

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.
13th INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM ZAGREB 2014.

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.

13th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WASTE MANAGEMENT ZAGREB 2014

.....

6. – 7.11.2014.



ZCGO
ZAGREB
ZAGREB
ZAGREB

HUG

ISWA
International Solid Waste Association



CO₂cut



ISBN 978-953-8066-00-9

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.
13th INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM ZAGREB 2014.

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.
Zagreb, Hrvatska 6. - 7. 11. 2014.

ZBORNIK RADOVA

(ELEKTRONIČKA PUBLIKACIJA)

Zagreb, ožujak 2015.

Nakladnik:

Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Za nakladnika:

doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić

Glavni urednik:

doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić

Tehničko uređenje:

Jasmina Tolj

ISBN 978-953-8066-00-9

Nacionalna i sveučilišna knjižnica Zagreb

Organizator / Organizers:

Grad Zagreb

City of Zagreb

Zagrebački centar za gospodarenje otpadom d.o.o.

Zagreb Waste Management Center Ltd.

Hrvatska udruga za gospodarenje otpadom (HUGO)

Croatian Association for Waste Management

Međunarodna organizacija za kruti otpad (ISWA)

International Solid Waste Association (ISWA)

Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Faculty of Geotechnical Engineering University of Zagreb

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti – Razred za prirodne znanosti

Croatian Academy of Science and Arts – Department of Natural Science

Pokrovitelji / Patrons

Predsjednik Republike Hrvatske

President of the Republic of Croatia

Ministarstvo zaštite okoliša i prirode

Ministry of Environmental and Nature Protection

Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost

Environmental Protection and Energy Efficiency Fund

Agencija za zaštitu okoliša

Croatian Environment Agency

Zahvaljujemo / We thank

svima koji su pomogli održavanju XIII. međunarodnog simpozija, a posebno:

to all those who helped organizing the 13th International Symposium, in particular:

Platinastom sponzoru / Platinum sponsor

O-K-TEH d.o.o.



Zlatnom spozoru / Golden sponsor

Gradatin d.o.o.



Srebrim sponzorima / Silver sponsors

EURCO d.d.



Oikon d.o.o. – Institut za primijenjenu ekologiju



Spectra media d.o.o.



HEP d.d.



Cemex Hrvatska d.d.



Brončanim sponzorima / Bronze sponsors

Agroproteinka d.d.



Dvokut Ecro d.o.o.



NAUE



Kova d.o.o.



Teknoxgroup Hrvatska d.o.o.



Flora Vtc d.o.o.



Ostalim sponzorima / Other sponsors

Lavazza



CILJ SIMPOZIJA

Razmjena iskustava i prezentacija znanstveno-istraživačkog i stručnog rada u području gospodarenja otpadom, tradicionalno će se odvijati na XIII. međunarodnom simpoziju gospodarenja otpadom Zagreb 2014. I ove se godine Simpozij organizira kako bi se proširila znanja i razmijenila iskustva različitih sudionika sustava gospodarenja otpadom te tako doprinijelo unapređenju svih segmenata gospodarenja otpadom. Domaći i međunarodni znanstvenici, stručnjaci, gospodarstvenici i predstavnici lokalne samouprave okupit će se s ciljem definiranja što kvalitetnije platforme za donošenje odluka u pojedinim komponentama gospodarenja otpadom, kako na razini države, regionalne i lokalne samouprave, tako i na razini gospodarskih subjekata. Ulaskom Republike Hrvatske u Europsku uniju počeli su teći rokovi za ostvarenje pojedinih ciljeva u području gospodarenja otpadom, a za njihovo postizanje nužna je suradnja svih navedenih sudionika što je ujedno i svrha ovog simpozija. Simpozij će omogućiti primjenu novih znanstvenih spoznaja u sektoru gospodarenja otpadom, pogotovo na području iskorištavanja vrijednih sastojaka otpada u materijalne i energetske svrhe. Tijekom Simpozija također će se prikazati najnovije znanstvene i stručne spoznaje predavanja stručnjaka i znanstvenika iz Međunarodne organizacije za gospodarenje otpadom (International Solid Waste Association) i susjednih zemalja.

SYMPOSIUM GOAL

The exchange of experiences and presentation of scientific research and expert practices in the field of waste management will traditionally be in the focus of the 13th International Symposium on Waste Management Zagreb 2014. As in the past years, the Symposium is organized in order to extend knowledge and share experiences of different participants in the waste management system and thus contribute to the improvement of all aspects of the waste management system. National and international scientists, experts, businesses and regional and local authorities will gather with an aim of defining the quality platform for decision making in particular waste management components at national and regional/local level as well as at level of companies. As a new member of European Union, the Republic of Croatia should meet the agreed deadlines for realization of waste management objectives. These objectives can only be accomplished in co-operation of all stakeholders and the Symposium aims at fostering this co-operation. Furthermore, the Symposium will enable the implementation of new scientific conceptions in the field of waste management, particularly in the exploitation of material and energy recovery from waste. The Symposium will cover latest scientific and technical achievements in the field of waste management through lectures of experts and scientists from ISWA (International Solid Waste Association) and neighboring countries

TEME SIMPOZIJA

1. Aktualno stanje gospodarenja otpadom RH, perspektiva i mogućnosti ostvarivanja postavljenih ciljeva
2. Europska iskustva u gospodarenju otpadom
3. Mogućnosti materijalne i energetske oporabe otpada
4. Gospodarenje otpadom kao gospodarska aktivnost
5. Suradnja znanosti i gospodarstva u službi gospodarenja otpadom
6. Komunikacijski aspekti gospodarenja otpadom

SYMPOSIUM THEMES

1. Current waste management situation in the Republic of Croatia, chances and opportunities for realization of objectives
2. European experiences in waste management
3. Possibilities for material and energy recovery from waste
4. Waste management as economic activity
5. Co-operation between science and business at service of waste management
6. Communication aspects of waste management

PROGRAMSKO-ORGANIZACIJSKI ODBOR

doc. dr. sc. Sandra Tucak Zorić; doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić; doc. dr. sc. Sanja Kalambura; Dino Perović, dipl. ing.; Nevenka Preradović, prof. mr. sc.; Andreja Pavlović, mag. nov.; akademik Ivan Gušić, prof. dr. sc.; Goran Pašalić, dipl. ing.; Renato Šarc, dipl. ing.; mr. sc. Dalibor Hatić, dipl. ing.; Danko Fundurulja, dipl. ing.; Nives Jovičić, dipl. ing.; Ivana Melnjak, dipl. ing.; doc. dr. sc. Mario Šiljeg; doc. dr. sc. Igor Petrović; doc. dr. sc. Dinko Vujević; mr. sc. Vitomir Premur.

