne ventile u okolinu. Redovitim servisiranjem i održavanjem regulatora tlaka nekontrolirana propuštanja plina unutar mjerno-regulacijske stanice bila bi svedena na minimum.

Abstract

The aim of this work is to emphasize the need for regular servicing and maintenance of the pressure regulator located in the measuring and control station for household needs. During the rest of the consumer in a household the gas consumption should be equal to zero. However, by measurements it is determined that inside the measurement and regulation stations there is still some gas flow out in the environment that is nowhere recorded and poses a potential threat to the environment, as well as direct loss. One of the reasons for uncontrolled release of gas is due to the accumulation of dirt on the valve seat seal pressure regulator that enables a complete closure of the valve and a portion of the gas is still escaping through the safety vent valves in the environment. With regular servicing and maintenance of the pressure regulator uncontrolled gas leaks within the measurement and regulation stations would be reduced to a minimum.

Ključne riječi: regulator tlaka, potrošnja plina, propuštanje

1. Uvod

Kvalitetno mjerenje potrošnje plina ovisi o velikom broju čimbenika, ali je i osnova za obračun potrošnje plina za sve kategorije i razine potrošača. Zbog visokih cijena energenata, ali i zbog zaštite potrošača točnosti mjerenja potrošnje plina posvećuje se danas velika pozornost. Mjerenje potrošnje plina obavlja se mjeračima koji potrošeni plin registriraju kao volumensku veličinu.

Slika 1. Mjerač potrošnje plina

Mjerača plina odnosno plinomjera ima više vrsta a izbor plinomjera ovisi o mjerenoj količini plina, razini tlaka i rasponu potrošnje. U domaćinstvima, obrtima i manjim potrošačima koristi se membranski plinomjer koji izravno mjeri obujam. Ova vrsta plinomjera pokazala se pouzdanom već više od 100 godina i njihov daljnji razvoj uglavnom se ograničio na poboljšavanje točnosti mjerenja i korištenje boljih materijala zbog što veće sigurnosti. Plinomjer je samo jedan od dijelova koje mjerno-regulacijska stanica mora imati, a koji ima zadatak mjeriti količinu potrošenog plina u kućanstvu.

Slika 2. Mjerno-regulacijska stanica

Osim mjerenja potrošnje plina, mjerno-regulacijska stanica ima zadatak:

- regulirati promjenjivi ulazni tlak na konstantan izlazni tlak potreban pojedinom potrošaču (s određenim prihvatljivim odstupanjem)
- štititi sve plinske uređaje iza regulacijske stanice od nedopuštenog previsokog ili preniskog tlaka
- osiguravati kontinuiranost opskrbe plinom svih potrošača na pojedinim segmentima plinske mreže
- odvajati nečistoće iz plina prije prolaza kroz mjerače plina
- mjeriti potrošnju plina s točnošću u zakonskim propisanim granicama radi ispravnog obračuna i naplate
- smanjiti buku pri protjecanju plina kod maksimalnog protoka na dopuštenu razinu, ovisno o mjestu lokacije objekta

Obzirom na zadatke koji se postavljaju pred mjerno-regulacijsku stanicu ona mora imati sljedeću opremu:

- zaporne ventile
- filtere, odnosno pročistače plina, koji se ugrađuju iza zapornog ventila na ulazu u mjerno-regulacijsku stanicu
- regulator tlaka
- sigurnosne uređaje koji onemogućuju prekoračenje razine tlaka u odnosu na dopuštenu veličinu
- cijevi, brtvila i druge spojeve
- kontrolne i pokazne instrumente

U pravilu bi sveukupna količina plina koja uđe u mjerno-regulacijsku stanicu trebala proći kroz mjerač plina prilikom potrošnje iste od strane nekog od potrošača u kućanstvu.
To znači, ukoliko od strane potrošača u datom trenutku nema potrebe za potrošnjom plina, odnosno brojač plina ne pokazuje nikakav protok, da ne bi trebalo doći do protjecanja plina niti unutar mjerno-regulacijske stanice. Međutim, mjerenjima na odušnom ventilu regulatora tlaka zabilježena je određena količina plina koja odlazi u okolinu iako niti jedan od potrošača nije aktivan. Istjecanje veće količine plina u okolinu predstavlja potencijalnu opasnost, ali i direktan financijski gubitak distributeru plina što u današnje vrijeme, obzirom na cijene energenata nikako nije zanemarivo.

