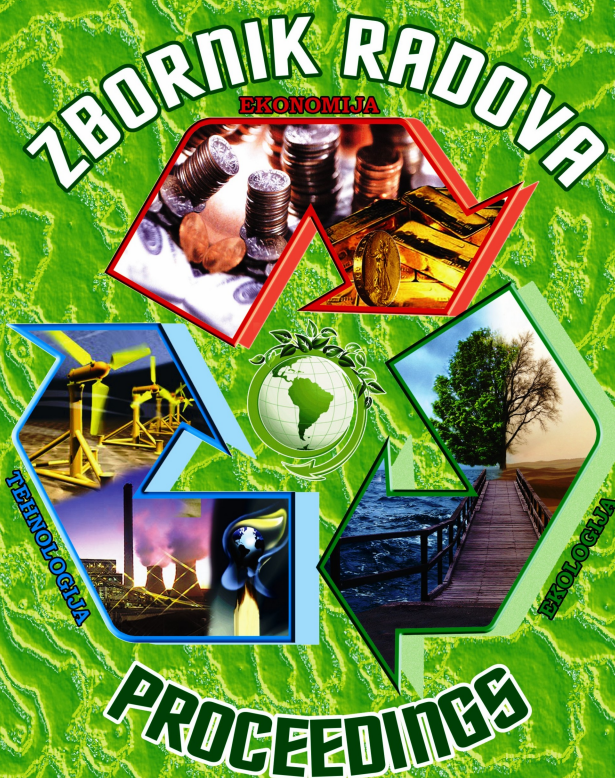




Univerzitet u Beogradu
TEHNIČKI FAKULTET U BORU
Katedra za Mineralne i Reciklažne Tehnologije



SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ"
SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT"



Urednik / Editor
Jovica Šokolović

Kladovo
3 - 6. novembar 2009.



Univerzitet u Beogradu
TEHNIČKI FAKULTET U BORU
Katedra za Mineralne i Reciklažne Tehnologije



SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ"

SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT"



**Urednik / Editor
Jovica Sokolović**

**Kladovo,
3 – 6. novembar 2009.**

IV SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ",
sa međunarodnim učešćem

4th SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT", with international participation

Urednik/Editor: Mr Jovica Sokolović

Izdavač/Publisher: Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru

Štampa/Printed: "Grafomed–Trade" Bor

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

502.131.1:628.477.6(082)
628.477.6(082)
502.174:502.521(082)

**СИМПОЗИЈУМ "Рециклажне технологије и одрживи
развој" са међународним учешћем (4 ; 2009 ;
Кладово)**

Zbornik radova = Proceedings / IV
simpozijum "Reciklažne tehnologije i održivi
razvoj" sa međunarodnim učešćem = IV
Symposium "Recycling Technologies and
Sustainable Development" with International
Participation, Kladovo, 3-6. novembar 2009. ;
[organizator] Univerzitet u Beogradu,
Tehnički fakultet u Boru, Katedra za
mineralne i reciklažne tehnologije ; urednik,
editor Jovica Sokolović. - Bor : Tehnički
fakultet, 2009 (Bor : Grafomed Trade). - X,
643 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 200. - Predgovor urednika: str. VI. -
Bibliografija uz većinu radova. - Registar. -
Abstracts.

ISBN 978-86-80987-73-6

1. Соколовић, Јовица [уредник] [аутор
додатног текста] 1974- 2. Технички факултет
(Бор). Катедра за минералне и рециклажне
технологије

а) Отпадне материје - Одрживи развој -
Зборници б) Отпадне материје - Рециклажа -
Зборници с) Земљиште - Ремедијација -
Зборници

COBISS.SR-ID 170749196

ISBN 978-86-80987-73-6



SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ"

SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT"

3 - 6. novembar 2009., Kladovo, Srbija

PROGRAMSKI ODBOR/PROGRAM COMMITTEE

Prof. dr Rodoljub Stanojlović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Mr Jovica Sokolović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Mr Nebojša Redžić, Agencija za zaštitu životne sredine, Srbija
Gordana Perović, Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja, Srbija
Ljiljana Stanković, dipl. pravnik, Privredna Komora Srbije, Srbija
Spec. Dragan Ranđelović, dipl. politikolog, RTB Bor, Srbija

NACIONALNI NAUČNI ODBOR/NATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. dr Rodoljub Stanojlović, Univerzitet u Beogradu, Srbija, predsednik
Prof. dr Zoran Marković, Univerzitet u Beogradu, Srbija, podpredsednik
Prof. dr Milan Trumić, Univerzitet u Beogradu, Srbija, podpredsednik
Prof. dr Desimir Marković, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Nedeljko Magdalinić, Megatrend Univerzitet, Srbija
Prof. dr Velizar Stanković, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Nada Štrbac, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Miodrag Žikić, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Stevan Dožić, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija
Prof. dr Željko Kamberović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Gordana Stefanović, Univerzitet u Nišu, Srbija
Prof. dr Vele Tešević, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Prof. dr Milan Pavlović, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija
Prof. dr Milorad Krgović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Doc. dr Grozdanka Bogdanović, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Doc. dr Snežana Urošević, Univerzitet u Beogradu, Srbija
Dr Ljubiša Andrić, ITNMS, Beograd, Srbija
Dr Dragana Dražić, Institut za šumarstvo, Beograd, Srbija
Dr Marina Ilić, Institut za opštu i fizičku hemiju, Beograd, Srbija
Dr Miroslav Ignjatović, Privredna Komora Srbije, Beograd, Srbija