ORGANIZING COMMITTEE

Sandra Tucak Zorić, Ph.D.; Aleksandra Anić Vučinić, Ph.D.; Sanja Kalambura, Ph.D.; Dino Perović, B.Sc.; Nevenka Preradović, B.Sc.; Andreja Pavlović, M.A.; Ivan Gušić, Ph.D.; Goran Pašalić, B.Sc.; Renato Šarc, B.Sc.; Dalibor Hatić, M.Sc.; Danko Fundurulja, B.Sc.; Nives Jovičić, B.Sc.; Ivana Melnjak, B.Sc.; Mario Šiljeg, Ph.D.; Igor Petrović, Ph.D.; Dinko Vujević, Ph.D.; Vitomir Premur, M.Sc.;

ZNANSTVENO-ORGANIZACIJSKI ODBOR

doc. dr. sc. Sandra Tucak Zorić, Sveučilište u Osijeku (Republika Hrvatska)
doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić, Sveučilište u Zagrebu (Republika Hrvatska)
doc. dr. sc. Sanja Kalambura, Veleučilište Velika Gorica (Republika Hrvatska)
prof. dr. sc. Nevenko Herceg, Sveučilište u Mostaru (Bosna i Hercegovina)
prof. dr. sc. Nataša Zabukovec Logar, Kemijski institut Ljubljana (Republika Slovenija)
doc. dr. sc. Mirna Habuda Stanić, Sveučilište u Osijeku (Republika Hrvatska)
prof. dr. sc. Jože Kortnik, Sveučilište u Ljubljani (Republika Slovenija)
prof. dr. sc. Goran Vujić, Sveučilište u Novom Sadu (Republika Srbija)
prof. dr. sc. Gordana Stefanović, Sveučilište u Nišu (Republika Srbija)
doc. dr. sc. Mario Šiljeg, Sveučilište u Zagrebu (Republika Hrvatska)
doc. dr. sc. Dinko Vujević, Sveučilište u Zagrebu (Republika Hrvatska)
doc. dr. sc. Igor Petrović, Sveučilište u Zagrebu (Republika Hrvatska)
prof. dr. sc. Roland Pomberger, Sveučilište u Leobenu (Austrija)
prof. dr. sc. Natasha Markovska, Makedonska akademija znanosti i umjetnosti (Makedonija)
prof. dr. sc. Ivan Gušić, akademik, Sveučilište u Zagrebu (Republika Hrvatska)
prof. dr. sc. Domagoj Đikić, Sveučilište u Zagrebu (Republika Hrvatska)

SCIENTIFIC COMMITTEE

Sandra Tucak Zorić, Ph.D., University of Osijek (Republic of Croatia)
Aleksandra Anić Vučinić, Ph.D., University of Zagreb (Republic of Croatia)
Sanja Kalambura, Ph.D., University of Applied Sciences Velika Gorica (Republic of Croatia)
Nevenko Herceg, Ph.D., University of Mostar (Bosnia and Herzegovina)
Nataša Zabukovec Logar, Ph.D., National Institute of Chemistry (Republic of Slovenia)
Mirna Habuda Stanić, Ph.D., University of Osijek (Republic of Croatia)
Jože Kortnik, Ph.D., University of Ljubljana (Republic of Slovenia)
Goran Vujić, Ph.D., University of Novi Sad (Republic of Serbia)
Gordana Stefanović, Ph.D., University of Niš (Republic of Serbia)
Mario Šiljeg, Ph.D., University of Zagreb (Republic of Croatia)
Dinko Vujević, Ph.D., University of Zagreb (Republic of Croatia)
Igor Petrović, Ph.D., University of Zagreb (Republic of Croatia)
Roland Pomberger, Ph.D., University of Leoben (Austria)
Natasha Markovska, Ph.D., Macedonian Academy of Sciences and Arts (Macedonia)
Ivan Gušić, Ph.D., University of Zagreb (Republic of Croatia)
Domagoj Đikić, Ph.D., University of Zagreb (Republic of Croatia)

