

ISSN br. 0354-8651



List Saveza energetičara  
Broj 3-4 / Godina XVII / Mart 2015.  
UDC 627.9

# energija

■ ekonomija ■ ekologija

# ENERGETIKA 2015



# ENERGETIKA 2015.

## XXXI međunarodno savetovanje



energija



ekonomija



ekologija

## ENERGETIKA 2015.

### Pokrovitelji savetovanja

Ministarstvo rudarstva i energetike,  
Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja,  
Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine,  
Ministarstvo privrede  
PKS, JP EPS, NIS a. d., JP EMS, JP Srbijagas



### SAVEZ ENERGETIČARA

Adresa: 11000 Beograd, Dečanska 5

Telefon: + 381 11 32 26 007

E-mail: [savezenergeticara@eunet.rs](mailto:savezenergeticara@eunet.rs)

[www.savezenergeticara.org.rs](http://www.savezenergeticara.org.rs)

### ZBORNİK RADOVA

Zlatibor, 24.03. - 27.03.2015

# energija

## ekonomija ekologija

Energija/Ekonomija/Ekologija

Broj 3-4, mart 2015.

Osnivač i izdavač  
**Savez energetičara**

Predsednik SE  
**Prof. dr Nikola Rajaković**

Sekretar SE  
**Nada Negovanović**

Glavni i odgovorni urednik  
**Prof. dr Nenad Đajić**

Adresa redakcije  
Savez energetičara  
11000 Beograd  
Dečanska 5  
tel. 011/322-6007

E-mail: savezenergeticara@EUnet.rs  
www.savezenergeticara.org.rs

Kompjuterski prelom EKOMARK  
**Dragoslav Ješić**

Štampa  
„Akademska izdanja“,  
Beograd

**Godišnja pretplata**  
- 10.000,00 dinara  
- za inostranstvo 20.000,00  
dinar

**Tekući račun SE**  
broj 355-1006850-61

Radovi su recenzirani uz  
tehničku obradu.

Nijedan deo ove publikacije  
ne može biti reprodukovana,  
presnimavan ili prenošen bez  
prethodne saglasnosti Izdavača.

### IZDAVAČKI SAVET

**Alaksandar Antić**,  
ministar rudarstva i energetike  
**dr Srđan Verbić**, ministar  
prosvete, nauke i tehnološkog  
razvoja