MEĐUNARODNI NAUČNI ODBOR/INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Academic Prof. Dr. Petr Solozhenkin, Russian Academic of Natural Science, Russia
Dr. Branko Bošnjaković, Regional Adviser on Environment (ret.), UN Economic Commission for Europe, Geneva, Switzerland and Professor (external), University of Rijeka, Croatia

Prof. Dr. Ir. Hans de Ruiter, Delft University of Technology, Netherlands

Prof. Dr.-Ing. Thomas Pretz, RWTH Aachen University, Germany

Prof. Dr. Fokion K. Vosniakos, Balkan Environmental Association (B.EN.A.), Greece

Prof. Dr. József Böhm, University of Miskolc, Hungary

Prof. Dr Jacques Yvon, ENSG INPL Nancy, France

Prof. Dr Peter Fecko, VŠB - Technical University of Ostrava, Czech Republic

Prof. Dr Stoyan Groudev, University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Bulgaria

Prof. Dr Irena Grigorova, University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Bulgaria

Prof. Dr Gelu Dan Padure, "Politehnica" University Timișoara, Romania

Prof. Dr Dijana Spaseska, Ss. Cyril and Methodius University, Republic of Macedonia

Prof. Dr Jakob Lamut, University of Ljubljana, Slovenia

Prof. Dr Sulejman Muhamedagić, University of Zenica, Bosnia and Herzegovina

Prof. Dr Petar Gvero, University of Banja Luka, Republic of Srpska, B&H

Doc. Dr Gordan Bedeković, University of Zagreb, Croatia

Prof. Dr Žarko Radović, University of Montenegro, Montenegro

ORGANIZACIONI ODBOR/ORGANIZING COMMITTEE

Mr Jovica Sokolović, Univerzitet u Beogradu, Srbija, predsednik

Prof. dr Rodoljub Stanojlović, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Prof. dr Zoran Marković, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Prof. dr Milan Trumić, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Doc. dr Grozdanka Bogdanović, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Mr Dejan Antić, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Mr Zoran Štirbanović, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Maja Trumić, dipl. inž. rud., Univerzitet u Beogradu, Srbija

TEHNIČKI ODBOR/TECHNICAL COMMITTEE

Mr Jovica Sokolović, Univerzitet u Beogradu, Srbija,

Mr Zvonko Damjanović, Univerzitet u Beogradu, Srbija

Željko Pajkić, dipl. inž. rud., Univerzitet u Beogradu, Srbija

Dobrinka Trujić, Univerzitet u Beogradu, Srbija

IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“ (IV SRTOR)