Kontakt adresa / Contact adress

Hrvatska udruga za gospodarenje otpadom /Croatian Waste Management Associatio

Babonićeva 32, 10000 Zagreb

Tel: +385 18895274; Mob: +385 989830917

E-mail: info@hugo.com.hr

Web adresa: www.hugo.com.hr

SADRŽAJ / TABLE OF CONTENTS

ANALIZA ODABIRA TEHNOLOGIJA ZA INFektivNI MEDICINSKI OTPAD U REPUBLICI SRPSKOJ	16
Technology Selection Analysis for Infectious Medical Waste in The Republic of Srpska	
Doc. dr. Slobodanka Pavlović ^{1*} ; Željko Aleksić, dipl. ekol. ²	
ANALIZA OSTVARENJA POSTAVLJENIH CILJEVA ZA ODLAGALIŠTA OTPADA	23
Analysis of the Achievement of the Proscribed Targets for Landfills	
Predrag Korica, univ. spec. aliment. techn., struč. spec. ing. sec., struč. spec. cin. ^{1*} ; prof. dr. sc. Neven Voća ¹ ; dr. sc. Savka Kučar Dragičević ¹ ; Jasna Kuftrin, dipl. ing. ¹ ; Đurđica Požgaj, univ. spec. oecoin. ¹	
PRIMJENA INTEGRIRANIH TEHNOLOGIJA ZA SMANJENJE OTPADA, UŠTEDU ENERGIJE I SMANJENJE EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA U POLJOPRIVREDNO-PREHRAMBENOM SEKTORU.....	34
Application of Integrated Technologies for Waste Minimization, Energy Saving and Greenhouse Gases Emission Reduction in Agro-Food Sector	
dr. Andrea Hublin ^{1*} ; doc. dr. Mirjana Čurlin ^{2*}	
BAZA PODATAKA O OTPADU I PROVOĐENJE PRAVILNIKA O UPRAVLJANJU POSEBNIM KATEGORIJAMA OTPADA U FBIH.....	45
Database on Waste and Enforcement of Regulations of the Management of Specific Waste Stream in FBIH	
doc. dr. sc. Amra Serdarević, dipl.inž.građ. ^{1*} ; Indira Sulejmanagić, dipl.inž.građ. ^{2*}	
PRAĆENJE I UKUPNI SADRŽAJ METALA U MULJU S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U VELIKOJ GORICI, HRVATSKA	55
Monitoring and Total Metal Concentrations in Wastewater Sludges from The Wastewater Treatment Plant in Velika Gorica, Croatia	
Josip Filipović, dipl. ing. geol. ^{1*}	55
Doprinos Korištenja Komine U Smanjenju Emisije Stakleničkih Plinova	66
Contribution to the Usage of Pomace in Greenhouse Gases Reduction	
mr. sc. Merica Pletikosić ¹ *	
EDUCIRANOST STUDENTSKE POPULACIJE U PODRUČJU GOSPODARENJA OTPADOM	73
Education Level of Student Population in The Field of Waste Management	
doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić ^{1*} ; Jasmina Tolj, mag. ing. rud. ² ; Ivana Melnjak, mag. ing. geoin. ¹ ; Lana Fundurulja, mag. ing. geol. ² ; Imelda Pavelić, mag. ing.agr. ¹	
EE/OIE UZ HUMAN TRETMAN OTPADA BEZ DEPONIRANJA/ODLAGANJA	84
EE/RES to Human Waste Treatment Without the Disposal	
akademik Vlatko Doleček ^{1*} ; Tomislav Grizelj ^{2*} ; mr. sc. Jasmina H. Bajramović, dipl. san. ing. ^{3*}	84

GEOFIZIČKO - GEOTEHNIČKO ISTRAŽIVANJE ODLAGALIŠTA OTPADA	91
Geophysical - Geotechnical Landfill Site Investigations	
izv. prof. dr. sc. Stjepan Strelec, dipl. ing.rud.* ¹ ; dr. sc. Mario Gazdek, dipl. ing. geot. ¹ ; Kristijan Grabar, dipl. ing. geot.* ² ; mr. sc. Miljenko Špiranec, dipl. ing. geot. ² ; Davor Stanko, mag. phys. ¹ ; Jasmin Jug, dipl. ing. geot. ¹	
GOSPODARENJE OTPADOM U RH (2014. GOD)	106
Waste Management in The Republic Of Croatia (2014)	
Danko Fundurulja, dipl. ing. građ.* ¹ ; Jakov Burazin, mag. ing. aedif.* ¹ ; Sanja Grabar, mr. sc. dipl. ing. kem.* ¹	
GOSPODARENJE KRUTIM KOMUNALNIM OTPADOM U ZEMLJAMA EUROPSKE UNIJE	118
Municipal Solid Waste Management in EU Countries	
doc. dr. sc. Anita Ptiček Siročić; dipl. ing.kem.teh ^{1*} ; Ana Dundović, dipl. ing. geoteh. univ. spec. oecoing ² ; prof. dr. sc. Zlata Hrnjak-Murgić, dipl. ing. kem. teh. ³ ; dr. sc. Jelena Loborec, dipl. ing. geoteh. ¹	
GOSPODARENJE MATERIJALOM OD ISKOPA	128
Management of Excavated Material	
Dražen Lovrić dipl. ing. ^{1*} , univ. spec. oecoing.; mr. sc. Kažimir Vrankić ¹	
ISKUSTVA U PRIMJENI IED (IPPC) DIREKTIVE U HRVATSKOJ NA POSTROJENJIMA ZA OBRADU OTPADA	137
The Last Experiences in Implementation of Ied (IPPC) Directive in Croatia on Examples of Waste Treatment Industries	
mr. sc. Siniša Štambuk ^{1*} , dr. sc. Damir Rumenjak ¹	
ISTRAŽIVANJE NAVIKA I SPOZNAJA O ODVOJENOM PRIKUPLJANJU OTPADA	146
Analysis of the Habits and Knowledge About the Separate Waste Collection	
dr. sc. Sanja Kalambura ¹ ; Marko Toth, prof. ¹ ; Nives Jovičić, struč.spec.ing.admin.chris. ^{1*}	
JAVNO PODUZEĆE SNAGA LJUBLJANA: KOMUNIKACIJA S KORISNICIMA, MEDIJIMA I DRUGOM JAVNOŠĆU	159
Public Company Snaga: Effective Communication with Users, Media and Other Public	
Nina Sankovič ^{1*}	
MODELI ZA MJERENJE PREVENCIJE OTPADA	167
Models for Measuring Prevention of Waste	
Predrag Korica, univ. spec. aliment. techn., struč. spec. ing. sec., struč. spec. cin.* ¹ ; Natalija Golubovac, dipl. ing. ¹	
MOGUĆNOST PRIMJENE OTPADNOG STAKLA U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI	176
Possibilities of Application of Waste Glass in Construction Industry	
doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić ^{1*} ; mr. sc. Snježana Šimunić ² ; mr.sc. Sandra Bučan ² ; Ivana Melnjak, mag. ing. geoling. ¹	

