

ISSN br. 0354-8651



LIST SAVEZA ENERGETIČARA  
Broj 1-2 / Godina XIV / Mart 2012.  
UDC 620.9

# energija

■ ekonomija ■ ekologija

# ENERGETIKA 2112

# ENERGETIKA 2012

Zlatibor, 27.03. – 30.03.2012.

28. međunarodno savetovanje

u organizaciji Saveza energetičara



pod pokroviteljstvom

Ministarstva infrastrukture i energetike,  
Ministarstva prosvete i nauke,  
Ministarstva životne sredine, rudarstva i prostornog  
planiranja, Ministarstva ekonomije i regionalnog  
razvoja, PKS, JP EPS, NIS a.d. Novi Sad, JP EMS,  
JP Srbijagas

## ZLATNI SPONZOR

HITACHI Power Europe GmbH

DOOSAN Power Systems

## SREBRNI SPONZOR

CMEC

China Machinery Engineering Corporation

PD TE-KO KOSTOLAC

## BRONZANI SPONZOR

PD RB Kolubara

## DONATOR

ELEKTROISTOK-IZGRADNJA

FAAS

## SPONZOR SVEČANOG OTVARANJA

Konzorcijum za konsalting i inženjering u energetici

## SAVETOVANJE SU POMOGLI

PD TE „Nikola Tesla“ d.o.o.;

PD HE „Đerdap“ d.o.o.

 energija

 ekonomija

 ekologija

# ees energija

## ekonomija ekologija

Energija/Ekonomija/Ekologija

Broj 1-2, mart 2012.

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  
Knez Mihailova 33  
tel. 011/2183-315  
faks 011/2639-368

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

Kompjuterski prelom EKOMARK  
Nebojša Đurđić  
Dragoslav Ješić

Štampa  
„Akademska izdanja“, Beograd

Godišnja pretplata  
- 8.000,00 dinara  
- za inostranstvo 16.000,00 dinara

Tekući račun SE  
broj 355-1006850-61

### IZDAVAČKI SAVET

**Milutin Mrkonjić**, ministar za infrastrukturu i energetiku  
**Oliver Dulić**, ministar životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja  
**Žarko Obradović**, ministar prosvete i nauke  
**Nebojša Čirić**, ministar ekonomije i regionalnog razvoja  
**Prof. dr Mirko Komatina**, Ministarstvo za prosvetu i nauku  
**Prof. dr Ivica Radović**, državni sekretar  
**Dušan Mrakić**, državni sekretar  
**Dr Kiril Kravčenko**, gen.dir. NIS a.d.  
**Dragomir Marković**, gen.dir. JP EPS  
**Miloš Bugarin**, predsednik PKS  
**Jakovljević Vadić Vladislavović**, predsednik UO NIS a.d.  
**Aca Marković**, predsednik UO JP EPS  
**Ljubo Mačić**, direktor Agencije za energetiku Srbije  
**Dr Miloš Milanković**, gen.dir. JP Elektromreža Srbije  
**Dušan Bajatović**, gen.dir. JP Srbijagas  
**Srdan Mihajlović**, gen.dir. JP Transnafta  
**Goran Bojić**, gen.dir. JP PEU  
**Dr Tomislav Simović**, gen.dir. Montinvest AD  
**Vlada Milovanović**, gen.dir. Energoprojekta  
**Zoran Pređić**, gen.dir. JKP Beogradske elektrane;  
**Dr Bratislav Čeperković**, predsednik UO JP Transnafta;  
**Stevan Miličević**, direktor EDB d.o.o.  
**Petar Knežević**, direktor TENT, d.o.o.  
**Dragan Stanković**, direktor HE „Đerdap“, d.o.o.  
**Mijodrag Čitaković**, direktor Drinsko-Limske HE d.o.o.  
**Dragan Jovanović**, direktor TE-KO Kostolac  
**Milan Lončarević**, NIS Naftagas  
**Miroslav Malobabić**, dir JP Srbijagas  
**Slobodan Mihajlović**, direktor Elektrosrbija, d.o.o.  
**Nebojša Čeran**, direktor RB Kolubara d.o.o.  
**Tihomir Simić**, direktor Elektrovojvodina, d.o.o.  
**Miloš Saramandić**, direktor Panonske TE-TO d.o.o.  
**Vladimir Jelić**, direktor JKP Novosadska toplana  
**Dragan Milentijević**, direktor Jugoistok, d.o.o.  
**Gvozden Ilić**, direktor ED Centar, d.o.o.  
**Dr Svetislav Bulatović**, direktor EFT Group  
**Dr Nenad Popović**, ABS Holding  
**Milorad Marković**, predsednik HK Minel  
**Dr Dragan Kovačević**, gen.dir. EI Nikola Tesla  
**Dr Vladan Batanović**, gen.dir. Institut „Mihajlo Pupin“

**Prof. dr Miloš Nedeljković**, Mašinski fakultet u Beogradu  
**Dr Zlatko Rakočević**, gen.dir. Instituta „Vinča“  
**Prof. dr Miodrag Popović**, dekan ETF Beograd;  
**Slobodan Babić**, Rudnap Group  
**Prof. dr Miloš Gvozdenac**, Tehnički Fakultet Novi Sad  
**Prof. dr Milun Babić**, Mašinski fakultet u Kragujevcu  
**Dr Vladimir Živanović**, SE

### REDAKCIONI ODBOR

**Slobodan Petrović**, sekretar Odbora za energetiku PKS  
**Prof. dr Ozren Očić**  
**Prof. dr Petar Đukić**, TMF  
**Dragan Nedeljković**, novinar  
**Dr Vojislav Vuletić**, gen.sek. Udruženje za gas  
**Radiša Kostić**, direktor Elektroistok izgradnja  
**Savo Mitrović**, direktor Sever Subotica  
**Dr Branislava Lepotić**, dir. JP Transnafta  
**Milan Miroslavljević**, dir.za odnose s javnošću EPS  
**Jelica Putniković**, novinar  
**Mile Danilović**, dir. Termoelektro Enel  
**Prof. dr Vojin Čokorilo**, RGF  
**Krstajić Sekula**, novinar  
**Roman Mulić**, SE  
**Rade Borojević**, Privredna komora Beograda  
**Nikola Petrović**, dir. ENERGETIKA d.o.o.

# energija

■ ekonomija ■ ekologija

# ENERGETIKA 2012

## ORGANIZACIONO – PROGRAMSKI ODBOR

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

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

### Članovi:

Dr Matthias Jochem, Hitachi, Nemačka  
Prof.dr Miloš Nedeljković, Mašinski fakultet Beograd  
Prof.dr Adriana Sida Manea, Politehnica-University of Timisoara, Romania  
Prof.dr Ana Stanić, Notre Dame University and Central European University  
Dr Ivan Souček, Ph. D., Prague Institute of Chemical Technology, Czech Republic  
Dr Krunoslav Horvat, Brodarski Institut, Hrvatska  
Prof.dr Rade Biočanin, Univerzitet APERION Banja Luka  
Prof.dr Dečan Ivanović, Mašinski fakultet Podgorica  
Prof.dr Esad Jakupović, Univerzitet APERION Banja Luka  
Dr Dragoljub Drašković, direktor Regulatorne agencije za energetiku Crne Gore  
Prof.dr Zdravko N.Milovanović, Mašinski fakultet Banja Luka  
Prof.dr Valentino Stojkovski, Mašinski fakultet Skopje  
Dr Ognjen Kuljača, Brodarski institut, Hrvatska  
Prof.dr Zvonimir Kostić, Mašinski fakultet Skopje  
Prof.dr Mirko Komatina, predsednik Matičnog odbora Ministarstva prosvete i nauke  
Prof.dr Aleksandar Nospal, Mašinski fakultet Skopje  
dr Igor Krčmar, Elektrotehnički fakultet Banja Luka  
dr Tatjana Luppova, Rusija  
Prof.dr Nikolaj Ostrovski, Ukrajina  
Prof.dr Ibrahim Jusufrić, Internacionalni univerzitet u Travniku  
Prof.dr Neven Duić, Strojarsko-brodarski fakultet, Hrvatska  
Prof.dr Jeroslav Živanić, dekan Tehničkog fakulteta u Čačku  
Prof.dr Miroslav Babić, dekan Mašinskog fakulteta u Kragujevcu  
Prof.dr Slobodan Vukosavić, Elektrotehnički fakultet Beograd  
Prof.dr Ivan Pešenjanski, FTN Novi Sad  
Prof.dr Milan Medarević, dekan Šumarskog fakulteta u Beogradu  
Prof.dr Željko Despotović, Institut Mihajlo Pupin Beograd  
Dr Miodrag Arsić, Institut za ispitivanje materijala IMS Beograd  
Ljubo Mačić, Predsednik Agencije za energetiku Srbije  
Prof.dr Ozren Očić, Faculty of International Engineering Management  
Dr Milenko Jevtić, Institut Jaroslav Černi Beograd  
Dr Tomislav Simović, direktor Montinvest AD  
Radiša Kostić, direktor Elektroistok d.o.o. Beograd  
Đorđi Biljanovski, zam.direktora TENT d.o.o. Obrenovac  
Milorad Marković, predsednik Minel Koncern  
Dr Miroslav N.Malobabić, izvršni direktor JP Srbijagas  
Prof.dr Nenad Đajić, glavni i odgovorni urednik časopisa ENERGIJA  
Dr Miodrag Mesarović, Savez energetičara  
Prof.dr Vladimir Živanović, Savez energetičara