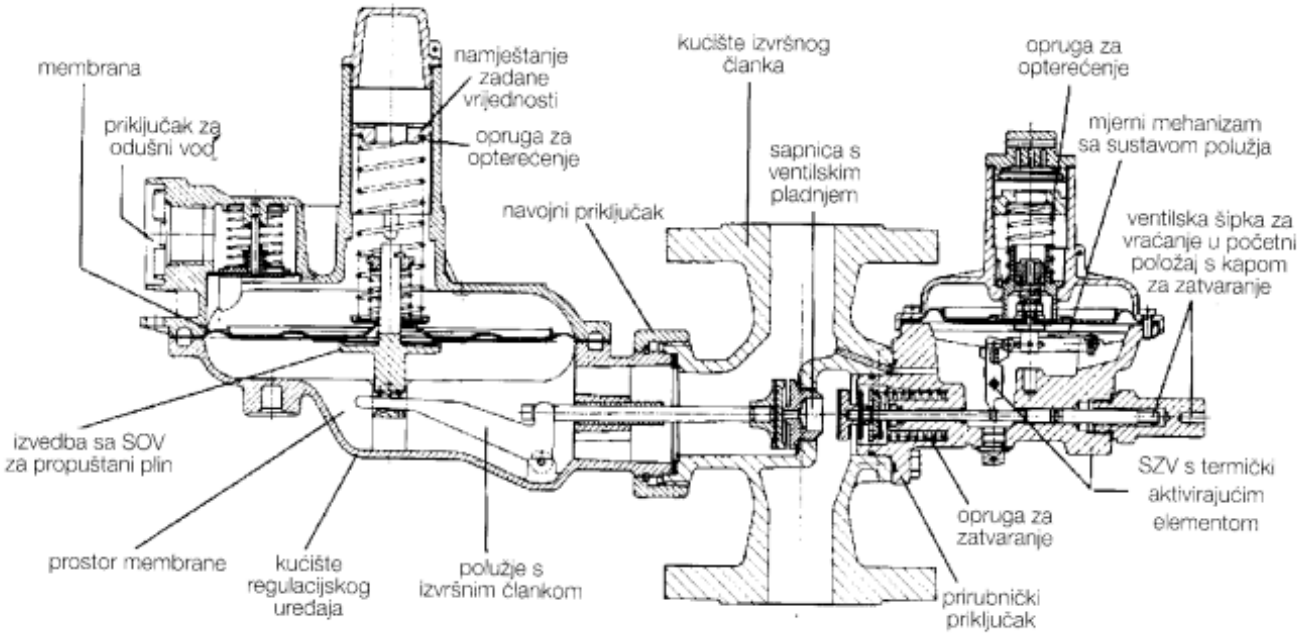
2. Regulator tlaka

2.1. Zadatak i tehnički podaci

Zadatak regulatora tlaka je održavanje izlaznog tlaka unutar postavljenih određenih granica, bez obzira na promjenu ulaznog tlaka i protočnu količinu plina.
Za ispravan izbor regulatora tlaka bitno je poznavati sljedeće veličine:

- ulazni tlak
- izlazni tlak
- protočnu količinu
- radni medij

Također se mogu postaviti i neki dodatni uvjeti kao što su zadatak regulacije, granice odstupanja i brzina namještanja.
Glavni dijelovi regulatora tlaka proizvođača Rombach, Njemačka dani su na slici 3.



Slika 3. Shema izravnog regulatora 133/123 proizvođača Rombach, Njemačka

2.2. Princip rada regulatora tlaka

Zadatak regulatora je da izlazni tlak drži konstantnim neovisno o ulaznom tlaku i količini protoka plina. Kada nema potrošnje regulator bi trebao potpuno zatvoriti i protok bi trebao biti jednak nuli (Q=0).
Mjerni element, membrana, koji je opterećen oprugom preko poluge pomiče izvršni članak. Veličina zadanog tlaka je određena zategnutošću opruge, odnosno opterećenjem opruge.
Pri povećanju protoka dolazi do porasta izlaznog tlaka . Ukoliko u izlaznom presjeku nema plina, regulator je otvoren, tj. podešena zategnutost opruge pritiskuje membranu i polugu na dole i izvršni članak otvara tako da plin struji kroz mlaznicu. Izlazni tlak se povećava i djeluje na oprugu . Kako tlak dalje raste djeluje na mjerni mehanizam sa sustavom polužja koji djeluje na oprugu i pokreće sapnicu sa ventilskim pladnjem te smanjuje otvor na sapnici. Strujanje plina se prigušuje i porast izlaznog tlaka se prekida, tj. uspostavlja se konstantni traženi izlazni tlak.
Pri povećanoj potrošnji plina sila iza mlaznice pada, sila opruge je veća od sile tlaka plina i sapnica se otvara.
Ovo se naizmjenično ponavlja sve dok se ne uspostavi ravnoteža između podešene sile opruge i sile na mjernom mehanizmu koja ovisi o protoku plina.

Ukoliko dođe do oštećenja na sapnici ili se poluga zaglavi tlak iza sapnice se povećava. Tlak se može povećati samo do vrijednosti podešenog tlaka zatvaranja sigurnosnog zapornog ventila koji tada prekida dotok plina.
Prema DVGW (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches), radnom listu 490, svaki regulator tlaka mora imati sigurnosne uređaje koji sprječavaju nedozvoljeni porast izlaznog tlaka. U slučaju porasta tlaka plina iznad dopuštene vrijednosti izlaznog tlaka mora biti omogućen izlazak plina u okolinu. Kao sigurnosni uređaji koji omogućuju istjecanje viška plina koriste se odušni ventil, sigurnosni zaporni ventil i sigurnosni odušni ventil.