**Željko Sertić**, ministar privrede  
**Prof. dr Snežana**

**Bogosavljević - Bošković**,  
ministar poljoprivrede i zaštite  
životne sredine

**Prof. dr Branko Kovačević**,  
dekan ETF

**Prof. dr Aleksandar Gajić**,  
Mašinski fakultet Beograd

**Prof. dr Slobodan Stupar**,  
pomoćnik ministra

**Prof. dr Zoran Rajić**, državni  
sekretar

**Dušan Mrakić**, ministarstvo  
rudarstva i energetike

**Ljubo Mačić**, dir. Agencije za  
energetiku Srbije

**Dragan Jovanović**, izv. dir.  
EPS

**dr Kiril Kravčenko**, gen.dir.  
NIS ad

**Aleksandar Obradović**,  
direktor JP EPS

**Aleksej Belov**, dir. Bloka  
„Energetika“ NIS

**Čedomir Ponoćko**, dir.  
TENT, d.o.o.

**Nikola Petrović**, gen.dir.  
JP EMS

**dr Aca Marković**, JP EPS  
**Dušan Bajatović**, dir.  
JP Srbijagas

**Milorad Grčić**, dir.  
RB Kolubara d.o.o.

**Goran Knežević**, dir. HE  
Đerdap, d.o.o.

**Slobodanka Krčevinac**,  
dir. EDB

**Goran Horvat**, dir. TE-KO  
Kolubara

**mr Bogdan Laban**, dir.  
Elektrovojvodina, d.o.o.

**Tomislav Basta**, v.d. dir. JP  
Transnafta

**Srđan Đurović**, dir.  
Elektrosrbija, d.o.o.

**Aleksandar Vlajić**, dir.  
Obnovljivi izvori EPS

**dr Miroslav Malobabić**, dir.  
JP Srbijagas

**Darko Bulatović**, dir.  
„Jugoistok“ d.o.o.

**Sanja Tucaković**, dir.  
„Centar“, d.o.o.

**Dobrosav Arsović**, dir.  
JKP Novosadska toplana

**Zoran Ivančević**, dir.  
Panonske TE-TO

**Vuk Hamović**, EFT Group

**dr Nenad Popović**,  
ABS Holding

**dr Dragan Kovačević**, dir.  
Elektrotehnički institut  
„Nikola Tesla“

**Prof. dr Sanja Vraneš**, dir.  
Instituta „Mihajlo Pupin“

**Borislav Grubor**, Instituta za  
nuklearne nauke „Vinča“

**Prof. dr Milorad Milovančević**,  
dekan Mašinskog fakulteta  
u Beogradu

**Prof. dr Dejan Filipović**, dekan  
Geografskog fakulteta

**Prof. dr Šćepan Miljanić**, dekan  
Fakulteta za fizičku hemiju

**Prof. dr Rade Dobroslovački**,  
dekan Fakulteta tehničkih  
nauka u NS

**Prof. dr Ivan Obradović**, dekan  
Rudarsko-geološkog fakulteta  
u Beogradu

**Prof. dr Jeroslav Živanić**,  
dekan Tehnički fakultet u  
Čačku

**Prof. dr Milun Babić**, Fakultet  
inženjerskih nauka u  
Kragujevcu

**Dejan Popović**, N.O. EPS

**Slobodan Babić**, Rudnap  
Group

**Dr Vladimir Živanović**, SE

### REDAKcioni ODBOR

**Prof. dr Ozren Očić**

**Slobodan Petrović**, sekretar  
Odbora za energetiku PKS

**Radiša Kostić**, dir.  
Elektroistok-izgradnja

**dr Tomislav Simović**, dir.  
Montinvest ad

**Milorad Marković**, predsednik  
HK Minel

**Milan Lončarević**, NIS a. d.

**Prof. dr Petar Đukić**, TMF

**Dragan Nedeljković**, novinar

**Dr Branislava Lepotić**, dir.  
JP Transnafta

**Jelena Vujović**, dir. za odnose  
s javnošću EPS

**Roman Mulić**, SE

**Simo Bobić**, PK Beograda

**Nikola Petrović**, dir. Energetika  
Kragujevac

**Ružica Vranjković**, novinar

**Jelica Putniković**, novinar

# ees energija

■ ekonomija ■ ekologija

## ORGANIZACIONO - PROGRAMSKI ODBOR

**Predsednik:** Prof.dr Milun Babić, Mašinski fakultet u Kragujevcu

**Sekretar:** Nada Negovanović, sekretar Saveza energetičara

### Članovi:

Prof.dr Беляков Алексей Васильевич, Научно-исследовательский институт» ОАО «ВТИ») – Российская Федерация

Dr Matthias Jochem Mitsubishi Hitachi Power System Europe GmbH, Nemačka

Dr Jean Rizzon, Mitsubishi Hitachi Power System Europe GmbH

Dr Patrick Weckes, Mitsubishi Hitachi Power System Europe GmbH

Prof. dr Miloš Nedeljković, Mašinski fakultet Beograd

Prof. dr Adriana Sida Manea, Politehnica-University of Timisoara, Romania

dr Ivan Souček, Ph. D., Prague Institute of Chemical Technology, Czech Republic

Prof.dr Zoran Rajić, državni sekretar

Prof.dr Slobodan Stupar, pomoćnik ministra

Prof. dr Miloš Banjac, pomoćnik ministra

Prof.dr Branko Kovačević, dekan ETF u Beograd

Prof.dr Aleksandar Gajić, Mašinski fakultet Beograd

Prof.dr Dečan Ivanović, Mašinski fakultet Podgorica

Prof.dr Zdravko N.Milovanović, Mašinski fakultet Banja Luka

Prof.dr Valentino Stojkovski, Mašinski fakultet Skopje

Prof.dr Predrag Popovski, Mašinski fakultet Skopje

Prof.dr Aleksandar Nospal, Mašinski fakultet Skopje

dr Igor Krčmar, Elektrotehnički fakultet Banja Luka

Prof.dr Rade Biočanin, Univerzitet Aperiion Banja Luka

dr Tatjana Luppova, Rusija

dr. D. Seibt, Vattenfall - Nemačka

Prof.dr Nikolaj Ostrovski, Ukrajina

Mihail Cvetkov, Silovije mašini, Rusija

Prof. Daniela Marasova, CSc. Technical university of Kosice Faculty of Mining, Ecology

Prof.dr Dejan Filipović, dekan Geografskog fakulteta

Prof.dr Jeroslav Živanić, dekan Tehničkog fakulteta u Čačku

Prof.dr Slobodan Vukosavić, Elektrotehnički fakultet Beograd

Prof.dr Milan Medarević, dekan Šumarskog fakulteta u Beogradu

Dr Radoslav Raković, Energoprojekt-Entel a.d.