Doc. dr M. N. Malobabić	
<b>Prirodni gas strateška razvojna šansa Srbije</b> .....	7
Prof. dr N. Đajić	
<b>Prostorno planiranje razvoja energetike Srbije</b> .....	11
B. Buha, V. O. Stanojević, V. S. Škundrić, Ž. M. Lazović, K. Bransch	
<b>Razvoj i implementacija integralnog sistema za praćenje proizvodnje i održavanja - PROTIS u EPS - u</b> .....	18
Dr M. Mesarović	
<b>Realni potencijal obnovljivih izvora energije u Srbiji</b> .....	27
Mr B. Kovačić	
<b>Predlozi za unapređenje energetske efikasnosti u Srbiji</b> .....	35
Ing. M. Chudada, Ing. Z. Tarabová, PhD., prof. Ing. D. Marasová, CS.	
<b>Development of price tolls depending on the emission classes of trucks in European Union</b> .....	38
Dr M. Medarević, mr S. Obradović, mr B. Šljukić, mr N. Petrović	
<b>Strategija razvoja šumarstva Srbije i mogućnost planskog poboljšanja energetskog bilansa zemlje</b> .....	41
Dr D. Drašković	
<b>O pravnoj prirodi odluka regulatorne agencije za energetiku o odobravanju regulatorno dozvoljenog prihoda i cijena elektroenergetskim subjektima i mogućnosti pobijanja istih pred upravnim sudom</b> .....	47
O. Vitorović, LL.M. mag.iur.	
<b>Pravne posledice Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju na oblast energetike u Srbiji</b> .....	52
A. Stanić	
<b>The contractual frameworks for south east europe pipeline projects</b> .....	61
D. Mandić, M. Mesarović	
<b>Indeks održivosti energetskog razvoja kao merilo uspešnosti energetske politike pojedinih zemalja</b> .....	67
Dr Miodrag Regodić, Mr Vladan Tadić	
<b>Daljinska detekcija nuklearne katastrofe u Japanu</b> .....	75
Dr Radoslav Raković	
<b>Sistemi energetskog menadžmenta prema EN 16001 / ISO 50001 – suština i aspekti primene</b> .....	80
Željko Gagić , Mihailo Nikolić, Ljubiša Mihailović, Savo Bezmarević, Nemanja Samardžić, Boško Buha, Zoran Božović	
<b>Određivanje i ocena tehničkih pokazatelja koji definišu kvalitet učešća termobloka u pružanju sistemskih usluga</b> .....	87
Svjetlana Dokić, Željko Ratković	
<b>Potencijali gasnih elektrana (ekologija+ekonomija)</b> .....	94
Ivko Vukašinović, Saša Medved, mr Ivan Škrtić	
<b>Tehnoekonomska analiza opravdanosti revitalizacije turboagregata bloka A3 55/65MW u TE „Kolubara“ A</b> .....	100
Bojan Papić, Dragan Bojanić, Nikola Krajnović , Mihajlo Nikolić, Željko Gagić	
<b>Analiza metoda održavanja broja obrtaja kod turbopostrojenja sa krutom spregom ventila visokog i niskog pritiska</b> .....	107
Milena Milojević, Vesna Petkovski, Ivan Nikolić, Slobodan Stevanović	
<b>Realizacija matematičkog modela bubnja kotla sa prirodnom cirkulacijom za potrebe simulatora termoenergetskog postrojenja</b> .....	114
Dr Željko Despotović, Aleksandar Jeftović, Igor Berkeš	
<b>Razvoj upravljačkog uređaja ventila sigurnosti bubnja, pregrejača i međupregrejača pare kotlovskog postrojenja K6 -bloka A5/110MW na TE “Kolubara”</b> .....	121

Dragan Komarov <sup>1</sup> , Slobodan Stupar <sup>1</sup> , Aleksandar Simonović <sup>1</sup> , Nebojša Petrović <sup>1</sup> , Jelena Svorcan	
<b>Numerička simulacija strujanja unutar korenog dela industrijskog dimnjaka sa više dimovodnih kanala</b> .....	128
Slobodan Stupar <sup>1</sup> , Aleksandar Simonović <sup>1</sup> , Ognjen Peković <sup>1</sup> , Srđan Trivković <sup>1</sup> , Nikola Petrašinić	
<b>Analiza pojave prslina u krenom delu industrijskog čeličnog dimnjaka</b> .....	133
Gordan Rajković, Stojan Ilić, Zoran Ristanović, Miloš Aleksić	
<b>Uticaj savremenih zaštitnih sistema na pouzdanost elektroenergetskih postrojenja termoelektrane</b> .....	138
Davor Končalović, dipl. inž., prof. dr Milun Babić, dipl. inž., prof. dr Dušan Gordić, dipl. inž., Dubravka Jelić, dipl. inž., Goran Bošković, dipl. inž., Vladimir Vukašinović, dipl. inž.	
<b>Parnoturbinske tehnologije u kogeneracionim postupcima</b> .....	142
Prof. dr Ivan Pešenjanski, mr Borivoj Stepanov, mr Biljana Miljković	
<b>Kosagorevanje više vrsta ugljeva kao metod poboljšanja energetske performansi kotlovske postrojenja</b> .....	148
Zoran Predić, Slađan Gašić, Đorđe Radojević, Vojkan Bošković	
<b>Monitoring specijalnih mehaničkih merenja u termoelektranama Kostolac</b> .....	154
Vitimir Kravarušić	
<b>Uloga kogeneracije i energetske efikasnosti pri izboru tehnologije termoenergetskog postrojenja</b> .....	158
Dr S. Curcic, Mr S. Milunovic, S. Stjepanovic	
<b>Logistic information system for cogeneration plants in the Serbia</b> .....	167
Vl. Vukašinović, M. Babić, D. Gordić, D. Jelić, D. Končalović,	
<b>Korišćenje biomase u malim kogeneracionim postrojenjima - potencijal i tehnologije</b> .....	170
S. Čurčić, S. Milunović	
<b>Logistic support for cogeneration plants with resources of communal systems</b> .....	176
Dr V. Šušteršič, M. Plavšić, dr M. Babić, dr D. Gordić	
<b>Kogeneracija u sistemu za tretman otpadnih voda</b> .....	180
G. Klasnić, B. Papić, S. Bezmarević, I. Vukosavljević, A. Stević, B. Kuzminac	
<b>Modernizacija sistema merenja, upravljanja i regulacije postrojenja toplifikacije Obrenovca u TE "Nikola Tesla A"</b> .....	184
S. Milić	
<b>Analiza režima rada hidroelektrana</b> .....	188
A. Sida Manea, M. Barglazan	
<b>Present in Romanian small power hydroenergy</b> .....	194
M. Arsić, S. Bošnjak, Z. Odanović, M. Mladenović, N. Milovanović	
<b>Analiza stanja gornjeg prstena usmernog aparata radnog kola turbine agregata A6 na hidroelektrani Đerdap</b> .....	197
K. Horvat, V. Bakarić, V. Koroman, O. Kuljača	
<b>Moderni sustav upravljanja vodnom turbinom</b> .....	203
Z. Eškinja, mr. sc. I. Mišković, dr. sc. K. Horvat	
<b>Registrator prijelaznih pojava u sustavu turbinske regulacije</b> .....	209
L. Stipišić, M. Kurtela	
<b>Modernisation of dam spillway gate system by usage of proportional technology</b> .....	214
Dr Saša Milić, Dejan Misović, Miša Kožićić, Dr Radeta Marić, Dejan Cvetković	
<b>Sistem daljinskog nadzora zauzetosti zone vrata brodske prevodnice</b> .....	221
M. Arsić, B. Vistać, Z. Savić, Ž. Šarkochević, Z. Anđelković	
<b>Analiza uzroka oštećenja i reparacija kućišta sinhronog ventila agregata A1 na hidroelektrani Piro</b> .....	227
Đ. Novković, N. Maričić, M. Jevtić	
<b>Simulacija strujanja u propelernoj turbini primenom računarske mehanike fluida</b> .....	233
N. Maričić, Đ. Novković, Đ. Marković, N. Arsić, Lj. Andjelković	
<b>Predlog obnavljanja mini hidroelektrane na Čečevskoj reci</b> .....	240
B. Grbović, S. Bekčić, B. Tasovac, M. Grbović	
<b>Transformacija objekata flotacijskog jalovišta za korišćenje u sistemu reverzibilne hidroelektrane na reci Veliki Pek</b> .....	247