SADRŽAJ / TABLE OF CONTENTS

PLENARNA PREDAVANJA / PLENARY LECTURES	1
Thomas Pretz, Hans de Ruiter HOW TO BEAT SCARCITY IN HUMAN RESOURCES – COOPERATION IN EUROPEAN MINERALS EDUCATION	3
Branko Bošnjaković EU ENVIRONMENT LEGISLATION: CHALLENGES FOR CLIMATE AND ENERGY	11
Nebojša Redžić REGISTAR IZVORA ZAGAĐIVANJA KAO OSNOV ZA USPOSTAVLJANJE SISTEMA UPRAVLJANJA OTPADOM	29
OKRUGLI STO / ROUNDE TABLE	41
Milanka Novaković, Nada Mladenović, Marina Jelisić, Milan Bošković, Nenad Radović TEHNIČAR ZA RECIKLAŽU – NEKA ISKUSTVA U UVOĐENJU PROFILA	43
Dragan Randelović OBUKA ODRASLIH, PREKVALIFIKACIJA I DOKVALIFIKACIJA U FUNKCIJI ODRŽIVOG RAZVOJA I RECIKLAŽE	48
Ivan Nishkov, Irena Grigorova PRACTICAL EXPERIENCE AND EDUCATION OF WASTE RECYCLING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN BULGARIA	54
PREZENTACIJA FIRMI / PRESENTATION OF COMPANIES	63
Andrew Deen Williams, Aleksandra Williams PREZENTACIJA FARM INDUSTRIES D.O.O. NOVI SAD	65
Milan Đorđević, Marina Wagstaffe PREZENTACIJA FIRME EUROPROCESS D.O.O. BEOGRAD – ZASTUPNIK ERIEZ MAGNETICS	66
RADOVI PO SEKCIJAMA / PAPERS BY SECTION	67
Thomas Pretz, Jörg Julius, Yvonne Schockert THE RELEVANCE OF SENSOR SORTING TECHNOLOGY FOR RECYCLING TASKS	69
Dobrescu Mircea, Dimitriu Sorin, Vasilescu Marius, Dumitriu Gabriela STUDIES CONCERNING POLLUTION CONTROL, WASTE RECOVERY AND MATERIALS RECYCLING IN FERROUS AND NONFERROUS METALLURGY	76
Bisenija Petrović, Vojka Gardić, Ljiljana Miličić KARAKTERIZACIJA I RECIKLAŽA OTPADA IZ PROCESA TOPLOG CINKOVANJA	79
Vojka Gardić, Bisenija Petrović, Tatjana Apostolovski-Trujić, Aleksandra Ivanović, Ljubiša Mišić METODE RECIKLAŽE TEŠKIH METALA IZ ČVRSTOG OTPADA POGONA ZA TOPLO CINKOVANJE	84
Nada Štrbac, Dragana Živković, Živan Živković, Ljubiša Balanović, Aleksandra Mitovski REVALORIZACIJA KORISNIH KOMPONENTI PRERADOM MEDJUPRODUKATA METALURGIJE CINKA	89
Sonja Petković, Aleksandar Petković, Slavica Milosavljević, Aleksandra Radulović, Edvard Ernek RECIKLAŽA ČELIČNIH KUGLI I NJIHOVO PONOVNO KORIŠĆENJE U PROCESU MLEVENJA MINERALNIH SIROVINA	94
Janko Mikić, Branislava Lazić, Miro Sudar EFEKTI VISOKOTEMPERATURNOG RAŠČINJAVANJA NA EKONOMIKU PROIZVODNJE GLINICE	101
Milan Petrov, Dejan Todorović, Radmila Marković, Melina Vukadinović, Ljiljana Mladenović MEHANO – HEMIJSKI TRETMAN MINERALNOG OTPADA	106
Radmila Marković, Ljiljana Mladenović, Milan Petrov FIZIČKO-HEMIJSKA KARAKTERIZACIJA VREMENSKI ODLEŽANOG I MEHANOHEMIJSKI TRETIRANOG SULFIDNOG MINERALNOG OTPADA	112
Milan Trumić, Ljubiša Andrić, Maja Trumić UTICAJ MELJIVOSTI SIROVINE NA EFIKASNOST MLEVENJA	118
Daniela Urošević, Zoran Marković ISPITIVANJE UTICAJA DISPERGATORA Natrijum Poliakrilata NA POVEĆANJE STABILITETA SUSPENZIJE TOPIONIČKE ŠLJAKE	123
Zoran Štirbanović, Rodoljub Stanojlović, Jovica Sokolović, Stana Profirović, Novka Živadinović UTICAJ FINOĆE GOTOVOG PROIZVODA MLEVENJA, RUDARSKIH TEHNOGENIH OTPADA, TOPIONIČKE ŠLJAKE I STARE FLOTACIJSKE JALOVINE NA ISKORIŠĆENJE BAKRA U PROCESU OSNOVNE FLOTACIJE	128
Aleksandar Petković, Aleksandar Budelan, Sonja Petković, Novka Živadinović, Ana Stanojević PREGLED DOSADAŠNJIH REZULTATA PRERADE ŠLJAKE PLAMENE PEĆI U POGONU FLOTACIJE BOR I MOGUĆNOST POBOLJŠANJA EKONOMSKIH EFEKATA PROIZVODNJOM BAKARNOG GRITA	134
Rodoljub Stanojlović, Jovica Sokolović, Zoran Štirbanović, Toplica Marjanović EKONOMSKI ISPLATIV, TEHNOLOŠKI MOGUĆ I EKOLOŠKI OPRAVDAN PROCES ZAJEDNIČKE PRERADE RUDARSKIH TEHNOGENIH OTPADA TOPIONIČKE ŠLJAKE I STARE FLOTACIJSKE JALOVINE RTB-A BOR	140
Jelena Đokić, Desimir Petković, Duško Minić EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE KARAKTERISTIKA ŠLJAKE SILIKOTERMIJSKOG PROCESA PROIZVODNJE MAGNEZIJUMA KAO MATERIJALA U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI	150

Kladovo, 3 - 6. novembar 2009.

vii

IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“ (IV SRTOR)