MOGUĆNOSTI MATERIJALNE OPORABE AMBALAŽE OD PLASTIKE	182
Recovery Potential of Plastic Packaging	
doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić ¹ ; doc. dr. sc. Dinko Vujević ^{1*} ; doc. dr. sc. Anita Ptiček Siročić ¹ ; Zvonko Bede ,dipl. ing. ² ; Evica Špoljarić dipl. iur. ² ; Ivana Melnjak, mag. ing. geoling. ¹	
MOGUĆNOSTI ENERGETSKE OPORABE ANAEROBNO BIORAZGRADIVE KOMPONENTE KOMUNALNOG OTPADA NA PROSTORU ZAGREBAČKE ŽUPANIJE	197
The Possibilities for Energy Recovery from Anaerobically Biodegradable Component of Municipal Waste in Zagreb County Area	
dr. sc. Marin Miletić dipl. ing. biol.* ¹ ; Nikola Karadža dipl. ing. str. ¹ ; msc. Željka Fištrek dipl. ing. biol. ¹	
MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE ENERGIJE IZ OTPADA	205
Energy from Waste	
Goran Mijić, dipl.ing ^{1*} ; mr. sc. Dragutin Guzovski ²	
NUMERIČKO MODELIRANJE TRIAKSIJALNOG POKUSA PROVEDENOG NA UZORKU KRUTOG KOMUNALNOG OTPADA	218
Numerical Modeling of Triaxial Test Conducted on a Municipal Solid Waste Sample	
doc. dr. sc. Igor Petrović* ¹	
OBRADA PROCJEDNIH VODA BILJNIM UREĐAJEM U LABORATORIJSKOM MJERILU	224
Treatment of Leachate Water by the Pilot-Scale Constructed Wetland	
doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić. ¹ ; doc. dr. sc. Dinko Vujević* ¹ ; mr. sc. Vitomir Premur* ¹ ; Ivana Melnjak, mag. ing. geoling. ¹	
PERSPEKTIVA I POTENCIJAL KORIŠTENJA KULTURE MISCANTHUS X GIGANTEUS U REPUBLICI HRVATSKOJ	235
Perspective and Potential Use of Miscanthus X Giganteus Culture in The Republic Of Croatia	
Nikola Bilandžija, dipl. ing. agr.* ¹	
PRIMJENA RAZLIČITIH REAKTORSKIH SUSTAVA ZA BIOLOŠKU OBRADU OTPADNIH RAFINERIJSKIH TOKOVA	244
The Use of Different Reactor Systems for Biological Treatment of Waste Refinery Streams	
doc. dr. sc. Lucija Foglar ^{1*} ; Dunja Margeta*; prof. dr. sc. Sanja Papić ^{1*} ; dr. sc. Ivana Grčić, viši asistent* ¹ ; prof. dr. sc. Katica Sertić-Bionda* ¹	
PROCJENA GENERIRANJA KOMUNALNOG OTPADA PRIMJENOM NEURONSKIH MREŽA	254
Estimation of Municipal Waste Generation Using Neural Networks	
Bojan Ribić, dipl.ing * ¹ ; dr. sc. Nenad Bolf, izv.prof. ² ; dr. sc. Dinko Sinčić, znanstveni savjetnik ²	
PROCJENA UTJECAJA TRENUTAČOG GOSPODARENJA KOMUNALNIM KRUTIM OTPADOM NA DEPONIJU U BANALUCI SA PREPORUKAMA ZA DALJNI RAD U CILJU SMANJENJA UTJECAJA NA OKOLIŠ.....	259
Impact Assesmet of Current Communal Solid Waste Management System at Landfill Banjaluka with Recommendations for Further Work in Order to Reduce Environmental Impact	

mr. sc. Draženko Bjelić ^{*1}; prof. dr. Ljiljanja Vukić¹; prof. dr. Anđelka N. Mihajlov ²;
mr. sc. Dragana Nešković-Markić³; mr. sc. Željka Šobot-Pešić³

RAZUMIJEVANJE FENOMENA NOT-IN-MY-BACKYARD I NOT-IN-ANY-BACKYARD – PRIMJER ŽUPANIJSKOG
CENTRA ZA GOSPODARENJE OTPADOM U BILJANIMA DONJIM 266

Understanding the Phenomenom Not-In-My-Backyard and Not-In-Any-Backyard – A Case of Zadar County Waste
Management Centre in Biljane Donje

Andreja Pavlović, mag.nov.^{1*}; Mateja Terek, mag. pol^{1*}

RUDARENJE ODLAGALIŠTA 282

Landfill Mining

mr. sc. Vladimir Potočnik, dis. ^{*1}

SANACIJA LOKACIJE BIVŠE TVORNICE ELEKTRODA I FEROLEGURA U ŠIBENIKU 293

The Remediation of Contaminated Site of the Former Electrodes and Ferroalloys Factory in Šibenik

dr. sc. Nirvana Franković Mihelj, dipl. ing. kem. teh. ^{1*}; dr. sc. Božica Šorgić, dipl. ing. kem.²;
dr. sc. Ivan Pilaš, dipl. ing. šum.³

STATIČKO I DINAMIČKO UKLANJANJE BAKROVIH (II) IONA POMOĆU LJEVAONIČKOG OTPADA..... 303

Static and Dinamic Removal of Copper (II) Ions by Foundry Waste

doc. dr. sc. Anita Štrkalj ^{*1}; izv.prof. dr. sc. Zoran Glavaš¹; Krešimir Maldini, dipl. ing. ²