Dr M. Jevtić, Dr N. Stojnić, D. Jevtić <b>Razvoj nove originalne metode elektromagnetne pulsene tehnologije i mogućnost njene primene u vodoprivredi</b> .....	250
Dr M. Jevtić, Dr N. Stojnić, Mr I. Milojković <b>Mogućnost primene impulsne elektrohidrodinamike u otklanjanju kanalizacionih zagušenja</b> .....	254
Dr S. Zeković, dr M. Vujošević <b>Perspektive razvoja i strateški rizici u kompleksu proizvodnje uglja i električne energije u Srbiji</b> .....	258
M. Cojić, N. Stevanović-Petrović, S. Vuković <b>Analiza praćenja procesa proizvodnje i kvaliteta uglja u rudarskom basenu "Kolubara"</b> .....	266
M. Grbović, M. Spasojević, J. Vukašinić <b>Mogućnost smanjenja negativnog uticaja balastnih materija i ksilitne strukture u uglju iz raslojenih kolubarskih ležišta na energetska iskorišćenje u elektranama TENT</b> .....	270
Mr. M. Kezović <b>Morfostrukturne karakteristike složenog ugljenog sloja južnog dela ležišta "Tamnava-Istočno polje"</b> .....	274
Mr. M. Kezović <b>Analiza krovinskog kvarcnog peska u južnom delu ležišta "Tamnava-Istočno Polje"</b> .....	281
D. Jelisavac Erdeljan <b>Transport energetskih mineralnih sirovina u svetu i kod nas</b> .....	287
S. Trivić, D. Predojević, V. Petković <b>Koncept razvoja železničkog transporta TENT d.o.o. u funkciji izgradnje energetskih kapaciteta</b> .....	291
Prof. dr M. Grujić, D. Erdeljan <b>Izbor najpovoljnije varijante snabdevanja energetskih potrošača ugljem iz podzemnih rudnika prema kriterijumu transporta</b> .....	295
Dr D. Đukanović, M. Popović, D. Zečević <b>Prisustvo bora u zemljištu i vodi na prostoru Jarandolskog basena - ležište Pobrđe</b> .....	299
M. Petković, V. Petković, P. Dugić, M. Maksimović, Z. Petrović <b>Rerafinacija korišćenog turbinskog ulja viskozne gradacije ISO VG 32</b> .....	303
Doc. dr S. Adžić, Prof. dr O. Očić, <b>HIP Petrohemija: Sadašnje stanje i buduće perspektive</b> .....	309
S. Stefanov, R. Biočanin, M. Badić <b>Inovaciona istraživanja za smanjenje koncentracija polutanata u složenim procesnim sistemima</b> .....	314
D. Ivezić, D. Danilović, M. Živković, A. Madžarević <b>Razvoj gasne privrede Srbije u poslednjih 20 godina</b> .....	318
Ph.D. I. Souček, Prof. Dr. O. Očić, H. Kysilka, T. Hurtik <b>Liquefied natural gas in transport</b> .....	323
Prof. dr D. Ivanović, N. Savković <b>Analiza gubitaka energije usled trenja u izolovanom gasovodu različitih dužina i prečnika pri izotermnom i neizotermnom strujanju toplog vazduha</b> .....	329
S. Prvulović, D. Adamović, M. Matić <b>Globalna analiza korišćenja obnovljivih izvora energije</b> .....	335
Dr B. Lepotić Kovačević <b>Kako investirati u obnovljive izvore energije? - pravni okvir</b> .....	342
Č. Zeljković, N. Rajaković <b>Vrednovanje investicija u male izolovane obnovljive proizvodne sisteme simulacionom metodom</b> .....	350
M. Milašinović, G. Bošković, N. Jovičić, M. Babić, G. Vujić, V. Šušteršič, G. Jovičić <b>Energetski potencijali biogasa poreklom iz čvrstog otpada i otpadnih voda u regionu Centralne Srbije</b> .....	355
R. Mulić <b>Biogas ima budućnost i u Srbiji</b> .....	362

**Marko Milašinović,**  
 Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka  
**Goran Bošković,**  
 Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka  
**Nebojša Jovičić,**  
 Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka  
**Milun Babić,**  
 Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka  
**Goran Vujić,**  
 Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka  
**Vanja Šušteršič,**  
 Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka  
**Gordana Jovičić,**  
 Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka

UDC: 622.76.004 : 620.9 (497.11)

## Energetski potencijali biogasa poreklom iz čvrstog otpada i otpadnih voda u regionu Centralne Srbije

### REZIME

*Energiji iz biomase, poreklom sa deponija čvrstog otpada i iz komunalnih otpadnih voda, danas se posvećuje posebna pažnja kao vrlo efikasnom i potentnom izvoru obnovljive energije. Komunalni čvrsti otpad i komunalne otpadne vode su dostupni kao domaći resursi i zbog toga ne postoji potreba za njihovim uvozom, poput konvencionalnih goriva. U cilju prikupljanja podataka za procenu emisije metana, sa deponija komunalnog čvrstog otpada i komunalnih otpadnih voda, sprovedena je identifikacija svih deponija komunalnog čvrstog otpada i komunalnih otpadnih voda u 7 opština regiona Centralne Srbije. Rezultat anaerobne digestije biomase je biogas (35-70% CH<sub>4</sub>). Anaerobna digestija u postrojenjima za tretman otpadnih voda smanjuje količinu finalnog mulja za deponovanje pri čemu se uništava većina patogena prisutnih u mulju. Dobijanjem biogasa i njegovim sagorevanjem mogu se pokriti celokupne energetske potrebe postrojenja za aeraciju, digestiju, grejanje i proizvodnju električne energije i na taj način se optimizuju rashodi postrojenja i njegov uticaj na životnu sredinu. Prikupljeni metan sa deponija predstavlja veliku ekološku uštedu. Bioenergetski potencijal sa gradskih deponija i iz komunalnih otpadnih voda je procenjen korišćenjem Ukrain i IPCC 2006 modela. Ukupni potencijal biogasa iz ova dva izvora procenjen je na 3300 t CH<sub>4</sub>/god).*