Prof.dr Mirko Komatina, Mašinski fakultet u Beogradu

Ljubo Mačić, Predsednik Agencije za energetiku Srbije

Prof. dr Gordana Dražić, dekan Fakulteta za primenjenu ekologiju - Futura

Prof.dr Ozren Očić, Faculty of International Engineering Management

dr Tomislav Simović, član UO SE

Dr Miodrag Arsić, IMS Beograd

Prof.dr Željko Despotović, IMP

dr Miroslav N.Malobabić, izvršni direktor JP Srbijagas

Prof.dr Nenad Đajić, glavni i odgovorni urednik časopisa ENERGIJA

Prof.dr Vladimir Živanović, Savez energetičara

# energija

■ ekonomija ■ ekologija

- [129] J. Krstivojević, M. Đurić  
**Primena digitalne fazne komparacije u diferencijalnoj zaštiti energetskeg transformatora**
- [136] S. Spremić  
**Određivanje sadržaja vode u papiru iz relativnog zasićenja – rezultati za transformatore 35/x Kv**
- [142] D. Mojić, S. Vuković, D. Ilić  
**Specifičnost pojave ferorezonanse**
- [147] S. Đurović, V. Ostraćanin  
**Načini i metode za praćenje stanja metaloksidnih odvodnika prenapona**
- [152] V. Šušteršič, M. Babić, S. Savić, D. Gordić, J. Glišović  
**Podizanje energetske efikasnosti u postrojenjima za tretman otpadnih voda primenom kogeneracije**
- [159] M. Jevtić N. Stojnić  
**Mogućnost primene impulsne elektrohidrodinamike u čišćenju drenova bunara za vodu**
- [166] R. Biočanin, T. Milešević, M. Imamović, S. Ketin  
**Obnovljivi izvori energije u strategiji održivog razvoja**
- [176] S. Ilić, M. Stevanović, B. Branković, N. Nešić  
**Obnovljivi izvori energije kao potencijalna oblast za ulaganje po modelu JPP u Republici Srbiji**
- [180] J. Klinko  
**Neki ograničavajući faktori u široj primeni obnovljivih izvora energije**
- [187] Z. Veličković, M. Divković, M. Vuruna, Z. Bajić, R. Karkalić, Lj. Gigović  
**Brza analiza rizika korišćenjem razvijenih softverskih paketa za simulaciju hemijskih akcidenata**
- [192] N. Ivanković, V. Kujović, M. Vuruna, Z. Veličković, R. Karkalić  
**Utvrđivanje stanja zemljišta u funkciji zaštite ekološkog prostora vojnog poligona „Pasuljanske livade**
- [197] N. Jurišević, V. Šušteršič, D. Gordić, M. Babić, N. Rakić, S. Savić, D. Canović  
**Analiza i monitoring kvaliteta vazduha merne zone Srbija u toku kalendarske 2013.**
- [205] R. Stamatović, A. Car  
**Analiza performansi krovne fotonaponske elektrane**
- [210] S. Ilić, M. Delić, D. Čatić  
**Analiza uzroka pada performansi FN solarnog sistema korišćenjem FTA metode**
- [218] T. Milanov  
**Prilog oblikovanju prenosnih mreža 400 kV, 220 kV i 110 kV u elektroenergetskom sistemu Srbije i mreža ultravisokog napona Jugoistočne Evrope**
- [227] B. Nikolić  
**Javno – privatno partnerstvo u energetici SAD i aktuelni trenutak domaće elektroprivrede**
- [237] L. Radoja  
**Smanjenje potrošnje energije u zemljoradnji**
- [241] S. Ćurčić, S. Vučićević, D. Jović  
**Raspoloživi energetske potencijali od drvne i biljne biomase sa teritorije Opštine Bajina Bašta**
- [248] Š. M. Bajmak  
**Analiza energetske efikasnosti kompleksnih i kombinovanih sistema snabdevanja toplotnom i rashladnom energijom**
- [257] N. Petrović, Č. Mitrović, G. Vorotović  
**Karakterizacija primarnih otpora vetroturbine sa aspekta integracije empirijskih podataka u direktna analitička rešenja**
- [262] S. Savić, M. Babić, V. Šušteršič, D. Gordić, D. Vojinović  
**Primena kogeneracije u industriji piva u cilju podizanja energetske efikasnosti**

Др Вања Шуштершич, др Милун Бабић, др Слободан Савић,  
др Душан Гордић, др Јасна Глишовић  
Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац

UDC: 628.3.004

# Подизање енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода применом когенерације

## РЕЗИМЕ

*Интересовање научне и стручне јавности за концепте рационалног коришћења природних ресурса у условима интензивног техничког и економског развоја је у порасту, а циљ примене нових, организационо-техничких мера је остваривање постулата одрживости, тј. задовољење данашњих потреба без угрожавања могућности будућих генерација да остваре сопствени развој.*

*Дугогодишња употреба фосилних горива, довела је до њиховог исцрпљивања и неопходности коришћења нових, алтернативних извора енергије. Когенерација тј. добијање топлотне или електричне енергије из процеса прераде отпада или отпадних вода, само су неке од области истраживања која су у фокусу савремених истраживачких тимова. Анаеробни процеси представљају пример постизања позитивних ефеката по животну средину уз паралелну производњу вредног енергента.*

*У оквиру овог рада анализирана је могућност повећања енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода применом различитих мера. Као један од видова повећања ефикасности анализирана је и могућност примене когенерације у таквим постројењима.*

**Кључне речи:** когенерација, енергетска ефикасност, третман отпадних вода

## INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY IN WASTEWATER TREATMENT PLANTS USING COGENERATION

### ABSTRACT

*The interest of the scientific community for the concepts of rational use of natural resources in conditions of intensive technical and economic development is increasing, and the goal of applying new, organizational and technical measures is to achieve sustainability postulates, ie. meet today's needs without compromising the ability of future generations to achieve their own development.*

*Long term use of fossil fuels has led to their exhaustion and the necessity of using new, alternative energy sources. Cogeneration ie. production of thermal or electric energy from waste treatment processes or wastewater treatment are just some of the areas of research that are the focus of contemporary research teams. Anaerobic processes are an example of achieving positive effects on the environment along with the parallel production of valuable energy.*

*In this paper we analyzed the ability to increase energy efficiency in plants for wastewater treatment by applying different measures. A possibility of application of cogeneration in these plants was analyzed as one of the ways to increase efficiency.*

**Keywords:** cogeneration, energy efficiency, wastewater treatment

## 1. УВОД

Живећи и радећи човек продукује различита загађења течног и чврстог порекла. Када је реч о третману отпадних вода, циљ нам је да

се оне, по свом штетном дејству неутралишу и безбедно диспонирају, како не би дошло до угрожавања квалитета човекове околине, а пре свега водне сфере.

Сакупљене отпадне воде одговарајућим канализационим објектима – канализацијом, транспортујемо до места третмана, односно диспозиције и испуштамо их у одговарајући пријемник.

За успешно извршавање задатка третмана отпадних вода нужно је знати њихову количину, врсту и квалитет, методе и процесе пречишћавања. Пречишћене отпадне воде могу имати и секундарну вредност, па се делом или потпуно могу користити у индустрији, пољопривреди, па чак и за пуњење резерви подземних вода које служе као изворишта за водоснабдевање становништва питком водом.

Градске отпадне воде се састоје од употребљених вода из домаћинства, установа, школа, угоститељских објеката, и др. које су у неким случајевима помешане са индустријским отпадним водама. Градске отпадне воде садрже различите супстанце које, када се непречишћене испусте у водопријемник (реке, канали, језера), на различите начине загађују животну средину. Да би се смањили негативни утицаји отпадних вода на водне ресурсе и животну средину уопште, неопходно је, пре испуштања отпадне воде извршити њено пречишћавање.