ULOGA POVJERENIKA ZA OTPAD U SUSTAVU GOSPODARENJA OTPADOM..... 308

The Waste Commissioner's Role in The Waste Management System

doc. dr. sc. Sanja Kalambura, prof.v.š., dipl. ing. ^{*1}; dipl.ing, Nives Jovičić, struč. spec. ing. admin. chris.¹;
Anamarija Ladiš, bacc.san.ing.²

UPORABA KAROTAŽNIH MJERENJA U ODABIRU BUŠOTINA ZA ZBRINJAVANJE OTPADA 315

The use of Well Logging in the Selection of Wells for Waste Disposal

dr. sc.Zoran Čogelja^{1*}; mr. sc. Ivo Omrčen¹; dr. sc.Mario Šiljeg^{2*}

USPOSTAVA SUSTAVA ODRŽIVOG GOSPODARENJA OTPADOM U ZADARSKOJ ŽUPANIJI..... 322

Establishment of Sustainable Waste Management System in Zadar County

Jasminka Čoza, dipl. ing.grad.^{*1}; Sašenka Korenov, dipl. ing.^{*2}; Tomislav Ćurko, dipl. ing.^{*3}

UTJECAJ POSTROJENJA ZA TERMIČKU OBRADU OTPADA NA ZDRAVLJE LJUDI 339

Thermal Waste Treatment Plant (Incineration Plant) Impact On Human Health

doc. dr. sc. Sandra Tucak Zorić^{1*}

ZBRINJAVANJE MULJA S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA 348

Disposal of Wastewater Treatment Sludge

doc. dr. sc. Dražen Vouk, dipl. ing. građ. *1, Prof. dr. sc. Davor Malus, dipl. ing. građ.1, Domagoj Nakić, mag. ing. aedif.1

VREDNOVANJE RECIKLIČNOSTI ELEKTROOTPADA 365

Assessment of Recyclability for Electrical Waste

prof. dr. sc. Antun Pintarić, redoviti profesor*¹

ZBRINJAVANJE NEMETALNE KOMPONENTE TISKANIH PLOČICA..... 374

Disposal of Non-Metallic Components of Printed Circuit Boards

doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić¹; doc. dr. sc. Dinko Vujević¹; mr. sc. Vitomir Premur^{1*};
Ivana Melnjak¹, mag. ing. geoling.; Dario Canjuga¹, bacc. ing. geoling.

ANALIZA ODABIRA TEHNOLOGIJA ZA INFEKTIVNI MEDICINSKI OTPAD U REPUBLICI SRPSKOJ

TECHNOLOGY SELECTION ANALYSIS FOR INFECTIOUS MEDICAL WASTE IN THE REPUBLIC OF SRPSKA

doc. dr. Slobodanka Pavlović^{1*}; Željko Aleksić, dipl. ekol.²

¹ Nezavisni univerzitet Banja Luka, Fakultet za ekologiju

² Univerzitetska bolnica Klinički centar Banja Luka

*e-mail kontakt: slobodanka.pavlovic@nubl.org

SAŽETAK

Problem upravljanja čvrstim otpadom iz dana u dan je sve više prisutan i u Republici Srpskoj. Na osnovu izmjerene količine otpada najveći proizvođač otpada na ovom prostoru je Klinički centar Banja Luka gdje se godišnje produkuje oko 620 – 650 t otpada. Stoga se nužno nameće potreba za iznalaženjem onih organizacionih i tehničkih rješenja koja će omogućiti efikasnije upravljanje, smanjiti zagađenja i, po mogućnosti, obezbijediti kvalitetnu reciklažu i povraćaj u ponovnu upotrebu u vidu sekundarnih sirovina, odnosno finalnih proizvoda. Na tržištu danas postoji veliki broj tehnologija za tretman infektivnog medicinskog otpada raznih proizvođača što zdravstvenim ustanovama otežava izbor najadekvatnijeg rješenja za tretman infektivnog otpada. Neophodno je, pri izboru, sagledati ponude iz različitih uglova i odabrati prave parametre na osnovu kojih će se napraviti jedna strateška analiza i pokušati odabrati najbolja tehnologija. Određivanje optimalne tehnologije neutralizacije medicinskog infektivnog otpada na lokalnom, regionalnom ili državnom nivou zavisi od niza uticajnih faktora. Prioritetni faktori jesu vrsta (sastav) otpada, raspoloživi prostor, udaljenost između zdravstvenih ustanova i mogućnost transporta, zakonska regulativa, javno mnjenje, cijena opreme, održavanje opreme, dostupnost servisera i konačno troškovi neutralizacije.

Ključne riječi: *medicinski otpad, tehnologije, odabir*

ABSTRACT

The problem of solid waste management in the Republic of Srpska has been constantly increasing. Considering the quantity of produced waste, the biggest solid waste producer in the area is Clinical Center Banja Luka with the waste production of 620-650 t/year. Therefore, there is necessity for finding that kind of organizational and technical solutions that will enable more efficient management, reduction of pollution, and, if possible, provision of good quality recycling and reuse of the secondary raw materials or final products. Nowadays, different technologies for infectious medical waste treatment are available on the market and health institutions are dealing with choosing the most adequate one. When looking for the best solution, it is essential to consider all the important facts from different points of view and select the right criteria for the strategic analysis. Determining the optimal technology to neutralize medical waste at local, regional or national level depends on a number of influencing factors. Priority factors are as follows: type (composition) of waste, the available space, the distance between health facilities

and transport availability, legislation, public opinion, the price of equipment, maintenance of equipment, availability of service and, finally, cost of neutralization.

Key words: *medical waste, technology, selection criteria*

1. UVOD

Tretman neutralizacije/sterilizacije je pri dnu piramide upravljanja otpadom. Na vrhu piramide se nalazi ono što je najpoželjnije, naime, sprečavanje nastanka otpada na prvom mjestu, smanjenje otpada na izvoru, ponovno korišćenje i recikliranje materijala kada je god to moguće učiniti.