**Ključne reči:** Biomasa, Anaerobna digestija, Biogas

### SUMMARY

*Energy from biomass is one of the most efficient and effective among the various other alternative sources of energy. Municipal solid waste and domestic wastewater are available as domestic resources and there is no need to import them as conventional fuels. A survey has been conducted across all municipal solid waste landfills and domestic wastewater in 7 municipalities in the region of Central Serbia in order to collect data for CH<sub>4</sub> emission assessment. The result of anaerobic digestion of biomass is biogas (35-70% CH<sub>4</sub>). Anaerobic digestion in wastewater treatment plant reduces the amount of final sludge for disposal while destroying most of the pathogens present in the sludge. The recovery of biogas and its combustion may be used to cover the entire energy needs of the treatment plant for aeration, digestion, heating and electricity generation and in that way optimizes wastewater treatment plant costs and its environmental impact. Collected methane from landfills represents great environmental saving. The bioenergy potential from municipal solid waste and domestic wastewater is estimated using Ukrain and IPCC 2006 model. The total potential of biogas from these sources has been estimated to be 3300 t CH<sub>4</sub>/year.*

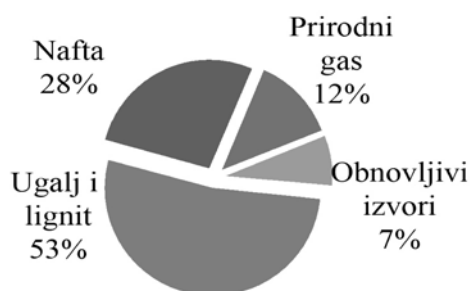
**Keywords:** Biomass, Anaerobic digestion, Biogas



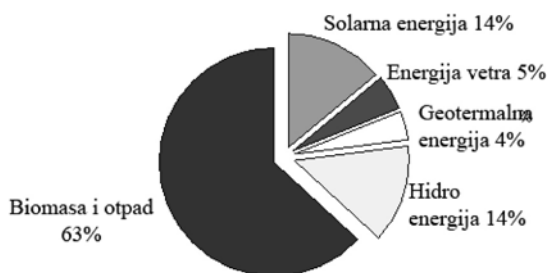
## 1. UVOD

Antropogena emisija gasova staklene bašte dovela je do značajnih povećanja koncentracija ovih gasova u atmosferi. U odnosu na 1800. godinu atmosferska koncentracija ugljen-dioksida, metana i azot-oksida se povećala za 30%, 145% i 15%, respektivno Š1Ć. Koncentracija metana se više nego udvostručila u poređenju sa vremenom pre prve industrijske revolucije. Povišene koncentracije gasova staklene bašte izazivaju povećanje atmosferskog zadržavanja toplote.

Tokom 2011. godine u Srbiji je proizvedeno oko 15 Mtoe primarne energije, od čega najveći udeo imaju uglj i lignit 53%, nafta 28%, prirodnog gasa 12% i 7% korišćenjem obnovljivih izvora energije, slika 1 [2]. Na slici 2 prikazano je učešće pojedinih obnovljivih izvora energije u ukupnom procenjenom potencijalu. Primećuje se da najveći potencijal poseduje biomasa.



Slika 1 Proizvodnja primarne energije u Srbiji



Slika 2 Potencijal obnovljivih izvora energije u Srbiji

Biomasa kao obnovljiv izvor energije nastaje na razne načine, jednako od ljudi i prirode. Osnovni koncept biomase kao obnovljivog izvora energije ogleda se u apsorpciji solarne energije i ugljenika iz okolnog ugljen-dioksida za rast biomase. Sastoji se od ugljenika, vodonika, kiseonika, azota i sumpora u manjim razmerama. Biljke posredstvom fotosinteze proizvode ugljene hidrate koji su formiraju gradivne blokove biomase. Biomasa je od davnina bila glavni izvor energije čovečanstvu. Tradicionalno, biomasa se koristi direktnim sagorevanjem. Sagorevanje biomase proizvodi polutante uključujući prašinu i gasove, kao što su sumpor-dioksid i oksid azot, koji uzrokuju kisele kiše, ali količina proizvedenog sumpor-dioksida je 90% manje nego kod sagorevanje uglja. Količine proizvedenih atmosferskih polutanata je veoma mala u poređenju sa drugim konvencionalnim gorivima. Biomasa ne izbacuje ugljen-dioksid u atmosferu pošto apsorbuje istu količinu ugljenika prilikom rasta onaj koja se oslobađa pri korišćenju (ali, treba uzeti u obzir i energiju koja se potroši tokom prevoza i obrade). Korišćenje biomase kao izvora energije je od interesa zbog toga što je obnovljiva, potencijalno održiva i relativno ekonomičan izvor energije. Energija dobijena iz biomase povećaće energiju dobijenu iz obnovljivih izvora i time produžiti postojanje konvencijalnih izvora.

Biomasa se može pretvoriti u razne vidove bioenergije kao što su etanol, butanol, metan, vodonik, električna energija, biodizel, biogas posredstvom raznih procesa. Druga glavna prednost korišćenja biomase kao obnovljivog izvora energije je njena dostupnost kao domaćeg resursa i time nije podložna promenama cene ili neizvesnosti snabdevanja uvoznih konvencionalnih goriva. Takođe, biomasa može da koristi istu opremu za proizvodnju električne energije koja postoji u elektranama koje sagorevaju fosilna goriva. Biomasa je značajan izvor energije i širom sveta najvažnije gorivo, posle uglja, nafte i prirodnog gasa.

Sva organska materija može se razlagati aerobno ili anaerobno, a produkti njihove razgradnje mogu biti veoma različiti. Raspadanjem organskog materijala uz prisustvo kiseonika proizvodi se ugljen-dioksid, amonijak i nešto malo ostalih gasova. Uz to se prilikom aerobne digestije oslobađa i velika količina toplote, a konačni proizvod se može upotrebiti kao đubrivo. Anaerobnom digestijom proizvodi se biogas, vrlo malo toplote i konačni proizvod sa većom količinom azota nego što se dobija pri aerobnoj digestiji. Takvo đubrivo sadrži azot u mineralizovanom obliku (amonijak) koji je koristan biljkama jer se njime izuzetno lako oplemenjuju obradive površine, a biljke ga preuzimaju lakše nego organski azot. Biogas je gasna mešavina, koja se sastoji od 35-70% metana (CH<sub>4</sub>) i 37-50% ugljen-dioksida (CO<sub>2</sub>), koji predstavljaju gasove staklene bašte i ostalih gasova. Biogas dobijen anaerobnom digestijom, spada u grupu gorivih gasova. Sastav i osobine biogasa menjaju se u zavisnosti od vrste polaznog materijala (biomase) i od tehnoloških uslova za vreme procesa digestije.

Biogas je odlično gorivo za veliki broj primena i može se koristiti kao sirovina za proizvodnju hemikalija. Biogas se može više ili manje koristiti u gotovo svim postrojenjima koja su razvijena za prirodni gas. Postoji četiri osnovna načina za korišćenje biogasa: proizvodnja toplote i pare, proizvodnja električne i toplotne energije, korišćenje kao automobilske goriva i proizvodnja hemikalija. Na svetskom nivou, biogas se uglavnom koristi za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije. Konvencionalni gorionici lako se mogu prilagoditi za biogas menjanjem odnosa vazduha i gasa. Sagorevanje biogasa je uspostavljena i pouzdana tehnologija, sa niskim zahtevima kvaliteta biogasa.

## 2. DOBIJANJE BIOGASA SA DEPONIJA KOMUNALNOG ČVRSTOG OTPADA

Svaka lokacija na kojoj se, uređeno ili ne, odlaže komunalni otpad, u principu predstavlja bioreaktor koji generiše procedne vode i gasove. Procedne vode nastaju prolaskom atmosferskih voda kroz telo deponije-bioreaktora, izuzetno su bogate polutantima i predstavljaju ozbiljnu opasnost za fizičko-hemijski i mikrobiološki kvalitet podzemne vode. Gas koji nastaje u telu deponije, poznat kao deponijski gas, sastoji se od (35-60)% metana, (37-50)% ugljen-dioksida i u manjim količinama se mogu naći ugljen-monoksid, azot, vodonik-sulfid, fluor, hlor, aromatični ugljovodonici i drugi gasovi u tragovima. Metan i ugljen-dioksid, kao sastojci deponijskog gasa, predstavljaju "greenhouse" gasove (GHG), odnosno gasove koji utiču na pojačanje efekta "staklene bašte" i njihova nekontrolisana emisija doprinosi globalnom atmosferskom zagrevanju. U isto vreme, deponijski gas poseduje energetska vrednost, što ga čini potencijalnim gorivom za pogon gasnih motora i dobijanja električne i toplotne energije tim putem, odnosno stvaranja moguće zamene za fosilna goriva.