Данас сви градови без обзира на величину и степен развијености државе деле исте проблеме и забринутост за квалитет своје животне средине. Ова околност је значајна јер интересовање за стање животне средине углавном започиње у урбаним срединама у којима промене еколошких услова имају директни утицај на здравље људи. Канализација насеља и пречишћавање употребљених вода се може сматрати најважнијим урбаним проблемом и директно зависи од бројности популације, друштвених односа и развијености земље и регије. Данас, више од две трећине становништва Европе живи у градовима, што је последица урбанизације која се одвијала између 1950. и 1980. године. Пораст урбане популације је био карактеристичан и за простор бивше Југославије у истом периоду. Међутим, у нашем случају модел урбанизације је био резултат другачијег друштвено-економског развоја којем је допринела пре свега убрзана миграција из села у градове.

Упоредивши нашу ситуацију налазимо се при дну лествице европских земаља у погледу комуналне опремљености. У већини европских градова више од 95% становника је повезано на канализациони систем, док Београд заостаје са свега 85% прикључених становника. Ситуација је још неповољнија на нивоу земље, тако да је у Војводини прикључено 45%, а у централној Србији без Београда свега 37% од укупног броја становника. Ово су показатељи да у урбаним срединама настају многобројни еколошки проблеми изазвани неадекватним прикупљањем, евакуацијом и пречишћавањем отпадних вода. Зато

је забринутост за уравнотежени развој градова и њихове комуналне инфраструктуре оправдана [1].

Упоредивши Србију са земљама које су прошле кроз сличне друштвено-економске околности добијају се следећи упоредни показатељи процената становника који су прикључени на јавни канализациони систем: Чешка 94%, Пољска 80%, Бугарска 67% и Србија 56%. Према расположивим подацима о развоју градских и индустријских канализационих система, постојећу ситуацију канализација насеља у Србији карактерише вишедеценијски изостанак реализације најважнијих програмских циљева у овој области, а то су: недовољан развој канализационих система градских и приградских области у складу са развојем водоснабдевања, и прихватање индустријских отпадних вода након предtretмана на заједничким уређајима за третман градских отпадних вода.

## 2. АНАЕРОБНИ ПРОЦЕСИ У ТРЕТМАНУ ВОДА

Дугогодишња употреба фосилних горива, довела је до њиховог исцрпљивања и неопходности коришћења нових, алтернативних извора енергије. Когенерација енергије, добијање топлоте или горива из процеса прераде отпада или отпадних вода, само су неке од области истраживања која су у фокусу савремених истраживачких тимова. Анаеробни процеси представљају пример постизања позитивних ефеката по животну средину уз паралелну производњу вредног енергента.

Постоје бројне предности анаеробних процеса у односу на остале биолошке третмане пречишћавања отпадних вода, јер се добијени продукти који настају анаеробним третманима могу искористити. Наиме, биогаз као основни продукт при анаеробној дигестији може се даље користити као енергент, док се отпадни муљ може употребити као ђубриво у пољопривреди или као гориво.

Употреба анаеробних третмана представља формирање безотпадних циклуса, заснованих на принципима кружења материје у природи. Анаеробна дигестија се користи за третман отпадних вода које су оптерећене великом концентрацијом органских материја. Такође се користи и за стабилизацију отпадних муљева који се јављају након пречишћавања отпадних вода аеробним процесима.

Биолошке методе пречишћавања отпадних вода користе фундаметалне принципе кружења материје у природи. Примена процеса анаеробне дигестије за третман отпадних вода и муљева је широко распрострањен у свету. По дефиницији, анаеробна дигестија представља процес ферментације органске материје посредством микроорганизама

у одсуству кисеоника, где се врши разградња и стабилизација органске материје превођењем у метан, угљендиоксид и неорганске продукте.

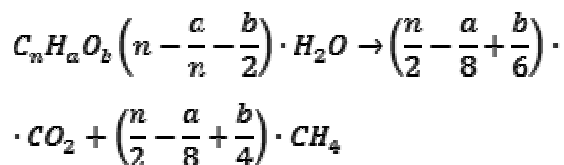
Анаеробним третманом се могу третирати отпадне воде прехранбене индустрије, комуналне отпадне воде, отпадни муљеви, односно отпадне воде са великом концентрацијом органске материје. Анаеробни третман се примењује код отпадних вода где је ниво НРК висок и износи преко 200 mg/l. Отпадне воде прехранбене индустрије имају вредност НРК од 3.000 до 4.000 mg/l.

Постоје два типа реактора која су у употреби: 1) реактор са стандардном брзином дигестије (ниско оптерећена трулишта) и 2) реактор са великом брзином дигестије (високо оптерећена трулишта). Код стандардне брзине дигестије садржај дигестора се обично не загрева и не меша. Време трајања овог процеса варира од 30-90 дана. Код велике брзине дигестије дигестор се загрева и потпуно меша. На тај начин се фаворизује раст термофилних бактерија (оптимална температура од 40°C до 60°C) и мезофилних бактерија (оптимална температура од 20°C до 40°C). Захтевано време дигестије је 15 дана или краће. Брзи процеси дигестије се одвијају у реакторима са термофилном дигестијом, применом анаеробних контакт дигестора и применом фиксних реактора са хибридним контактом.