Smanjenje količine opasnog otpada na izvoru podrazumijeva rigoroznu segregaciju. Nakon što su svi pristupi i postupci za smanjenje količine otpada iskorišćeni, preostali otpad zahtijeva tretman i bezbjedno odlaganje ostataka.

Tradicionalni metod neutralizacije je spaljivanje medicinskog otpada koji se pretvara u pepeo. Međutim, značajan dio otpada se transformiše u toksične zagađivače vazduha, koji prije ispuštanja u atmosferu, moraju biti filtrirani, a i sam pepeo se mora tretirati kao opasan otpad. Uz sve mjere prevencije, nikada se sa stopostotnom sigurnošću ne može tvrditi da je količina i vrsta toksina koja se ispusti u atmosferu bezopasna, a i filteri koji se zamjene zbog zasićenja toksičnim materijama, predstavljaju vrlo toksičan otpad [2].

Novije tehnologije transformišu infektivni otpad u dezinfikovani ili sterilni otpad koji je čistiji od redovnog komunalnog otpada koje odlaže stanovništvo iz svojih domova.

Druge tehnologije mogu ubrzati prirodnu razgradnju organskog otpada. U ovom dijelu rada se ukratko opisuju glavne vrste procesa i tretmana koji se koriste za neutralizaciju medicinskog otpada.

Ovaj rad ima za cilj da pomogne nacionalne i lokalne vlade, zdravstvene ustanove i druge zainteresovane strane u zemljama u razvoju u procjeni i izboru odgovarajuće tehnologije za tretman infektivnog medicinskog otpada.

2. ANALIZA ODABIRA TEHNOLOGIJA

2.1. Vrste procesa u tretmanu medicinskog infektivnog otpada

Četiri osnovna procesa koja se koriste u tretmanu medicinskog infektivnog otpada su: termički, hemijski, radioaktivni i biološki. Termički procesi se zasnivaju na uništavanju patogenih klica toplotom (mikro organizama i njihovih spora koje prouzrokuju bolesti). Nisko-temperaturni procesi se odvijaju uz prisustvo vodene pare pod pritiskom. Hemijski procesi obuhvataju dezinfekciju patogenih klica hemijskim reakcijama. Proces radijacije uključuju jonizujuću radijaciju koja uništava mikroorganizme razlaganjem organskih materija. Biološki proces se odnosi na prirodnu razgradnju organske materije. Mehanički procesi, kao što su: drobljenje, mješanje ili kompaktiranje, koriste se kao dodatni procesi koji, pospješuju razlaganje, ili smanjuju volumen tretiranog otpada [2].

2.2. Analiza - procjena tehnologija - SAT metodologija

Kao odgovor na potrebu da se u okviru procjene tehnologija identifikuje i izabere najbolja moguća ekološka opcija datih tehnologija, međunarodni centar Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (UNEP-IETC) inicirao je razvoj sistematskog postupka kojim, predloženu tehnologiju

interesne grupe procjenjuju u smislu njegovog potencijalnog uticaja na životnu sredinu, kako to utiče na održivi razvoj, i moguće kulturne i socio-ekonomske posljedice. Napredak u kvalitativnom i komparativnom pristupu procjene tehnologija, doveo je do nove metodologije koja je poznata kao održiva procjena tehnologija (SAT – SustainableAssessment Technology).

Fokus ove metodologije je na informisanosti učesnika koji direktno utiču u donošenju odluka kod izbora tehnologije koja će se koristiti za neutralizaciju infektivnog medicinskog otpada.

2.3. Osnovni koraci sat metodologije

U okviru prvog koraka, analiza situacije uključuje prikupljanje osnovnih podataka i konsultacija sa ključnim akterima. Na strateškom ili makro nivou, osnovni podaci mogu da se odnose na javne zdravstvene uticaje, zaštitu na radu (na primer, igla-stick povrede), ili uticaj na životnu sredinu zbog nedostatka adekvatnog upravljanja medicinskim otpadom. Ova informacija je od pomoći u definisanju problema i konkretnim terminima tokom konsultacija sa lokalnim samoupravama, nevladinim organizacijama i proizvođačima otpada [3]. Informacije se takođe mogu koristiti u uporednim ocjenama scenarija. Tokom prikupljanja osnovnih podataka, preliminarne informacije se mogu dobiti za generatore otpada i materijalne karakteristike, sastav i porijeklo medicinskog otpada koji je proizveden.

Sledeći korak je postavljanje ciljeva za svaki problem koji je prepoznat tokom konsultacija sa ključnim akterima. U ovom dijelu, strateški nivo procjena vrše planeri, donosioci odluka, i izabrani predstavnici, koji treba da ispituju opcije koje se uklapaju u principe planiranja i politike određene ustanove. Ovaj korak može da podrazumjeva tehničku i ekonomsku studiju izvodljivosti i planiranje. U situaciji koja uključuje više od jedne ustanove, a važan ishod u konsultacijama na strateškom nivou procjena je odluka o tome da li će se koristiti decentralizovan ili centralizovan tretman [3].

Nakon makro nivoa ili strateškog nivoa konsultacija i prikupljanja podataka, SAT metodologija prelazi na operativni nivo procjene gdje inženjeri i drugo tehničko osoblje sprovodi detaljnu procjenu raspoloživih tehnoloških sistema. Ovaj korak zahtjeva stručno mišljenje i detaljnije informacije. Ishod operativnog nivoa procjene je broj opcija tehnoloških sistema rangiranih po redoslijedu njihovog učinka u odnosu na princip održivosti [3]. Međutim, izabrati najbolju tehnologiju na osnovu trenutnih informacija je jako teško. Može se kasnije ispostaviti da je nedovoljna ili neprikladna za budućnost usljed promjene situacije, shodno lokalnim potrebama, zakonima ili napretkom u tehnologiji.

Naredni koraci su detaljno inženjering projektovanje, raspisivanje tendera, izgradnja potrebne infrastrukture i puštanje u rad.