Razgradnja komunalnog otpada na mestu njegovog deponovanja odvija se putem fizičkih, hemijskih i bioloških procesa. Oni deluju istovremeno sve dok se biorazgradivi deo odloženog komunalnog otpada ne razgradi, odnosno ne stabilizuje.

Fizičkom degradacija podrazumeva transformaciju komponenti otpada odnosno izmenu fizičkih karakteristika samog otpada, među kojima je i smanjenje zapremine.

Hemijska degradacija podrazumeva kompleks reakcija različitih supstanci koje čine otpad. Ona se takođe ogleda i u kvalitetu procednih voda, odnosno njihovoj pH vrednosti.

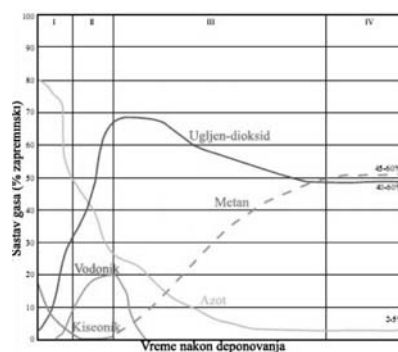
Osnovni mehanizam dekompozicije otpada na deponiji jeste biološka degradacija, odnosno transformacija materije pod dejstvom mikroorganizama, kao što su bakterije.

Na proces formiranja deponijskog gasa utiču brojni faktori: karakter otpada, kiseonik u deponiji, sadržaj vlage, temperatura i vreme kada je otpad deponovan.

Razgradnja čvrstog otpada na deponijama odvija se u četiri osnovne faze. Procesi koji doprinose formiranju deponijskog gasa su bakterijsko razgrađivanje, volatilizacija i hemijske reakcije. Najveći deo deponijskog gasa formira se bakterijskom razgradnjom. S obzirom na to da komunalni otpad većim delom čini otpad organskog porekla, bakterije prisutne u deponiji razgrađuju taj otpad kroz četiri faze, a sastav gasa se menja tokom svake od faza. Sastav proizvedenog gasa se menja tokom svake od četiri faze razgradnje. Kako deponije obično prihvataju otpad u vremenskom periodu od 20 do 30 godina, istovremeno se delovi otpada nalaze u više faza. Stariji otpad u jednom delu deponije može biti u fazi različitoj od one u kojoj se nalazi otpad kasnije deponovan.

Tokom prve faze razgradnje, aerobne bakterije koriste kiseonik, pri čemu se raskidaju dugi molekularni lanci kompleksnih jedinjenja koja sačinjavaju organski otpad: ugljovodonici, proteini i masti. Nusproizvod ovog procesa je ugljen-dioksid. Na početku ove faze koncentracija

azota je visoka (oko 20% kiseonika i 80% azota), ali opada kako se deponija "kreće" kroz faze razgradnje otpada. Faza I odvija se sve dok se raspoloživi kiseonik ne istroši. Druga (anaerobna) faza razgradnje počinje kada se iskoristi sav kiseonik. Bakterije, anaerobnim procesima, pretvaraju jedinjenja formirana procesima aerobnih bakterija u sirćetnu, mlečnu, mravlju i druge kiseline i alkohole kao što su metanol i etanol. Sredina deponije postaje kisela. Usled mešanja kiselina sa vlagom prisutnom u deponiji, dolazi do rastvaranja nutrijenata za bakterije, tako da azot i fosfor postaju dostupni različitim vrstama bakterija. Gasoviti nusproizvodi ovih procesa su ugljen-dioksid i vodonik. Ukoliko se desi da kiseonik dospe u deponiju, mikrobiološki procesi se vraćaju u prvu fazu, fazu aerobne razgradnje. U ovoj fazi najpre se javlja hidroliza (ekstracelularni, enzimski proces) pri čemu se organske materije transformišu u komponente koje su rastvorljive u vodi. Gasovite komponente se ne generišu tokom faze hidrolize. Formirane šećere monosaharida i više organske kiseline, kroz različite metaboličke procese, transformišu se mikrobima, u jednostavnije organske kiseline, vodu, ugljen-dioksid, amonijak, i vodonik. Tokom ove faze, u kojoj se odigrava fermentacija kiselina, generiše se CO<sub>2</sub> neposredno nakon početka procesa. Prema Farquhar-u [3], različita istraživanja pokazuju različit sastav gasova: (50-70)% CO<sub>2</sub> posle (11-23) dana, ili čak 90% CO<sub>2</sub> posle 40 dana. Treća faza razgradnje počinje kada određene vrste anaerobnih bakterija konzumiraju organske kiseline proizvedene u fazi II i počnu da formiraju acetate. Ovaj proces uzrokuje da sredina postaje kiselo neutralna, pH približno 7, što odgovara bakterijama koje proizvode metan. Metanske i kiselinske bakterije imaju određenu vrstu simbiotske veze. Kiselinske bakterije proizvode jedinjenja kojima se hrane metanske bakterije. Metanske bakterije se hrane ugljen-dioksidom i acetatima, čije je veliko prisustvo veoma toksično za kiselinske bakterije. Trajanje treće faze može početi nakon 180 dana od deponovanja otpada i trajati do 500 dana [4, 5]. Četvrta faza počinje kada i sastav i produkcija deponijskog gasa postanu relativno konstantni. Deponijski gas tada sadrži oko (45-60)% metana, (40-60)% ugljen-dioksida i (2-9)% ostalih gasova. Gas se proizvodi konstantno u četvrtoj fazi obično 20 godina, pri čemu se emitovanje gasa može nastaviti i posle 50 godina [6]. Produkcija gasa može trajati duže, posebno, ako su prisutne veće količine organskog otpada. Na slici 3 prikazano je emitovanje gasova tokom vremena kroz sve četiri faze.



Slika 3 Emitovanje gasova tokom vremena

### 3. MODELIRANJE PRODUKCIJE DEPONIJSKOG GASA KORIŠĆENJEM SOFTVER-SKIH ALATA

Za modeliranje produkcije deponijskog gasa razvijeno je više različitih softverskih alata. Najpoznatiji među njima su IPCC 2006 model [7], LandGEM model (Landfill Gas Emission Model) [8] i Ukrain model [9]. U ovom istraživanju kao najpogodniji među ovim modelima pokazao se Ukrain model koji pored ostalih parametara koji utiču na stvaranje deponijskog gasa uključuje i klimatske prilike. Ovaj model će detaljno biti opisan u nastavku.

Ukrain model razvijen je od strane američke agencije za zaštitu životne sredine - EPA, odnosno programa "GMI - Global Methane Initiative". Njegova osnovna namena je procena isplativosti, izvodljivosti i potencijalne koristi od energetskog iskorišćenja deponijskog gasa. Iako je model razvijen za pomenute potrebe u Ukrajini on se može primeniti i na druge zemlje sličnih klimatskih karakteristika ali i prakse upravljanja otpadom, koja se pre svega ogleda u karakteristikama deponija. Model koristi jednačinu reakcije prvog reda, modifikovanu dodatnim parametrima, kao što sledi:

$$Q_{LFG} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_o \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-kt_{ij}} \cdot MCF \cdot F \quad (1)$$

gde su:

QLFG - maksimalna količina deponijskog gasa godišnje [m<sup>3</sup>/god]

n - godina u kojoj se realizuje proračun

k - stopa produkcije metana [god<sup>-1</sup>]

L<sub>o</sub> - potencijal generisanja metana [m<sup>3</sup>/t]

M<sub>i</sub> - masa deponovanog otpada tokom godine i [t]

T<sub>ij</sub> - starost j-tog dela mase otpada M<sub>i</sub> prihvaćenog i-te godine (decimalni zapis)

MCF - metanski korekcionni faktor

F - požarni korekcionni faktor

Prikazanom jednačinom se dobijaju količine deponijskog gasa za datu godinu na osnovu deponovane količine otpada. Model automatski proračunava vrednosti parametara k i L<sub>o</sub> na osnovu podataka o sastavu otpada, klimatskim promenama i operacionim karakteristikama. Ponuđene su četiri vrednosti koje karakterišu različite količine padavina na godišnjem nivou. Produkcija deponijskog gasa realizuje se posebno za različite vrste otpada i njih karakterišu različite brzine i stepeni degradacije. Program razlikuje sledeće vrste otpada:

- 1 Vrlo brzo razgradivi otpad - otpad od hrane
- 2 Srednje brzo razgradivi otpad - baštenski otpad
- 3 Srednje sporo razgradivi otpad - papir i karton, tekstil
- 4 Sporo razgradiv otpad - drvo, guma, koža

Korišćeni su podaci dobijeni eksperimentalnim merenjem količina i sastava otpada [10]. Stopa produkcije metana (k) ukazuje kojim će se tempom generisati metan u deponiji. Na vrednosti parametara k različitih vrsta otpada imaju uticaj i klimatske karakteristike.