3. Kontrola i održavanje regulatora tlaka u mjerno –regulacijskim stanicama

Novopostavljena kućna plinska instalacija ne smije se pustiti u pogon ako prethodno nije pregledana od strane nadležne osobe (u pravilu ovlašteni predstavnik distributera) i pri čemu se izdaje službeni Očevidnik.
Da bi opskrba plinom i sigurnost u ukupnoj opskrbi energijom bila na visokoj razini potrebno je vršiti redovitu kontrolu i održavanje mjerno-regulacijskih stanica i plinskih postrojenja općenito.
Radi odgovornosti prema korisnicima plina treba odrediti opseg i vremenski razmak kontrole i održavanja mjerno-regulacijskih stanica.

4. Propuštanje regulatora u mjerno-regulacijskim stanicama

4.1 Točke mjerenja prisutnosti plina u regulatoru u mjerno-regulacijskim stanicama

U trenutku kada su svi potrošači zatvoreni i plinomjer ne pokazuje nikakvo gibanje plina u mjerno-regulacijskoj stanici ne bi smjelo biti prisutnosti plina. Međutim, do curenja plina u regulatoru u mjerno-regulacijskoj stanici ipak dolazi i to u točkama koje su prikazane na sljedećim slikama.

Slika 4. Mjerenje ispuštanja plina na sigurnosnom ventilu

Slika 5. Mjerenje ispuštanja plina na odušnom ventilu

Slika 6. Mjerenje propuštanja plina na navojnim spojevima

4.2 Izmjerene vrijednosti prisutnosti plina u regulatoru u mjerno-regulacijskim stanicama

U tablici 1. dane su izmjerene vrijednosti prisutnosti plina u mjerno-regulacijskim stanicama u trenutku kada su svi potrošači zatvoreni i u pravilu ne bi trebalo biti nikakve potrošnje plina unutar mjerno-regulacijske stanice.

Tablica 1. Izmjerene vrijednosti plina u kritičnim točkama unutar mjerno-regulacijske stanice

SREDNJETLAČNI REGULATOR TLAKA PLINA												
BROJ:	1		2		3		4		5		6	
NEPOROPUSNOST	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE
ppm	1000		100		440		1350		50		150	
IZLAZNI TLAK (mbar)	30		27		25		28		24		22	
SIGURNOSNI ZAPORNI VENTIL (SZV)	RADI (mbar)											
	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE
mbar	35		35		35		35		35		35	
SIGURNOSNI ODUŠNI VENTIL (SOV)	RADI (mbar) 87-150											
BROJ:	7		8		9		10		11		12	
NEPOROPUSNOST	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE
ppm	0		350		0		100		50		0	
IZLAZNI TLAK (mbar)	22		29		20		20		24		31	
SIGURNOSNI ZAPORNI VENTIL (SZV)	RADI (mbar)											
	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE
mbar	35		35		35		35		35		35	
SIGURNOSNI ODUŠNI VENTIL (SOV)	RADI (mbar) 87-150											
BROJ:	13		14		15		16		17		18	
NEPOROPUSNOST	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE
ppm	0		180		0		280		1100			
IZLAZNI TLAK (mbar)	27		20		20		31		24			
SIGURNOSNI ZAPORNI VENTIL (SZV)	RADI (mbar)											
	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE	DA	NE
mbar	35		35		35		35		35			
SIGURNOSNI ODUŠNI VENTIL (SOV)	RADI (mbar) 87-150											

5. Zaključak

Propuštanja na navojnim spojevima i odušnom ventilu su utvrđena na 12 od ukupno 17 mjernih mjesta. U provedenim mjerenjima utvrđena je najveća propusnost na navojnim spojevima i odušnom ventilu u vrijednosti 1350 ppm.

Utvrđena su odstupanja u izmjerenim vrijednostima izlaznog tlaka (tipski podešen na 18 mbar) na svih 17 mjernih mjesta. Najmanje prekoračenje izlaznog tlaka je 10% (20 mbar), a najveće 41,9% (31 mbar). Prosječno prekoračenje izlaznog tlaka je 27,8% (24,94 mbar).

Utvrđena je ispravnost sigurnosnog zapornog ventila u svim mjerenjima. Tlak otvaranja sigurnosnog zapornog ventila podešen je na 35 mbar.
Slijedom navedenog regulator se smatra pouzdanim, ali distributer plina trpi gubitke. Svođenjem na standardno stanje (p_b=1015 mbar i p_s=1013,25 mbar) dobije se razlika u potrošnji obračunate i isporučene količine plina od 0,68%.

6. Literatura

[1] Strelec i suradnici. Plinarski priručnik, 6. izdanje.// Energetika marketing, Zagreb (ISBN 953-6759-11-X) **(knjiga/poglavlje u knjizi)**
[2] Šunić, Miljenko. Plinski sustavi distribucija plina // *Bauer grupa*, Samobor; (ISBN 953-98855-1-5) **(knjiga/poglavlje u knjizi)**
[3] Knežević, Pero. Procjena gubitaka plinovodnih sustava // Orahovica 2011.