Kontinuirano praćenje i evaluacija tehnološkog sistema tokom operativne faze je suštinski sledeći korak. Ovo obezbjeđuje sigurnost da izabrana tehnologija ispunjava željeni cilj vis-a-vis kriterija razmotrenih u SAT metodologiji [3].

Na osnovu ovih uputstava od strane UNPD-a kreirana je tabela koja služi kao pomoćni alat pri odabiru najboljih tehnologija za neutralizaciju infektivnog otpada kojom se na osnovu ličnih procjena prioriteta, za svaku ustanovu ponaosob, procentualno treba odlučiti koji joj je najbitniji kriterij između tehničke prikladnosti, zaštite okoliša, ekonomskog faktora i socio-kulturološkog faktora. To je osnova za dobijanje MF faktora koji se množi sa bodovima od 1 do 10 za svaki od 37 podkriterijuma i time se dobijaju ocjene koje program sam preračuna i ponudi najbolje rješenje za ustanovu.

U Tabeli br. 1 se može vidjeti pregled rezultata koji su nastali kao produkt analize osnovnih kriterija SAT metodologije za odabir najadekvatnije tehnologije, prema ocjeni i mišljenju

interesne grupe koja je brojala 7 članova (odgovorno lice za upravljanje medicinskim otpadom, docent nauka o životnoj sredini, direktor Fonda za zaštitu životne sredine i energetske efikasnosti, direktor bolnice, predstavnik Instituta za javno zdravlje Republike Srpske, pravnik i ekonomista Univerzitetske bolnice KC Banja Luka. Svaki od učesnika je rangirao tehnologije po istim kriterijumima na osnovu dostavljenih informacija o ponuđenim sterilizatorima različitih proizvođača. Informacije o sterilizatorima su bile u vidu tabela sa parametrima kao što su: kapacitet, potrošnja električne energije, potreban prostor, troškovi održavanja, investiciono ulaganje, cijena itd.

2.4. Rezultati analize odabranih tehnologija i diskusija

Na osnovu istraživanja koja su rađena početkom 2013. godine [1] izvršena je ocjena 5 najpoznatijih proizvođača sterilizatora i 3 proizvođača spalionica od strane dva ekologa. Najbolji rezultat tada ostvario MMM sterilizator sa ukupno 85,3 poena. Tehnologija odabira je tada za najbolju izabrala metodu sterilizacije, kombinovano vodenom parom i mikrovalovima. Današnjim saznanjima i mogućnostima djelovanja jedino ova tehnologija u potpunosti odgovara zahtjevima za prevođenjem u inertni oblik svega onoga što se kao materijal (vrste plastike, oblici i sl.) koristi u pružanju zdravstvene zaštite i time dobija karakteristiku infektivnosti.

U ovom istraživanju je vršeno poređenje samo sterilizatora različitih proizvođača. SAT metodologija može da se koristi i za drugi ciklus konsultacija i za simuliranje mogućih scenarija u budućnosti, te da se obezbjedi potvrda da je ishod prvog ciklusa analize i provjera dovoljno robustan da izdrži test vremena. Upravo ova druga analiza koja se fokusirala samo na sterilizatore i koja ima više učesnika u samom ocjenjivanju će pokazati da li je prvi izbor, izbor ekologa bio adekvatan ili je došlo do izmjena uvođenjem novijih i modernijih tehnologija.

Radi lakšeg upoređivanja i pregleda ulaganja u novije i naprednije tehnologije, pored sterilizatora koji su rangirani 2013. godine dodana su još tri nova sterilizatora od kojih je jedan novija generacija proizvođača koji je već obrađivan (Newster).

Tabele, svih sedam učesnika ocjenjivanja tehnologija, su upoređene i napravljen je presjek tako što je izvučena prosječna ocjena svih ocjenjivanih parametara i konačni rezultati su predstavljeni u Tabeli 1. gdje se jasno vidi da je najbolji skor ostvario sterilizator NEWSTER novije generacije 2013.

3. ZAKLJUČAK

Neadekvatno i nestručno rukovanje medicinskim otpadom može da izazove ozbiljne posljedice po zdravlje ljudi i uticaj na životnu sredinu. Upravljanje otpadom zahtijeva multisektorsku saradnju i interakcije na svim nivoima. Uspostavljanje nacionalne politike i zakonski okvir, obuka osoblja, kao i podizanje svijesti su ključni elementi uspješnog upravljanja medicinskim otpadom u zdravstvenim ustanovama [4].

Unapređenje upravljanja otpadom moguće je započeti u lokalnim objektima zdravstvene zaštite. Međutim, kako bi se ostvario značajniji uticaj u cijeloj zemlji obično je neophodna aktivna intervencija Vlade. Najčešći prvi korak koji preduzimaju ministarstva jeste evidentiranje onoga što je neophodno izmijeniti u nacionalnoj politici upravljanja medicinskim otpadom. To svakako predstavlja značajan korak ka kreiranju uspješnog i održivog sistema upravljanja medicinskim otpadom, a kojem treba da teže svi objekti u sistemu zdravstvene zaštite. Takva politika može predstavljati plan koji vodi ka donošenju odluka na političkom nivou i koji može mobilisati napore i resurse Vlade za uspostavljanje promjena u predmetnim objektima [5].

Iz samog rada se može vidjeti koliko je odabir prave tehnologije veoma složen i prožet faktorima na koje se u početku ne obraća pažnja.

Bilo da se vrši izbor tehnologije na lokalnom, regionalnom ili državnom nivou moraju se sagledati viđenja stručnjaka iz više oblasti jer tehnologija koja se nudi ponekad ne sadrži bitne informacije kao što su operativni troškovi koji po nekada mogu biti blizu investicionih ulaganja.