### 3. ПРОДУКЦИЈА БИОГАСА

Биогас се састоји од 55-70% метана (CH<sub>4</sub>) и 30-45% угљендиоксида (CO<sub>2</sub>) и може се користити за производњу енергије спрегом мотора са унутрашњим сагоревањем и генератора. Топлотна моћ биогаса је 20-25 MJ/Nm<sup>3</sup>. Примењује се и метанизација гаса, када се из њега издваја угљендиоксид, те је по саставу сличан природном гасу. Тада може да се убацује у мрежу за дистрибуцију природног гаса, или да се користи као гориво за моторе са унутрашњем сагоревањем.

Количина произведеног метана зависи од више параметара, али највише од врсте отпада, типа реактора, температуре и садржаја чврстих компонената. Bushweller i Meller (1952) су утврдили да је стехиометријска једначина за продукцију метана:



Биогас добијен анаеробним врењем органских отпадних материја, спада у групу горивих гасова. Састав и особине биогаса мењају се у зависности од врсте полазног материјала и од технолошких

услова за време процеса дигестије. Публиковане вредности топлотне моћи биогаса добијеног анаеробним врењем се донекле разликују од аутора до аутора, али се углавном крећу око 20 MJ/m<sup>3</sup>. Топлотна моћ биогаса може се повећати уколико се одстрани CO<sub>2</sub> Угљендиоксид се издваја из биогаса када је потребно добити гас веће топлотне моћи. Влага се из биогаса издваја на крају линије пречишћавања, јер се у процесу пречишћавања мокрим поступком појављује додатна влага.

Водониксулфид је потребно одстранити у случају примене биогаса у моторима са унутрашњим сагоревањем, а смањити садржај у случају примене у гасним котловима. Пошто је одстрањивање водониксулфида у потпуности веома скупо, прихватљиво је да га у биогасу има до 1,1 g/m<sup>3</sup>, што је максимално дозвољена концентрација када се његова корозивна својства још не испољавају. Сушењем биогаса водониксулфид (H<sub>2</sub>S) који се у њему налази престаје да буде корозиван, али задржава и даље свој карактеристичан упозоравајући мирис.

Водониксулфид се одваја на више начина, по сувом или мокром поступку. Мокри поступак се заснива на растворљивости водониксулфида у води, односно одвија се тако што се биогас проводи кроз овлаживаче (тушеве). Суви поступак се одвија провођењем биогаса кроз апарат испуњен оксидом гвожђа са којим он формира гвожђе-сулфид. Гвожђе-сулфид се регенерише продувавањем загрејаног ваздуха.

Угљендиоксид се у случају примене мокрог поступка за издвајање водониксулфида издваја у истом уређају, јер је и угљендиоксид растворљив у води. За боље издвајање угљендиоксида уместо обичне користи се кречна вода.

### 4. ПОТРОШЊА ЕНЕРГИЈЕ У ПОСТРОЈЕЊИМА ЗА ТРЕТМАН ОТПАДНИХ ВОДА

Код постројења за пречишћавање највећи потрошачи енергије су пумпе, а секундарни и терцијални третман су процеси који захтевају највећу количину енергије. Смањење потрошње енергије у постројењу за пречишћавање отпадних вода почиње са ревизијом одређеног постројења [2].

Постројења за третман отпадних вода имају три дела:

1. Пумпање сирове воде у постројење за третман отпадних вода.
2. Третман: коагулација и флокулација, седиментација, филтрација, дезинфекција,
3. Дистрибуција.

Третман отпадних вода има 4 нивоа:

1. прелиминаран,
2. примаран,



3. секундаран и
4. терцијалан или напредни третман.

Пожељно је да постројења за третман отпадних вода имају бар секундарни третман, али у случају ванредних услова постројења могу имати само примарни третман. Терцијални или напредни третман постају све уобичајнији, али зависе, пре свега, од локалних стандарда.

Отпадна вода садржи до десет пута већу количину енергије од енергије која се користи и троши за њихов третман. 2011. године у САД-у укупна потрошња електричне енергије је била  $4,125 \cdot 10^9$  MWh, од којих је 4% искоришћено у процесима за третман отпадних вода [2].

Данас се у свету све више примењује комбиновани приступ у управљању водама који је у основи Оквирне Директиве о водама (Framework Directive 2000/60/EC).

При анализи могућности повећања енергетске ефикасности у постројењу за третман отпадних вода, треба тежити да се спроведу мере уштеде како у примарном, тако и у секундарном третману.



Слика 1. - Потрошња енергије у зависности од нивоа третмана отпадних вода



Слика 2. Типична потрошња енергије за пречишћавање отпадних вода [2]

Секундарни третман се односи на биолошки третман у постројењу за пречишћавање отпадних вода и у оквиру овог дела се највише троши енергија. Слика 1. приказује потрошњу енергије за различите врсте третмана отпадних вода, и на њој можемо видети како потрошња енергије расте са повећањем комплексности процеса.

Приликом третмана воде између 80 и 90% искоришћене енергије се користи за транспорт третиране или пречишћене воде. Код постројења за пречишћавање отпадних вода, аерација и одлагање муља су процеси који троше највећу количину енергије. У процесу аерације се троши велика количина енергије јер се захтева дистрибуција ваздуха системом дувалки. Због тога се данас све више користе методе UV дезинфекције која постају све заступљеније приликом третмана вода и отпадних вода. Ово је такође процес који захтева пуно енергије. На слици 2. Се види потрошња енергије по процесима у постројењу за третман отпадних вода.