Potencijal generisanja metana (L<sub>o</sub>) opisuje količinu metana, koja pod idealnim uslovima može da se generiše iz jedinice mase određene vrste otpada. Jedinica za ovaj parametar je m<sup>3</sup>ch<sub>4</sub>/t<sub>otpada</sub> ili tch<sub>4</sub>/t<sub>otpada</sub>. Vrednost potencijala produkcije metana kreće se u opsegu 6,2 do 270 m<sup>3</sup>/t [11].

Metanski korekcionni faktor (MCF) ima za cilj da koriguje vrednost produkcije metana u skladu sa karakteristikama deponije. Kreće se u opsegu 0,4 do 1 i uzima u obzir sva odstupanja od idealnih uslova.

Požarni korekcionni faktor (F) ima za cilj da utvrdi da li je bilo smanjenja količine otpada koja će se razgraditi u odnosu na deponovanu količinu. Program razlikuje nekoliko nivoa požara i vrši kalkulaciju sagorelog otpada.

### 4. REZULTATI MODELIRANJA PRODUKCIJE BIOGASA NA DEPONIJAMA U OPŠTINAMA CENTRALNE SRBIJE

U okviru ovog istraživanja obrađeno je ukupno 7 opština regiona Centralne Srbije. U nastavku će, za svaku od opština, biti dat pregled trenutnog stanja u oblasti upravljanja otpadom i rezultati proračuna količina deponijskog gasa na komunalnim deponijama.

Opština Kragujevac, kao sedište regiona, ima oko 193.000 stanovnika od kojih je 80% obuhvaćeno planskim iznošenjem smeća (teritorija grada i nekoliko obližnjih sela, dok ostala sela nisu obuhvaćena). Za sakupljanje i deponovanje otpada zaduženo je Javno komunalno preduzeće "Čistoća" a prikupljeni otpad se odvozi na deponiju u Jovanovcu, koja se udaljena od centra grada oko 3 kilometra. Deponija je počela sa radom 1968. godine, i još uvek je u upotrebi. Zauzima površinu od oko 15 hektara i ima prosečnu visinu od 15 metara. Deponija je opremljena elektronskom kolskom vagom, tako da se svaki kamion meri pre deponovanja otpada. Prosečna dnevna količina deponovanog otpada iznosi oko 150 tona, odnosno oko 55.000 tona otpada na godišnjem nivou. Deponija nema aktivni sistem za prikupljanje i kontrolu deponijskog gasa, postavljeno je 17 biotrnova, od kojih su 8 pristupačni, ostali su zatrpani. U okviru istraživanja na projektu, čiji je rezultat i ovaj rad, izvršena su eksperimentalna merenja sastava deponijskog gasa na pristupačnim biotrnovima. U tabeli 2 su dati rezultati merenja.

location	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	balance	CH <sub>4</sub> total	peakCH <sub>4</sub>	peakCO <sub>2</sub>	min O <sub>2</sub>	baro	CO	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>
	%	%	%	%	%	%	%	%	mb	ppm	ppm	ppm	%
1	15.8	8.3	15	60.9	200	15.8	8.3	15	1002	0	0	LOW	1.9
2	59.9	41.3	0.2	0	200	67.9	41.3	0.2	1002	1	0	LOW	1.45
3	57	44.4	0.1	0	200	59	44.7	0.1	1003	1	0	LOW	1.28
4	57.5	44.1	0	0	200	58.1	44.2	0	1003	0	0	LOW	1.3
5	60.7	40.7	0	0	200	60.8	44.2	0	1002	0	0	LOW	1.49
6	59.4	41.5	0	0	200	60.6	41.8	0	1002	0	0	LOW	1.43
7	0.4	5.5	17	77.1	8	59.3	41.7	0.3	1003	0	0	LOW	0.07
8	0.1	2	19.1	78.8	2	2.3	6.8	14.8	1001	0	0	LOW	0.06

Tabela 2 Rezultati merenja deponijskog gasa

Na pojedinim biotrnovima, koncentracija metana je veoma niska, jer je ventilaciona cev verovatno polomljena. Na ostalim biotrnovima, koncentracija metana je oko 59%, što je zadovoljavajuće, obzirom da je za ekonomsku isplativost korišćenja metana kao energenta, potrebna najmanja koncentracija metana u deponijskom

gasu od 35%. Svi ventilacioni otvori se nalaze u oblasti deponije sa starijim otpadom, pa koncentracija metana u ostalim delovima deponije, sa kasnije deponovanim otpadom, može da bude samo veća. Takođe, ove cevi ventilacionih otvora nisu perforirane po visini. U slučaju da su perforirane, uvlačile bi i gas sa različitih nivoa po visini, pa možemo zaključiti da koncentracija metana u deponiji može biti još veća od izmerene.

Na osnovu podataka o količinama i morfološkom sastavu otpada, merama koje se sprovode prilikom deponovanja i uslovima koji preovlađuju na deponiji, korišćenjem Ukrain modela izvršeno je modeliranje produkcije deponijskog gasa. Rezultati ukazuju da se na deponiji (za 2011. godinu) proizvodi 528 m<sup>3</sup>/h deponijskog gasa, odnosno 3314,34 tona godišnje. Najčešće se kao podatak uzima produkcija metana, što bi u ovom slučaju iznosilo 1657,17 tona na godišnjem nivou.

Opština Arandelovac ima oko 48.000 stanovnika, a 64% je obuhvaćeno planskim iznošenjem otpada. Sakupljanje otpada povereno je Javnom komunalnom preduzeću Bukulja, a otpad se odvozi na deponiju Mišača koja je u upotrebi od 2001. godine. Površina deponije je oko 3,2 hektara a prosečna visina 12 metara. Koristeći ostale dostupne podatke o deponiji, rezultati proračuna ukazuju na produkciju od 165m<sup>3</sup>/h ili 517,71 tona metana na godišnjem nivou.

Opština Knić ima oko 16.000 stanovnika od čega je 7,5% pokriveno planskim iznošenjem otpada. Za sakupljanje otpada zaduženo je JKP "Komunalac". Površina deponije je 15 ari, a prosečna dubina 3 metra. Ova deponija spada u grupu malih deponija čiji je energetska potencijal zanemarljiv, tako da shodno tome, proračun za ovu deponiju nije vršen.

Za sakupljanje i deponovanje otpada u opštinama Lapovo, Batočina, Rača i Topola zadužena je međunarodna kompanija ASA Vrbak d.o.o. Otpad se odvozi na sanitarnu deponiju u Lapovu. Deponija je počela sa radom u julu 2009. godine. Imajući u vidu da se radi o deponiji koja je u privatnom vlasništvu proračun energetske potencijala ove deponije nije rađen i nije ušao u ukupan zbir energetske potencijala regiona Centralne Srbije. Svaka od ovih opština je pre osnivanja kompanije ASA i formiranja sanitarne deponije u Lapovo imala svoju lokalnu deponiju komunalnog otpada. Iako deponije više nisu u upotrebi, nije izvršena sanacija tih deponija tako da se može vršiti razmatranje njihovog energetske potencijala. Zatvorene deponije u opštinama Lapovo, Batočina i Rača spadaju u grupu malih deponija, tako da je i u ovom slučaju njihov energetska potencijal zanemarljiv.