Anja Terzić, Ljubica Pavlović, Dragica Jevtić, Suzana Koprivica KARAKTERISTIKE I PRIMENA BETONA SA RECIKLIRANIM AGREGATOM	156
Anja Terzić, Zoran Grdić, Ljubica Pavlović, Gordana Topličić-Čurčić ELEKTROFILTERSKI PEPEO KAO POTENCIJALNA SIROVINA U GRAĐEVINARSTVU	163
Ivana Jovanović, Tomislav Jovanović, Ljubiša Andrić, Vladan Milošević, Milena Kostović MOGUĆNOSTI PRIMENE LETEĆEG PEPELA KAO GRAĐEVINSKOG MATERIJALA	170
Milena Dalmacija, Miljana Prica, Srđan Rončević, Božo Dalmacija, Ljiljana Rajić PRIMENA LETEĆEG PEPELA U SOLIDIFIKACIJI/STABILIZACIJI SEDIMENTA ZAGAĐENOG TEŠKIM METALIMA	178
Dragan Radulović, Vladimir Jovanović, Branislav Ivošević, Slavica Mihajlović UPOTREBA FLOTACIJSKE JALOVINE U KERAMIČKOJ INDUSTRIJI	184
Miroslav Marinov, Andrian Valchev, Ivan Nishkov, Irena Grigorova KAOLIN PROCESSING TAILS – NEW SECONDARY PRODUCT	190
Živko Sekulić, Aleksandra Daković, Jovica Stojanović, Vladimir Jovanović, Slavica Mihajlović, Marko Babović KARAKTERIZACIJA I PRIMENJIVOST NEMETALIČNIH MINERALNIH SIROVINA KOJE PRATE UGLJ U LIGNITSKIM LEŽIŠTIMA KOLUBARSKOG BASENA	194
Vladimir Jovanović, Dinko Knežević, Živko Sekulić, Slavica Mihajlović, Milan Petrov, Branislav Ivošević ISPITIVANJE MEHANIČKIH OSOBINA BRIKETA KREČNJAKA ZA POTREBE POLJOPRIVREDE	204
Milenko Jevtić, Nedeljko Stojnić MOGUĆNOSTI PRIMENE NOVE ORIGINALNE TEHNOLOGIJE ELEKTRIČNOG IMPULSNOG PRAŽNENJA U VODI ZA RECIKLAŽU I BRIKETIRANJE METALNOG OTPADNOG MATERIJALA	210
Martin Debelak, Janja Leban, Jakob Lamut GOSPODARENJE SA OTPADOM – POSLOVNA PRILIKA	215
Vladimir Đorđević, Predrag Stanislavljević, Ivan Stanislavljević, Radmilo Nikolić SIMULACIJOM MODELA DO STRATEGIJE ZA UPRAVLJANJE OTPADOM	221
Dragoljub Urošević, Radomir Vasić, Minja Savić, Zoran Popović DOPRINOS FORMIRANJU INFORMACIONOG SISTEMA UPRAVLJANJA OTPADOM	228
Dragica Stojanović, Vesna Pašić RECIKLAŽA OTPADA – PUT KA EVROPI	235
Božidar Krstić, Nebojša Jovičić, Vojislav Krstić, Ivan Krstić KONTROLA TRANSPORTA OPASNIH MATERIJU U FUNKCIJI PREVENCIJE	241
Božidar Krstić, Nebojša Jovičić, Vojislav Krstić, Ivan Krstić EKOLOŠKI RIZIK PRI TRANSPORTU OPASNIH MATERIJU	248
Stojan Simić, Omer Kovač UPRAVLJANJE OTPADNIM ULJIMA BITAN SEGMENT ODRŽIVOG RAZVOJA	255
Dragan Govedarica, Dunja Sokolović ODRŽIVI RAZVOJ I RAFINERIJSKA PRERADA NAFTE - PRILOG ANALIZI UPRAVLJANJA RAFINERIJSKIM OTPADOM	261
Dragoslav Rakić, Slobodan Čorić, Laslo Čaki FIZIČKO-MEHANIČKE KARAKTERISTIKE KOMUNALNOG OTPADA	268
Aleksandra Fedajev, Radmilo Nikolić RECIKLAŽA AMBALAŽNOG OTPADA I ODRŽIVI RAZVOJ	275
Vesna Conić, Vesna Grekulović, Zvonimir Stanković POSTUPAK RECIKLIRANJA STAKLA U CILJU PONOVOG DOBIJANJA POLAZNE SIROVINE ZA STAKLARSKU INDUSTRIJU	281
Bastian Wens, Nico Schmalbein, Ronald Gillner, Thomas Pretz ADVANCED RECOVERY OF NON-FERROUS METALS FROM MUNICIPAL SOLID WASTE	285
Dragana Živković, Nada Štrbac, Aleksandra Mitovski, Zvonko Damjanović, Jovica Sokolović SAVREMENI TRENDOVI U RECIKLAŽI ELEKTRONSKOG OTPADA	291
Snežana Urošević, Milko Zorboski RECIKLIRANJE MOBILNIH TELEFONA – PUT KA OČUVANJU ŽIVOTNE SREDINE	300
Vesna Grekulović, Vesna Conić, Radojica Grekulović MOGUĆNOST RECIKLAŽE METALNOG MOLIBDENOVOG JEZGRA UTROŠENIH ELEKTRIČNIH SIJALICA	310
Radiša Todorović, Vojka Gardić, Daniela Urošević, Dušica Radosavljević ISPITIVANJE MOGUĆNOSTI RECIKLIRANJA OTPADNIH OLOVNIH AKUMULATORA	314
Milica Arsenović, Branko Živančević, Zagorka Radojević ISTRAŽIVANJE SADRŽAJA TEŠKIH METALA U OPEKARSKIM PROIZVODIMA	320
Zagorka Radojević, Bisenija Petrović, Milica Arsenović NEKI ASPEKTI PRIMENE OTPADNIH MATERIJALA U PROIZVODNJI OPEKARSKIH PROIZVODA	325
Milan Despotović, Slobodan Savić, Saša Jovanović, Danijela Nikolić NEKE MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA ENERGETSKE I EKOLOŠKE EFIKASNOSTI CENTRALNOG POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U KRAGUJEVCU	331
Dragan Govedarica, Dunja Sokolović TRETMAN ZAULJENIH OTPADNIH VODA KROZ SLOJ OTPADNIH POLIMERA	338
Vladislav Matković, Miroslav Sokić, Branislav Marković PRERADA OTPADNIH MOLIBDENSKIH RASTVORA	344



SIMPOZIJUM "RECIKLAŽNE TEHNOLOGIJE I ODRŽIVI RAZVOJ"

SYMPOSIUM "RECYCLING TECHNOLOGIES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT"

3 - 6. novembar 2009., Kladovo, Srbija

**NEKE MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA ENERGETSKE I EKOLOŠKE
EFIKASNOSTI CENTRALNOG POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE
OTPADNIH VODA U KRAGUJEVCU**

**SOME POSSIBILITIES TO ENHANCE ENERGY AND ECOLOGICAL
EFFICIENCY OF THE CENTRAL PLANT FOR
WASTEWATER TREATMENT IN KRAGUJEVAC**

Milan Despotović, Slobodan Savić[#], Saša Jovanović, Danijela Nikolić

Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet,
Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, Srbija

IZVOD

Proces kodigestije ili kofermentacije predstavlja proces digestije (truljenja) u kome se koristi homogena mešavina dva ili više supstrata. Jedan od razloga primene kodigestije je predimenzionisanost digestora u postrojenjima za tretman otpadnih voda, pri čemu postoji mogućnost za dodavanje ko-supstrata, čime se povećava proizvodnja biogasa. U ovom radu je izvršena procena mogućnosti upotrebe organskog otpada koji nastaje u klanicama, kao i procena potencijala ostataka hrane iz restorana u okolini centralnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda za grad Kragujevac. Razmatrana je i mogućnost korišćenja otpadnih voda iz firme za galvanizaciju metala radi prečišćavanja biogasa proizvedenog u navedenom postrojenju za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda.