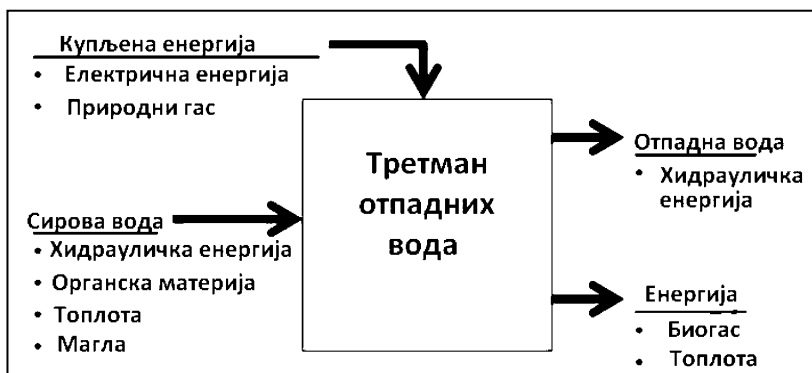
У постројењима за третман отпадних вода постоји пуно начина за поновну употребу енергије. Сирова вода која долази у ова постројења садржи: хемијску, термалну и хидрауличку енергију.

1. Хемијска енергија представља енергију садржану у разним органским материјама отпадних вода.
2. Термална енергија представља топлотну енергију која се налази у отпадним водама.
3. Хидрауличка енергија – ова енергија зависи од протока воде у постројењима за третман отпадних вода.

Енергетски биланс у постројењима за третман отпадних вода приказан је на слици 3. Тзв. „купљена енергија“ у облику електричне енергије и природног гаса се користи у процесу третмана воде. При третману отпадних вода добијамо топлоту, биогаз и хидрауличку енергију (слика 3).

## 5. ПОДИЗАЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ У ПОСТРОЈЕЊУ ЗА ТРЕТМАН ОТПАДНИХ ВОДА У КРАГУЈЕВЦУ

Постројење које је анализирано у оквиру овог рада, а са аспекта подизања енергетске ефикасности је постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца.



Слика 3. - Енергетски биланс у постројењу за пречишћавање отпадних вода

Постројење је удаљено од града Крагујевца десетак километра. Лоцирано је на територији села Цветојевац, на левој обали корита реке Лепенице. Постројење је пројектовано за 250.000 ЕС, а инсталирани капацитет је 125.000 ЕС. Постројење је са радом почело 1991. године. Тренутни проток износи 400 l/s – 500 l/s, а инсталирани капацитет постројења је 1.504 l/s.

Постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца састоји се од прелиминарних процеса, примарног и секундарног третмана, као и третмана муља.

Прелиминарни процеси укључују пумпање воде и уклањање грубог и инертног материјала (грубе и аутоматске решетке, песколони). Примарни и секундарни третман састоје се из примарног таложења, биолошке аерације (процес са активним муљем) и секундарног таложења.

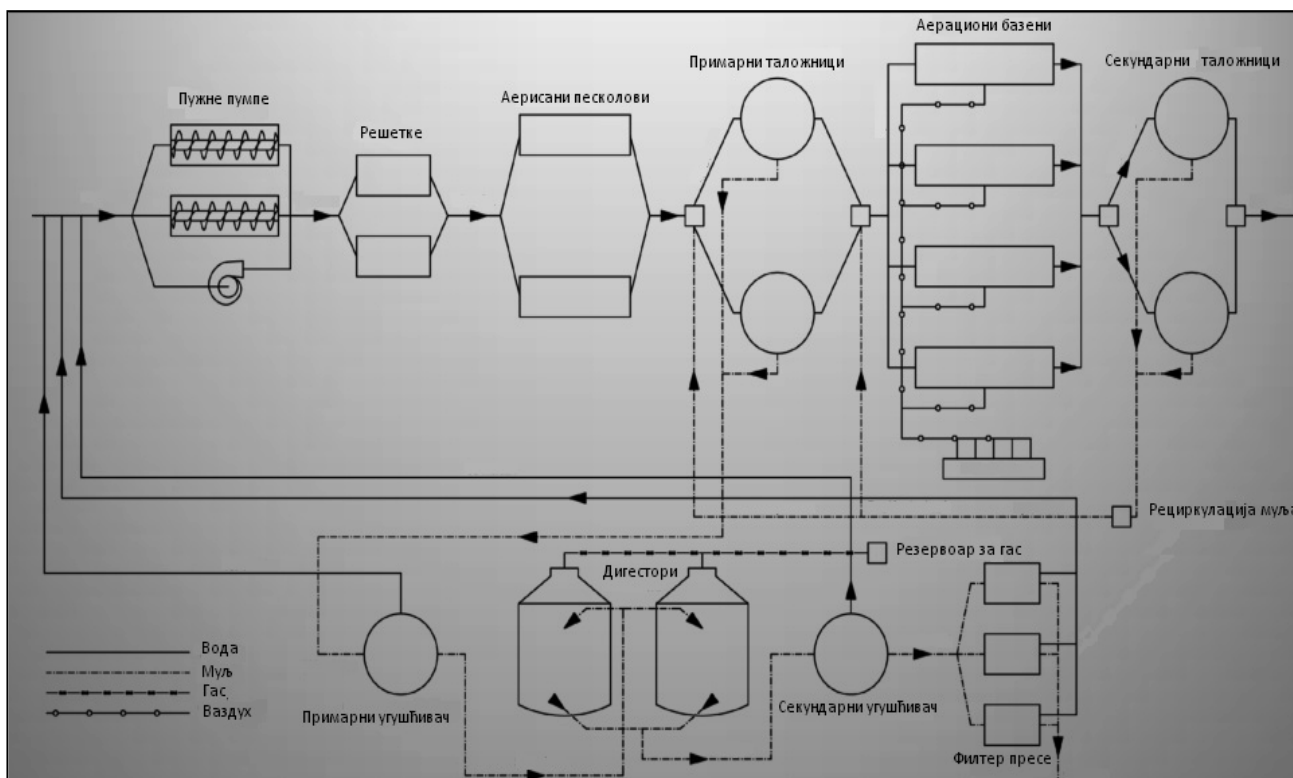
Третман муља обухвата примарно угушћивање, анаеробну дигестију, секундарно угушћивање и обезводњавање муља на тракастим филтер пресама (слика 4).