Kompanija ASA je zadužena za sakupljanje otpada u opštini Topola od avgusta 2011. godine, kada je zatvorena lokalna deponija komunalnog otpada u Topoli. Deponija više nije u upotrebi ali sakupljeni otpad i dalje generiše deponijski gas koji može da se iskoristi. Površina deponije je oko 2 hektara a prosečna visina 2 metra. Koristeći dostupne podatke o deponiji izvršen je proračun i rezultati ukazuju na generisanje 72 m<sup>3</sup>/h ili 225,8 tona metana godišnje.

Ukupan energetska potencijal sa deponija komunalnog otpada u regionu Centralne Srbije iznosi 2400 tona metana na godišnjem nivou.

## 5. DOBIJANJE BIOGASA IZ OTPADNIH VODA

U opštem slučaju u otpadne vode spadaju vode koje su neočišćene rastvorenim i nerastvorenim organskim i neorganskim materijama i mikroorganizmima. Ubrzanom rastom broja stanovnika i razvojem industrije, neslučenom brzinom su počele da rastu potrebe za vodom. U urbanim sredinama dolazi do promene ekoloških uslova koji imaju direktan uticaj na stanje životne sredine. Ispuštanjem otpadnih voda bez prečišćavanja u prirodne recipijente narušava se kvalitet vodoprijemnika što se ogleda u pogoršavanju fizičkih osobina vode, pojave plivajućih materija na površini i akumuliranju otpadnog mulja na dnu, promeni hemijskih osobina vode, smanjenja koncentracije rastvorenog kiseonika i osiromašenju vodene populacije. Najvažniji uticaj ispuštanja neprečišćenih voda u površinske vode imaju za posledicu pojavu eutrofikacije, trovanje vodenih životinja teškim metalima ili gušenjem usled nedostatka kiseonika. Kanalisiranje naselja i prečišćavanje otpadnih voda se može smatrati najvažnijim urbanim problemom i direktno zavisi od brojnosti populacije, društvenih odnosa i razvijenosti zemlje i regije. Prema poreklu, otpadne vode se mogu podeliti na: komunalne otpadne vode, industrijske otpadne vode i otpadne vode agro-kompleksa. Najznačajnije količine otpadnih voda potiču iz naselja i industrije, a zatim iz poljoprivrede i stočarstva, pri čemu najveće ukupno zagađenje emituje industrija. Veći deo komunalnih otpadnih voda čine upotrebljene vode iz domaćinstva. Industrijske otpadne vode nastaju upotrebom u tehnološkim procesima i u proizvodnji energije. One su danas, najveći zagađivači vodnih resursa. Specifične su za svaku industrijsku granu. Za razliku od komunalnih otpadnih voda, čiji je sastav uglavnom poznat, karakterizacija i prečišćavanje otpadnih voda iz različitih industrijskih pogona retko trpi uopštavanje i tipiziranje procesa prečišćavanja. Otpadne vode agro-kompleksa su posebne površinske vode sa zemljišta, koje su podvrgnute agrotehničkim merama.

Radi sprečavanja zagađenja recipijenta direktnim ispuštanjem otpadnih voda potrebno je da svaka opština/grad poseduje postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda čime bi se smanjio negativan uticaj čovekove sredine na prirodu. U postupke prečišćavanja otpadnih voda spadaju: mehanički postupci (prethodna prerada), fizičko-hemijski postupci, biološki postupci i prerada mulja. Prečišćavanjem otpadnih voda dolazi do izdvajanja organskih i neorganskih materija koje je dalje potrebno deponovati. Otpadni materijali iz procesa prerade otpadnih voda trebalo bi da imaju visok udeo izdvojenih komponentata, i mali udeo preostale vlage. Kod većine postrojenja za prečišćavanja produkti iz procesa prečišćavanja su u vidu mulja sa masenim udelom vode 96-98%. Izbor postupaka obrade i odlaganje muljeva najviše zavisi od njihovih karakteristika. Muljevi su, u opštem slučaju, veoma različiti, naročito muljevi od prečišćavanja industri-

jskih otpadnih voda. U postupke prerade muljeva spada: ugušćivanje, stabilizacija, kondicioniranje, obezvodnjavanje, sušenje i oksidacija i odlaganje.

U poslednje vreme, najrasprostranjeniji postupak prerade muljeva je anaerobna stabilizacija (digestija). Anaerobna prerada muljeva sastoji se iz tri osnovne faze (stepena). U prvom stepenu, čvrsti organski kompleksi, celuloza, proteini, masti, razlažu se na isparljive organske kiseline, alkohole, CO i amonijak. Ovo se izvodi pod dejstvom enzima. U drugom stepenu, proizvodi iz prvog stepena prevode se u acetatske kiseline, proteonske kiseline, vodonik, CO<sub>2</sub> i ostale nisko molekulske organske kiseline. U trećem stepenu deluju dve grupe metanskih bakterija. Jedna grupa pretvara vodonik i CO<sub>2</sub> u metan. Druga grupa pretvara acetate u metan i bikarbonate. Obe grupe bakterija su anaerobne. Kao rezultat anaerobne digestije smanjuje se količina finalnog mulja za depozovanje pri čemu se uništava većina patogena prisutnih u mulju i dobija se biogas, koji predstavlja mešavinu metana (60-70%), ugljen-dioksida (30-40%) i ostalih gasova koji se mogu naći u malim količinama. Sagorevanjem biogasa mogu se proizvesti toplotna i električna energija čime se pokrivaju celokupne energetske potrebe postrojenja za aeraciju, digestiju, grejanje i proizvodnju električne energije i na taj način se optimizuju rashodi postrojenja i njegov uticaj na životnu sredinu.

Za procenu emisije metana koristiće se IPCC 2006 metod koji preporučuje Međunarodni okrugli sto o klimatskim promenama [12]. Ovaj model će detaljno biti opisan u nastavku.

## 6. MODELIRANJE PRODUKCIJE BIOGASA IZ OTPADNIH VODA

Otpadne vode mogu biti izvor metana (CH<sub>4</sub>) kada se tretiraju anaerobno. Količina proizvedenog metana primarno zavisi od količine organske materije u otpadnoj vodi, temperature i tipa tretmanskog sistema. Glavni faktor za određivanje potencijala generisanja metana je količina organske materije u otpadnoj vodi. Opšti parametri koji se koriste za merenje organske komponente otpadne vode su: Biološka potrošnja kiseonika (BPK) i Hemijska potrošnja kiseonika (HPK). U istim uslovima otpadne vode sa većom BPK ili HPK koncentracijom će generalno proizvoditi više metana nego otpadne vode sa manjom HPK (ili BPK) koncentracijom.

Emisija metana iz otpadnih voda za jednu godinu može se proceniti korišćenjem sledeće jednačine:

$$CH_4 \text{ Emissions} = \left[ \sum_{i,j} (U_i \times T_{i,j} \times EF_j) \right] (TOW - S) - R \quad (2)$$

gde su:

CH<sub>4</sub> Emissions - emisija metana u toku jedne godine (kg CH<sub>4</sub>/god)

TOW - ukupna količina organske materije u toku jedne godine (kg CH<sub>4</sub>/god)

S - organska komponenta uklonjena kao mulj (kg CH<sub>4</sub>/god)

U<sub>i</sub> - procenat populacije u pojedinoj oblasti

T<sub>i,j</sub> - stepen utilizacije tretmanskog/ispusnog voda ili sistema

i - oblast: ruralna, veoma urbana i urbana

j - tretmanski/ispusni vod ili sistem

EF<sub>j</sub> - faktor emisije (kg CH<sub>4</sub>/kg BPK)

R - količina iskorišćenog metana tokom jedne godine (kg CH<sub>4</sub>/god)

Faktor emisije (EF) tretmanskog/ispusnog voda ili sistema je funkcija maksimalnog potencijala proizvodnje metana (B<sub>0</sub>) i metanskog korekcionog faktora (MCF) za svaki tretmanski/ispusni vod ili sistem (jednačina 3). Maksimalni potencijal proizvodnje metana (B<sub>0</sub>) je maksimalna količina metana koji se može proizvesti za datu količinu organske materije (izražene kao BPK ili HPK) u otpadnoj vodi. MCF pokazuje veličinu potencijala proizvodnje metana (B<sub>0</sub>) za svaki tip tretmanskog/ispusnog voda i sistema. To je indikator stepena anaerobnosti sistema. Faktor emisije se računa prema sledećoj relaciji:

$$EF_j = B_0 \times MCF_j \quad (3)$$

gde su:

EF<sub>j</sub> - faktor emisije (kg CH<sub>4</sub>/kg BPK)

j - tretmanski/ispusni vod ili sistem

B<sub>0</sub> - maksimalni potencijal proizvodnje metana (kg CH<sub>4</sub>/kg BPK)

MCF<sub>j</sub> - metanski korekциони faktor

Preporučuje se korišćenje vrednost B<sub>0</sub> na državnom nivou, gde postoji. Ukoliko ne postoji vrednost B<sub>0</sub> na državnom nivou, usvaja se standardna vrednost 0,6 kg CH<sub>4</sub>/kg BPK. Za komunalne otpadne vode vrednost B<sub>0</sub> izražena u HPK može se pretvoriti u BPK množenjem sa 2,4.