Cljučne reči: ostaci hrane, biogas, energetska efikasnost, organski otpad, biomasa, prečišćavanje otpadnih voda.

ABSTRACT

The process of co-digestion or co-fermentation is a digestion process that involves a homogenous mixture of two or more substrata. One of the reasons for usage of co-digestion is the magnitude of digesters in the wastewater treatment plants, and there is also a possibility to add a co-substrate, which increases production of biogas. This paper gives the estimate of possible usages of organic waste made in slaughter houses as well as the estimate of possible usages of food residues in the restaurants located in the nearby of the central wastewater treatment plant for the city of Kragujevac. The possibility to use wastewater from the galvanization plant for purification of biogas produced in the wastewater treatment plant is also studied.

Keywords: food residues, biogas, energy efficiency, organic waste, biomass, wastewater treatment.

UVOD

Kada se govori o biogasu, obično se misli na gas sa velikom količinom metana u sebi a koji nastaje fermentacijom organskih supstanci, kao što su stajnjak, mulj iz otpadnih voda, gradski čvrsti otpad ili bilo koja druga biorazgradiva materija, pri anaerobnim uslovima.

[#] osoba za kontakt: ssavic@kg.ac.rs

IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“ (IV SRTOR)

Obrada biorazgradivih supstanci odigrava se u anaerobnom digestoru koji mora da bude dovoljno jake konstrukcije da izdrži povećani pritisak, kao i da obezbedi anaerobne uslove za bakterije u unutrašnjosti. Digestori se obično grade u blizini izvora organskog inputa, i to najčešće nekoliko jedan uz drugi, kako bi se obezbedila konstantna proizvodnja biogasa.

Za proizvodnju biogasa može se koristiti bilo koja organska materija koja predstavlja izvor neophodnih sastojaka u procesu proizvodnje biogasa, kao što su ugljenik, azot, fosfor, kalcijum, magnezijum itd.

Proizvodnja biogasa omogućava višestruke koristi. Pored proizvodnje električne i toplotne energije proizvodnja biogasa značajna je i iz ekoloških razloga.

Čak i kada se ne koristi za dobijanje toplotne ili električne energije, deponijski gas se mora propisno odložiti i prečistiti, jer sadrži opasne zapaljive materije, od kojih mnoge stvaraju smog. Biogasni digestori koriste biorazgradive materije, od kojih se dobijaju dva korisna proizvoda: biogas i fermentisano biođubrivo vrhunskog kvaliteta. Biogas prečišćen do nivoa čistoće za gasovod naziva se obnovljivi prirodni gas i moguće ga je koristiti u svakoj primeni u kojoj se inače koristi zemni gas. To uključuje distribuciju takvog gasa putem gasovoda, proizvodnju struje, grejanje, zagrevanje vode i upotrebu u raznim tehnološkim procesima. Kompresovan, biogas može da se koristi i kao pogonsko gorivo za vozila.

CENTRALNO POSTROJENJE ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA (CPPOV) ZA GRAD KRAGUJEVAC – CVETOJEVAC

Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda grada Kragujevca nalazi se u blizini sela Cvetojevac, na levoj obali reke Lepenice i udaljeno je od grada oko 10 km. Postrojenje je projektovano za 250 000 ES (ekvivalentnih stanovnika) a instalirani kapacitet je 125 000 ES. Postrojenje je sa radom počelo 1991. godine. Procesu unutar CPPOV Kragujevac se mogu podeliti na preliminarne procese, primarni i sekundarni tretman, kao i na niz procesa za kompletan tretman mulja. Tretman mulja obuhvata primarno ugušćivanje, anaerobnu digestiju, sekundarno ugušćivanje i obezvodnjavanje mulja na trakastim filter-presama. Trenutni protok iznosi 400 l/s – 500 l/s, a kapacitet postrojenja je 1504 l/s.

Digestori (trulište). Anaerobna digestija je višestepeni biohemijski proces koji se primenjuje na više različitih tipova organskih materija. Digestija mulja se izvodi u tri stepena. U prvom stepenu, čvrsti organski kompleksi, celuloza, proteini, masti, razlažu se na isparljive organske kiseline, alkohole, CO i amonijak. Ovaj proces se odvija pod dejstvom enzima. U drugom stepenu, proizvodi iz prvog stepena prevode se u acetatske kiseline, proteinske kiseline, vodonik, CO₂ i ostale nisko molekulske organske kiseline. U trećem stepenu deluju dve grupe metanskih bakterija. Jedna grupa pretvara vodonik i CO₂ u metan. Druga grupa pretvara acetate u metan i bikarbonate. Obe grupe bakterija su anaerobne i to je jedan od razloga zašto se zatvoreni digestori koriste u stabilizaciji mulja.

U digestoru je potrebno održavati temperaturu konstantnom, odnosno, dozvoliti variranje od najviše 1°C. Mikroorganizmi su veoma osetljivi na promenu temperature. Rastu brže na visokoj temperaturi. Brži rast uslovljava više mulja koji je potrebno ukloniti, dok se istovremeno obezbeđuje uvođenje mikroorganizama za obavljanje osnovne operacije. Anaerobna muljna digestija uglavnom se izvodi u mezofilnom odnosu (35°C). Operacija u termofilnom odnosu (58°C) je moguća, ali je mnogo ređa. Glavna hrana mikroorganizama za anaerobnu digestiju su fosfor i azot. Ovi elementi su građivni materijal ćelije mikroorganizama odgovornih za stabilizaciju mulja.