Имплементација мера за енергетску ефикасност у постројењима за третман отпадних вода је важна, пошто се за третман отпадних вода утроши 25 до 50% годишњег буџета постројења. За неке процесе је потребно више енергије него за друге, тако да им је потребно посветити више пажње. На пример,

у постројењу за третман активним муљем, биолошкој фази се приписује 30-80% трошкова за енергију која је неопходна за рад постројења.

Пумпе представљају највеће потрошаче електричне енергије у сваком постројењу за прераду отпадне воде. Постројења се пројектују тако да могу да прераде не само максимална дневна оптерећења, већ и вршна оптерећења која потичу од прилива атмосферских вода, током кишне сезоне. Из тог разлога, инсталиране пумпе већи део времена раде са капацитетом мањим од номиналног. Такође, да би се подмириле потребе при условима променљивих оптерећења, једна од најбољих доступних опција за побољшање ефикасности је инсталисање мотора са погонном променљиве брзине.

У ЦППОВ Крагујевац инсталиране су три пужне пумпе. 2004. године једна од њих инсталисаног



Слика 4. - Шема производног процеса ЦППОВ Крагујевац

протока од 760 l/s и снаге погонског мотора од 75 kW, замењена је центрифугалном пумпом, протока 500 l/s и снаге 50 kW. Обзиром да је тренутни доток сирове воде од 400-500 l/s, њен капацитет у потпуности задовољава потребе постројења. Овом заменом је остварена уштеда од 25 kWh електричне енергије. На годишњем нивоу уштеда је од 219.000 kWh.

Цеви произведене од глатког материјала, као што је поливинил хлорид, у поређењу са стандардним цевима могу смањити губитке настале трењем. Цеви са малим трењем могу повећати уштеду енергије од 6 до 8%. Употребом одређених облога од смоле и полимера у унутрашњости пумпе могу се постићи додатне уштеде од 1 до 3%. Облоге такође могу смањити ерозију и корозију у цевима и пумпама [3].

Примарни третман отпадних вода физички одстрањује чврсти материјал. У примарном третману чврсти и плутајући материјали се одстрањују у базенима за таложење. Иако већина процеса примарног третмана не захтева пуно енергије, могућности да се повећа ефикасност ипак постоје. На пример, чврст материјал у отпадној води се понекад меље у дробилицама уместо да се користе сита за њихово уклањање из воде. Ако се користе дробилице касније ће бити потребно више енергије у фази секундарне обраде да би се одстранио овај материјал. Пожељно је овај материјал одстрањивати помоћу сита [4].

Секундарни третман отпадних вода укључује биолошко пречишћавање воде. Ти биолошки процеси су типа успореног биолошког раста, као што је активни муљ, или типа придоданог раста, као што су цурећи филтери или биолошке везе. Други тип, који се обично употребљава у постројењима средње величине, троши мање енергије од активног муља. Трошкови енергије повезани са сваком од ових опција очигледно ће бити одлучујући фактор за коначан одабир опције.

За секундарни третман се троши много више енергије него за примарни третман, тако да се повећањем ефикасности може доћи до значајних уштеда. На пример, уређаји за довођење ваздуха, као што су распршивачи, дифузори или механички мешачи, који обезбеђују кисеоник за микроорганизме и мешају отпадну воду са муљем, троше велику количину енергије. Уређај за мешање треба пажљиво изабрати. Дифузори који праве ситне мехуриће су енергетски ефикаснији од дифузора који праве крупне мехуриће, због тога што мањи мехурићи омогућавају већи пренос кисеоника. Прелаз са дифузора који праве крупне мехуриће или механичких мешача на систем са дифузорима који праве ситне мехуриће требало би да снизи трошкове енергије потребне за довођење ваздуха за најмање 25%. Међутим, дифузори који праве ситне мехуриће могу да изискују додатно

одржавање. Најбољи избор за поједина постројења одређује тип и састав отпадне воде.

После примарног и секундарног третмана, чврсти материјали одстрањени из воде или муља по правилу захтевају даљу обраду, нудећи додатне могућности за унапређење ефикасности. На располагању је неколико метода третмана отпада, као што су исушивање, компостирање, стабилизација, сабијање, сушење ваздухом и спаљивање. Код исушивања отпада, различити системи, као што су филтерске пресе, центрифуге и вакумски филтери, имају различиту потрошњу енергије и цену одржавања. Запослени треба да процене користи и добити које постоје и да их упореде са трошковима енергије, рада и одржавања и одлагања отпада. Спаљивање, друго решење за обраду отпада, може знатно да смањи запремину одложеног отпада. Међутим, ако је спаљивање одабрано као технологија, мора се увести контрола аеро загађења да би се спречило пропадање водених ресурса до којег може доћи уласком загађивача из ваздуха у воду.

Савремени мотори СУС, који су саставни део когенеративног постројења, имају степене корисности и преко 40%, а степен корисности генератора је изнад 90%. Обично је укупан степен корисности оваквих постројења изнад 35%, а на врхунским и изнад 40%. Топлотна енергија је чак и виша од електричне у зависности од типа и величине постројења од неколико па до 20%.