Ukupna količina organske materije je funkcija ljudske populacije i BPK po jednom stanovniku. Ukupna količina organske materija dobija se pomoću izraza:

$$TOW = P \times BPK \times 0.001 \times I \times 365 \quad (4)$$

gde su:

TOW - ukupna količina organske materije u toku jedne godine (kg CH<sub>4</sub>/kg BPK)

P - populacija u toku jedne godine

BPK - biološka potrošnja kiseonika po stanovniku na dan (g/st x dan), usvojena je vrednost 60 g/st x dan,

0.001 - konverzija iz g BPK u kg BPK

I - korekциони faktor za dodatni ispušni industrijske BPK u kanalizaciju (za sakupljene vrednosti je 1,25 a za nesakupljene 1)

## 7. REZULTATI MODELIRANJA PRODUKCIJE BIOGASA IZ OTPADNIH VODA U OPŠTINAMA CENTRALNE SRBIJE

Kako celokupno stanovništvo u opštinama nije pokriveno kanalizacijom, potrebno je izračunati emisiju metana posebno za urbano i ruralno stanovništvo. Usvajeno je da ruralno stanovništvo otpadne vode odlaže u septičke jame (MCF=0,5).

U opštini Kragujevac 75% stanovništva je priključeno na kanalizacionu mrežu [13]. Opština poseduje centralno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda sekundarnog tipa u kome se otpadna voda prečišćavanja u aeracionom bazenu sa aktivnim muljem (MCF=0). U kanalizaciju se ispuštaju industrijske otpadne vode. Primarnim taloženjem uklanja se 25% organskog opterećenja. Ostatak organskog opterećenja uklanja se u aeracionom bazenu i sekundarnom taložniku tako da se ispoštuju zakonom propisane vrednosti organskog opterećenja u prečišćenoj vodi. Dobijeni mulj se nakon stabilizacije odvozi na gradsku deponiju. Postrojenje u Kragujevcu poseduje 2 digestora i godišnja proizvodnja metana iznosi oko 314 t. Kako je metanski korekcionni faktor postrojenja 0, to znači da nema emisije metana od strane urbanog stanovništva. Emisija metana ruralnog stanovništva iznosi 317 t na godišnjem nivou.

U opštini Arandelovac 57% stanovništva je priključeno na kanalizacionu mrežu. Opština poseduje postrojenje istog tipa kao i Kragujevac, pa i u ovom slučaju nema emisije metana urbanog stanovništva. U kanalizaciju se ispuštaju industrijske otpadne vode. Emisija metana ruralnog stanovništva iznosi 133 t na godišnjem nivou.

U opštini Topola 15% stanovništva je priključeno na kanalizacionu mrežu. Emisija metana ruralnog stanovništva iznosi 161 tona na godišnjem nivou.

U opštini Batočina 18% stanovništva je priključeno na kanalizacionu mrežu. U kanalizaciju se ispuštaju industrijske otpadne vode. Otpadna voda se ispusta u reku (MCF=0,1). Ukupna emisija metana iznosi 69 tona na godišnjem nivou.

U opštini Lapovo 20% stanovništva je priključeno na kanalizacionu mrežu. Otpadna voda se ispusta u jezero (MCF=0,1). Ukupna emisija metana iznosi 45 tona na godišnjem nivou.

U opštini Rača 24% stanovništva je priključeno na kanalizacionu mrežu. Otpadna voda se ispusta u reku (MCF=0,1). Ukupna emisija metana iznosi 68 tona na godišnjem nivou.

U opštini Knić svega 3% stanovništva je priključeno na kanalizacionu mrežu. Otpadna voda se ispusta u reku (MCF=0,1). Ukupna emisija metana iznosi 106 tona na godišnjem nivou.

Ukupan energetska potencijal iz komunalnih otpadnih voda u regionu Centralne Srbije iznosi 900 tona metana na godišnjem nivou.

## 8. ZAKLJUČAK

Anaerobno razlaganje čvrstog otpada i otpadnih voda značajno doprinosi emisiji gasova staklene bašte. Globalni izazovi kao što su klimatske promene, smanjenje rezervi nafte i brzo povećanje cene, loša praksa odlaganja otpada, direktno ispuštanje neprečišćenih otpadnih voda u vodotokove i smanjenje zelenih površina podstaci će korišćenje i usavršavanje tehnologije dobijanja biogasa. Korišćenje biogasa doprineće smanjenju čovekovog negativnog uticaja na životnu sredinu, smanjenju zavisnosti od fosilnih

goriva i rešavanje problema potrebe za energijom budućih generacija. Primenom anaerobnih postupaka prerade komunalnih otpadnih voda moguće je optimizovati ukupne energetske rashode postrojenja. Opisanom metodologijom godišnja emisija metana sa gradskih deponija i iz komunalnih otpadnih voda u regionu Centralne Srbije iznosi 3300 tona.

## 9. LITERATURA

- 1 El-Fadel, M., Massound, M., Methane emissions from wastewater management, *Environmental Pollution* 14, pp. 177-185, 2001
- 2 Agencija za zaštitu životne, Republika Srbija, privatna komunikacija
- 3 Farquhar G.D., Models of Integrated Photosynthesis of Cells and Leaves, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, Vol. 323, No. 1216, pp 357-367, 1989
- 4 Farquer, G. J., Rovers, F. A., Gas Production During Refuse Decomposition, *Air, Water and Soil Pollution* 2, (4) pp 483-495, 1973
- 5 Farquhar G.D., Models of Integrated Photosynthesis of Cells and Leaves, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, Vol. 323, No. 1216, pp 357-367, 1989
- 6 Crawford, J.F., Smith, P.G., *Landfill technology*, Butterworths, London, United Kingdom. ISBN: 0408014075, 1985
- 7 IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Solid Waste Disposal, 2006
- 8 EPA, United States Environmental Protection Agency, Landfill Gas Emissions Model, 2005
- 8 Hall, C., User's Manual Ukraine Landfill Gas Model, US EPA - LMOP, USA, 2009
- 10 Vujić, G., Ubavin, D., Maoduš, N., Batinić, B., Stanisavljević, N., Štrbac, D., Dvornić, A., Procena količina deponijskog gasa sa efektom staklene bašte emitovanog sa deponija komunalnog otpada sa mogućnostima njegove valorizacije na teritoriji republike Srbije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010
- 11 EPA, United States Environmental Protection Agency, Guidelines for Municipal Solid Waste Air Emissions, 1991
- 12 IPCC, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Wastewater Treatment and Discharge, 2006
- 13 Ministarstvo zaštite životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja, Republika Srbija, privatna komunikacija

Napomena: Rad nastao kao rezultat istraživanja na projektu "ISTRAŽIVANJE KOGENERACIONIH POTENCIJALA U KOMUNALNIM I INDUSTRIJSKIM ENERGANAMA REPUBLIKE SRBIJE I MOGUĆNOSTI ZA REVITALIZACIJU POSTOJEĆIH I GRADNJU NOVIH KOGENERACIONIH POSTROJENJA (III 42013)" koji finansira Ministarstvo prosvete i nauke Republike Srbije.