Slika 1. Digestori CPPOV Kragujevac

Projektovana zapremina digestora CPPOV Kragujevac je 8000 m^3 , i to dva identična digestora (slika 1) od po 4000 m^3 . Projektovani temperaturni opseg u digestorima je $34\text{--}37^\circ\text{C}$.

Formiranje gasa. Anaerobnim procesom prečišćavanja otpadnih voda vrši se razlaganje organske materije u odsustvu molekula kiseonika. Ukoliko se proces vodi pravilno, obrazuje se gas koji se može koristiti za proizvodnju energije u gas generatorima. Ukupna količina gasa koji se proizvede procenjuje se na osnovu količine čvrstih materija koje se razlože. Produkcija gasa direktno je povezana sa stepenom digestije i karakteristikama sirovog mulja i funkcija je načina vođenja procesa.

Prednost anaerobne digestije u odnosu na druge metode stabilizacije mulja je što se kao sporedni proizvod dobija gas sa visokom kalorijskom vrednošću.

U digestorima se skuplja biogas a potom odvodi u rezervoar za gas. Biogas je smeša gasova i sastoji se (u zapreminskim %) od 65-70 % metana (CH_4), 25-30 % ugljen dioksida (CO_2) i male količine azota, vodonika, vodonik sulfida i kiseonika.

ENERGETSKI POTENCIJAL ORGANSKOG OTPADA IZ KLANICA

Budući da se biogas proizvodi tamo gde se organski materijal razgrađuje bez vazduha, postoji širok spektar organskih materija koje su pogodne za anaerobnu razgradnju. Neke od tih materija su: tečno i čvrsto stajsko đubrivo, posebno prikupljan biološki otpad iz stambenih delova, obnovljivi materijali (npr. kukuruzna silaža, semenke koje se ne koriste za ishranu, itd.), mulj iz kanalizacije i masti, korišćeni podmazivači, trava, biološki otpad iz: klanica, pivara, destilerija, prerade voća i proizvodnje vina, mleکارa, industrije celuloze, šećerana itd.

Sa toplotnom vrednošću od $6,5 \text{ kWh/Nm}^3$, jedan kubni metar biogasa sadrži približno istu količinu energije kao 0,6 litara lož-ulja, ili $0,65 \text{ Nm}^3$ prirodnog gasa. U tabeli 1 dat je pregled zapremina biogasa u Nm^3 po toni (Δ) tečnog materijala.

Tabela 1. Zapremina biogasa u Nm^3 po toni tečnog materijala

MATERIJAL	Zapremina biogasa u Nm^3 po toni tečnog materijala	MATERIJAL	Zapremina biogasa u Nm^3 po toni tečnog materijala
Biološki otpad	100 - 200	Destilerija	20
Otpad iz hrane	120 - 150	Mlečna surutka	25
Mast iz kolektora	80 - 150	Otpad iz klanica	100
Korišćeno ulje, mast	1000	Tečni otpad, balega	20 - 70

Tabela 2 daje spisak klanica koje gravitiraju Centralnom postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda u Cvetovcu – Kragujevac.

Tabela 2. Spisak klanica koje gravitiraju CPPOV Kragujevac

Br.	Naziv firme	Količina klaničnog otpada mesečno, t	Udaljenost od postrojenja u Cvetovcu, km
1.	Klanica i prerada mesa Budućnost	9	10
2.	Klanica Plana	15	35
3.	Takovo Klanica	8	50
4.	DB Šumadinka-RJ Klanica	5	18
5.	Klanica Kraljevo	17	65
6.	Klanica Bubac	12	65
7.	D.O.O. Kotlenik promet	14	60
	Σ	80	

Grad Kragujevac sa oko 200 000 stanovnika sa svojom bližom okolinom predstavlja značajan potrošački potencijal proizvoda klanične industrije. Deo kapaciteta klanične industrije ovog regiona predstavljen je u tabeli 2. U istoj tabeli navedeni su i podaci od značaja za analizu energetskog potencijala organskog otpada iz klanica u okolini Kragujevca. Iz podatka o sumi mesečne količine klaničnog otpada može se zaključiti da bi, na godišnjem nivou, količina ove vrste otpada bila oko 1000 t. Uzimajući u obzir i nemogućnost registrovanja svih klaničnih postrojenja na teritoriji od interesa za ovu analizu, kao i mogućnost da su realni podaci o količini otpada iz anketiranih klanica i nešto veći, zaključuje se da ukupan raspoloživi klanični otpad sa ove teritorije značajno prelazi datu sumu. U tabeli 2 u poslednjoj koloni data su i rastojanja ovih postrojenja od CPPOV Kragujevac.

Na osnovu podatka iz tabele 1 konačno se može zaključiti da su ukupni potencijali u proizvodnji biogasa ovog postrojenja, korišćenjem klaničnog otpada, preko 100 000 Nm³ godišnje. Energetski efekti ove količine biogasa bili bi blizu 200 000 kW/god i oko 0,4 MW toplotne energije godišnje. Pored toga, konačni proizvod prerade bioloških otpada je produkt koji sadrži oko 50 % prvobitne količine organske materije, optimalne PH vrednosti. Zato je pogodno da se ovaj produkt upotrebljava kao đubrivo u poljoprivredi.