Један део топлотне енергије когенеративног постројења користи се за грејање садржаја дигестора, па и мешача супстрата. Потребне дигестора за топлотном енергијом зависе од његове топлотне изолације, облика и материјала од којих је дигестор изграђен, спољашњих температура итд.

Код биогаз постројења која служе за пречишћавање отпадних вода, потребе за топлотном енергијом су велике, а често је потребно да се користи и додатни енергент. Разлог је висок садржај воде у коришћеним супстратима. Коришћење биогаза за производњу само топлотне енергије технички је најједноставнија метода. Међутим, дефинисањем feed-in тарифа у већини развијених земаља, овај вид примене је изгубио на значају. Разлог су високе инвестиције за изградњу биогаз постројења, а ниски приходи који се остварују продајом топлотне енергије или уштеде које се остварују заменом другог енергента. Цена електричне енергије, према feed-in тарифи, је од 12 до 16 c€/kWh (код нас је 6,91 c€/kWh [5]), а топлотне 3,5 до 5 c€/kWh. Овај вид употребе може да буде примењив на малим биогаз постројењима изграђеним на породичним газдинствима.

Друга перспективна врста примене је у индустрији, када се пречишћавањем отпадних вода производи биогаз. Код овог вида примене,

биогаз се сагорева у котловима или пећима, која иначе користе нпр. природни гас. У случају да се биогаз не пречишћава, потребно је да се горионици прилагоде због корозивног дејства  $H_2S$ . То се постиже нпр. заменом делова од обојених метала деловима од челичних легура отпорним на корозију. Примењују се две врсте горионика, атмосферски и компресорски. Код атмосферског се околни ваздух усисава из околине употребом вентилатора. Потребни притисак биогаза је око 8 mbar, који се постиже процесом у ферментору. Код компресорских горионика, околни ваздух такође се усисава помоћу вентилатора, а натпритисак биогаза од 15 mbar постиже се коришћењем посебног компресора.

Тренутно највећи губитак у ЦППОВ је вишак гаса који се спаљује. Због немогућности искоришћења целокупног произведеног гаса у постројењу, бакља дневно сагори са 1.000-2.000  $m^3$ . Коришћење сигурносне бакље са енергетског аспекта представља лоше решење и чист губитак.

Производња биогаза у току времена често није константна, па је тешко да се ускладе капацитети произведеног биогаза и когенеративног постројења. Циљ је да когенеративно постројење ради приближно истом снагом и због тога је неопходно да се произведени биогаз привремено складишти. Резервоари за складиштење биогаза морају да буду херметички затворени, отпорни на повишену температуру, притисак, UV зрачење и временске утицаје. На њима се уграђују и системи за осигурање од натпритиска и потпритиска. Резервоари се димензионишу тако да имају капацитет довољан за складиштење минимум четвртине дневне производње биогаза, а препорука је да капацитет буде довољан за једнодневну или дводневну количину произведеног биогаза.

Други начин збрињавања вишка биогаза јесте да се инсталирају две мање когенеративне јединице које замењују једну већу. Када се један мотор поправља, биогаз се сагорева у другом. Резервоар за складиштење димензионише се тако да може да прими и количину биогаза која се тренутно не сагорева у гасном мотору, који се поправља.

## 6. ЗАКЉУЧАК

Производња и коришћење биогаза имају вишеструко позитивне ефекте, са становишта заштите животне средине и коришћења обновљивих извора енергије, подршке националној економији и развоју руралних области. У развијеним земљама биогаз се најчешће користи у когенерацији, односно за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије. Коришћење биогаза у когенерацији на значају добија и у Србији, након увођења подстицајних цена за испоручену електричну енергију, feed-in тарифа.

Комбинованом производњом електричне и топлотне енергије може да се постигне да укупан степен корисности процеса буде и преко 85%. Због тога се примена когенерације подстиче и треба да се примењује где год је то технолошки и економски могуће, а са посебним нагласком на производњу електричне енергије.

Србија, уколико истраје на путу ка придруживању Европској унији, има обавезу да прати енергетску политику Уније. То значи да што више користи обновљиве изворе енергије, ради на унапређењу енергетске ефикасности, развоју и примени нових технологија за когенерацију. Друга међународна обавеза проистиче из потписивања Кјото протокола. Коришћење биомасе и биогаза за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије један је од најперспективнијих поступака за испуњавање тих обавеза. Осим тога, коришћењем домаћих ресурса, потпомаже се привреда земље, постиже, стратешки важна, мања зависност од увоза енергената и отварају нова радна места.

## ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је настао као резултат истраживања на пројекту „Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енергетским Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења (ИИИ 42013)“ које је финансирао Министарство просвете, науке и технолошког развоја, Републике Србије.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вељковић Н.: „Студија отпадних вода и технички процес стратегије одрживог развоја Србије“, Министарство енергетике и заштите животне средине, Агенција за заштиту животне средине 2005.
- [2] Greenberg E.: „Energy Audits for Water and Wastewater Treatment Plants and Pump Stations“, Continuing Education and Development, Inc, <http://www.cedengineering.com/> (приступљено 15.02.2015)
- [3] Daw J., Hallet K.: „Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities, Technical Report NREL/TP-7A30-53341, 2012, <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/53341.pdf> (приступљено 15.02.2015)
- [4] \*\*\* „Taking Advantage of Untapped Energy and Water Efficiency Opportunities in Municipal Water Systems“, Alliance to save energy, 2002
- [5] \*\*\* Уредба о мерама подстицаја за повлашћене произвођаче електричне енергије, „Службени гласник РС“ 8/2013