KORIŠĆENJE OTPADA OD HRANE IZ RESTORANA ZA PROIZVODNJU BIOGASA

Kragujevac, sa svojom okolinom, ima dobar potencijal u pogledu proizvodnje biogasa obzirom na velike količine otpadnih voda. Jedan od osnovnih sadržaja otpadnih voda je tzv. prirodni otpad koji spada i u kategoriju organskog otpada. Veliki broj hotela, restorana i drugih ugostiteljskih objekata, dva velika studentska doma, internat za đake, ustanove za decu i brojni drugi objekti slične namene, predstavljaju značajan izvor prirodnog otpada, prvenstveno onog koji se odnosi na ostatke hrane.

U tabeli 3 je dat pregled dnevne količine otpada u kilogramima, iz restorana u široj okolini Kragujevca. Opština Čačak, zbog svog položaja, tj. blizine Ibarske magistrale i magistralnog puta prema Jadranskom moru, i velikog broja ugostiteljskih objekata, ima znatno veću prosečnu količinu otpada iz hrane od ostalih opština sa približno istim brojem stanovnika.

Tabela 3. Dnevne količine otpada u *kg*, iz restorana u široj okolini Kragujevca

Opština	Količina otpada, <i>kg</i>	Udaljenost od postrojenja u Cvetovjevcu, <i>km</i>	Opština	Količina otpada, <i>kg</i>	Udaljenost od postrojenja u Cvetovjevcu, <i>km</i>
Kragujevac	1000	10	Arandjelovac	130	61
Kraljevo	300	65	Rača Kragujevačka	50	32
Čačak	400	65	Knić	40	32
Topola	80	47	Jagodina	250	42
Batočina	120	15	Ćuprija	180	53
Lapovo	100	18	Paraćin	180	61
Svilajnac	80	32	Rekovac	80	34
Smederevska Palanka	120	49	Gornji Milanovac	200	50
Σ				3310	

Podaci su dobijeni biranjem slučajnih uzoraka restorana u Kragujevcu i sumiranjem količine otpada, u skladu sa kapacitetom samih restorana. Potom je, metodom sličnosti i proporcije izvršena preliminarna analiza količine otpada iz hrane i dobijeni su rezultati za navedena mesta u okolini Kragujevca. Iz podatka o sumi dnevne količine od 3310 *kg* ovog otpada može se zaključiti da bi na godišnjem nivou, količina ove vrste otpada bila oko 1200 *t*. Konačno, prema tabeli 1, zaključuje se da bi ukupni potencijali u proizvodnji biogasa ovog postrojenja, korišćenjem otpada iz hrane, iznosili 144 000-180 000 *Nm³* godišnje. Iz ove količine biogasa moglo bi se dobiti preko 300 000 *kW/god* i oko 0,6 *MW* toplotne energije godišnje.

MOGUĆNOST KORIŠĆENJA OTPADNIH VODA IZ PROCESA GALVANIZACIJE

Otpadne vode iz procesa galvanizacije metala predstavljaju pretnju životnoj sredini i potrebno ih je odgovarajućim postupcima tretirati pre njihovog ispuštanja u vodotokove. Postoji mogućnost korišćenja ovih otpadnih voda za prečišćavanje biogasa, koji nastaje kao nusproizvod procesa prečišćavanja otpadnih voda, čime se dobija biogas znatno boljih karakteristika. U zavisnosti od uslova primene, potrebno je da se biogas prečišćava od komponenata kao što su: voda, ugljen dioksid i vodonik sulfid.

Voda se odstranjuje bez obzira na dalju primenu biogasa, jer predstavlja smetnju za skladištenje u rezervoarima pod visokim pritiskom.

Ugljen dioksid se izdvaja iz biogasa kada je potrebno dobiti gas veće toplotne moći.

Vlaga se iz biogasa izdvaja na kraju linije prečišćavanja, jer se u procesu prečišćavanja mokrim postupkom pojavljuje dodatna vlaga.

Vodonik sulfid se odstranjuje u slučaju primene biogasa u motorima SUS, a nužno je da mu se smanji sadržaj u slučaju primene u gasnim kotlovima. Pošto je odstranjivanje vodonik sulfida u potpunosti veoma skupo, prihvatljivo je da ga u biogasu ima do 1,1 *g/m³*, što je maksimalno dozvoljena koncentracija kada se njegova korozivna svojstva još ne ispoljavaju. Odvaja se na više načina po suvom ili mokrom postupku.

Suvi postupak se odvija provođenjem biogasa kroz aparat ispunjen oksidom gvožđa, sa kojim on formira gvožđe sulfid. Gvožđe sulfid se regeneriše produvavanjem zagrejanog vazduha. Mokri postupak se zasniva na rastvorljivosti vodonik sulfida u vodi,

IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“ (IV SRTOR)

odnosno odvija se tako što se biogas provodi kroz ovlaživače (tuševe) ili vodenu zapreku. Ako se biogas provodi kroz zapreku vode koja je korišćena u procesu galvanizacije metala, efekti prečišćavanja od vodonik sulfida su znatno izraženiji. Naime, propuštanjem biogasa kroz otpadnu vodu, vodonik sulfid iz biogasa reaguje sa metalima iz vode, razgrađuje se praveći metalne sulfate, kao što su na primer: olovo sulfid PbS, živa sulfid HgS, gvožđe sulfid FeS itd.

Zato se u radu i pristupilo sagledavanju brojnosti i kapaciteta postrojenja za galvanizaciju metala u okolini grada Kragujevca. U tabeli 4 dat je spisak firmi koje se bave galvanizacijom metala a koje gravitiraju centralnom postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda u Cvetojevcu – Kragujevac.

Tabela 4. Spisak firmi koje gravitiraju CPPOV Kragujevac

Br.	Naziv firme	Količina otpada mesečno, m ³	Udaljenost od postrojenja u Cvetojevcu, km
1.	Zastava	200*	10
2.	Tehnički remontni zavod Kragujevac	5	15
3.	Galva	5	10
4.	Hellas centar DOO	0,4	10
5.	Zastava autodelovi Knić	18	32
6.	Metalfiniš	42	42
7.	Tehnički remontni zavod Čačak	880	62
8.	Sjaj, Radionica za galvansku i hemijsku obradu	500	65
9.	Kapital DMK Galvanska zaštita metala i nemetala	3900**	65
10.	Metal-cinkara	30-50	53

* Ukupna količina uskladištene otpadne vode;

** Količina vode iz procesa ispiranja

Čitav metalni kompleks, pa i firme čija je osnovna delatnost galvanizacija metala, su poslednjih godina bili pred teškim zadatkom - da posluju sa pozitivnim saldom u nepovoljnom ekonomskom okruženju a da istovremeno zadovolje veoma stroge zahteve Pravilnika o kvalitetu otpadnih voda i načinu njihovog ispuštanja u javnu kanalizaciju i prirodni recipijent (površinske i podzemne vode). Otpadne vode koje se ispuštaju u javnu kanalizaciju, na osnovu člana 3 navedenog Pravilnika, između ostalog, nikako ne smeju da sadrže:

- štetne gasove (vodonik sulfid, sumporni oksid, azotne okside, cijanovodonik, hlor i sl.);
- kisele, alkalne i agresivne materije i sl.

Pomenuti Pravilnik u članu 4 definiše maksimalno dopuštene koncentracije opasnih i štetnih materija u otpadnim vodama koje se smeju ispuštati u javnu kanalizaciju, a članom 5 definisane su maksimalne dopuštene koncentracije opasnih i štetnih materija u otpadnim vodama koje se smeju ispuštati u recipijent.

Anketirane firme, navedene u tabeli 4, pridržavaju se zakonskih propisa, bilo da je reč o ispuštanju otpadnih voda u kanalizaciju ili u recipijent. Tako na primer, otpadna voda se prvo prečišćava u sopstvenim kolektorima i tek kada zadovolji postavljene kriterijume, prečišćena, ispušta se u recipijent ili kanalizaciju. Takav način tretiranja otpadnih voda opterećuje poslovanje ovih firmi, uslovljavajući određena finansijska ulaganja. Zato sama ideja o mogućnosti korišćenja neprečišćenih otpadnih voda iz galvanizacije za prečišćavanje biogasa koji nastaje u CPPOV Kragujevac ne samo da je ostvariva, već bi ceo postupak bio i finansijski isplativ za obe strane. Pri tome je neophodno da se uzmu u obzir:

IV Simpozijum „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“ (IV SRTOR)

- udaljenost firme od CPPOV Kragujevac (troškovi transporta otpadne vode),
- troškovi koji se javljaju pri prečišćavanju biogasa u CPPOV Kragujevac,
- ušteda u firmama za galvanizaciju za stavku prečišćavanja otpadne vode u sopstvenim postrojenjima,
- dobijanje biogasa znatno boljih karakteristika uvećalo bi CPPOV Kragujevac prihode od proizvedene električne energije u gasnim motorima i dobijene vrele vode kao nus proizvoda, koja se sada koristi samo za potrebe održavanja procesa i grejanja prostorija.

ZAKLJUČAK

Proces dobijanja biogasa korišćenjem biorazgradivih otpadnih materija postaje sve popularniji, jer omogućava prikladan način pretvaranja otpada u električnu ili toplotnu energiju, čime se smanjuje i količina otpada, kao i broj patogenih supstanci koje se nalaze u otpadu. U radu je pokazano da količine otpada klanične industrije i prirodnog otpada iz restorana sa teritorije koja gravitira CPPOV Kragujevac predstavljaju značajan potencijal za proizvodnju biogasa. Ukazano je i na višestruko korisnu mogućnost iskorišćenja otpadnih voda iz procesa galvanizacije metala. Korišćenjem ovih otpadnih materija bi se značajno unapredila energetska i ekološka efikasnost pomenutog postrojenja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je nastao kao rezultat rada na projektu br. 18027 iz oblasti tehnološkog razvoja „Unapređenje energetske i ekološke efikasnosti centralnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda za grad Kragujevac – Cvetojevac“. Istraživačke aktivnosti na ovom projektu finansiralo je Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije. Zahvaljujemo se i ljubaznom osoblju navedenih klaničnih postrojenja, restorana i firmi koje se bave galvanizacijom metala na predocnim podacima od interesa za ovu analizu.

LITERATURA

1. Saev M., Koumanova, B. Simeonov I., Anaerobic co-digestion of wasted vegetables and activated sludge, Biotechnol. & biotechnol. Eq., Vol. 23 (2009).
2. Anhuradha S., Vijayagopal V., Radha P., Ramanujam R. Clean-Soil, Air, Water, Vol. 35 (2007), 197-199.
3. Dinsdale R., Premier G., Hawkes F., Hawkes D., Bioresource Technology, Vol. 72 (2000), 159-168.
4. Pravilnik o kavalitetu otpadnih voda i načinu njihovog ispuštanja u javnu kanalizaciju i prirodni recipijent, "Sl. list SCG", br. 10/97, 21/97.