Uz pretpostavku da je poznata produkcija otpada (količine i vrste), te isto tako da je proveden plan minimizacije proizvodnje otpada (kroz primarnu reciklažu i slično), ostvareni su preduslovi da se izabere optimalna tehnologija za zbrinjavanje nastalog otpada koji se ne može reciklirati.

Integrirani sistem upravljanja medicinskim otpadom i zaštite životne sredine, uopšteno posmatrano, omogućiće nacionalnoj i lokalnoj Vladi, zdravstvenim ustanovama i drugim zainteresovanim stranama u zemljama u razvoju, najbolju moguću procjenu u izboru odgovarajuće tehnologije za tretman infektivnog medicinskog otpada, a samim tim i ispunjenje zahtjeva, potreba i očekivanja svih zainteresovanih strana.

4. REFERENCE

- [1] Pavlović S., Aleksić Ž.: Analiza tehnologija tretmana infektivnog medicinskog otpada prema SAT tehnologiji; Zbornik radova „Ekologija, zdravlje i sport“, Banja Luka (2013) 200-206
- [2] Pruss-Ustun A., et.al; Safe management of wastes from health-care activities 2nd edition, World Health Organization, Geneva 2013.
- [3] Compendium of Technologies for Treatment/Destruction of Healthcare Waste, UNEP 2012
- [4] Pavlović S., Aleksić Ž.: Analiza postojećeg programa upravljanja medicinskim otpadom u KC Banja Luka; Zbornik radova „Zaštita životne sredine između nauke i prakse – stanje i perspektive“, Banja Luka (2013) 200-206
- [5] Pavlović S., Aleksić Ž.: Upravljanje medicinskim otpadom u Republici Srpskoj; Zbornik radova „Stanje i perspektive farmaceutskog i medicinskog otpada“, Palić (2014) 95-101

ANALIZA OSTVARENJA POSTAVLJENIH CILJEVA ZA ODLAGALIŠTA OTPADA

ANALYSIS OF THE ACHIEVEMENT OF THE PROSCRIBED TARGETS FOR LANDFILLS

Predrag Korica, univ. spec. aliment. techn., struč. spec. ing. sec., struč. spec. cin.^{1*}; prof. dr. sc. Neven Voća¹; dr. sc. Savka Kučar Dragičević¹; Jasna Kufirin, dipl. ing.¹; Đurđica Požgaj, univ. spec. oecoing.¹

¹Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb

*e-mail kontakt: predrag.korica@azo.hr

SAŽETAK

Temeljem važećih propisa, Agencija za zaštitu okoliša prikupila je podatke o odlagalištima u Republici Hrvatskoj za 2013. godinu. Prikupljeni su podaci o odloženom biorazgradivom komunalnom otpadu, podaci o ukupno odloženom otpadu te podaci o preostalom kapacitetu odlagališta u 2013. godini, a koji služe za praćenje ostvarenja ciljeva propisanih nacionalnom i međunarodnom legislativom. Tijekom pretpristupnih pregovora s Europskom Unijom, za Republiku Hrvatsku su dogovoreni ciljevi za ograničavanje odlaganja otpada koji su preneseni u hrvatsko zakonodavstvo Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13). U ovom radu se daje analiza ostvarenja postavljenih ciljeva za odlagališta otpada koje je bilo potrebno ostvariti do 31. prosinca 2013. godine. Sukladno Zakonu, podaci su zatraženi od operatera aktivnih odlagališta za prvo i drugo polugodište 2013. godine putem obrazaca koje je pripremila Agencija. Informacije o aktivnim odlagalištima prikupljene su iz Katastra odlagališta, Registra onečišćenja okoliša i Registra dozvola i potvrda za gospodarenje otpadom koje vodi Agencija. Također, s ciljem izrade izvješća o provedbi Direktive o odlaganju 1999/31/EC, od tvrtki operatera su zatraženi i podaci o preostalom kapacitetu odlagališta krajem 2012. i 2013. godine. Prijavljeni podaci su kontrolirani usporedbom s podacima prijavljenima u Registar onečišćenja okoliša za prethodne godine te usporedbom konzistentnosti prijave za oba polugodišta 2013. godine. Agencija je na temelju propisanih ciljeva za 2013. i 2016. godinu odredila među-cilj za 2014. godinu te je na temelju prijave operatera za prethodnu godinu odredila najveće količine otpada koje je dopušteno odložiti na odlagalištima u 2014. godini sukladno Zakonu.

Ključne riječi: ciljevi za odlagališta otpada, odlagališta otpada, odlaganje otpada

ABSTRACT

Pursuant to legislation in force, Croatia Environment Agency has collected the data on the landfills in the Republic of Croatia for the year 2013. The data on biodegradable municipal waste sent to landfills, the data on total amount of waste sent to landfills and the data on the rest capacity of landfills in the year 2013 were collected, which were used for the monitoring of the achievement of the targets proscribed by the national and international legislation. During the pre-accession negotiations with the European Union, the targets were set for the Republic of Croatia for the restriction of the landfilling of waste. These provisions have been transposed into the Croatian legislation by the Act on the sustainable waste management (OG 94/13). Pursuant to the Act, data were requested from the operators of the active landfills for the first and second term of the year 2013 through the questioners which were prepared by the Agency. Information on the

active landfills have been collected from the Croatian Landfill Registry, Croatian Environmental Pollution Registry and from the Croatian Waste Permit Register which are kept by the Agency. Also, with the purpose of the making of the report on the implementation of the Landfill Directive 1999/31/EC, from the operating companies the data on the rest capacity of the landfills on the end of the years 2012 and 2013 was requested. Reported data were controlled by comparison with the data reported in the Croatian Environmental Pollution Registry for the previous years and by comparing the consistency of the reports for the both of the terms of the year 2013. Based on the proscribed targets by the Act for the years 2013 and 2016, the Agency has set in-between goal for the year 2014, and based on the reports of the operators for the previous year, has determined the highest amounts of waste which are allowed to be sent to the landfills in the year 2014, pursuant to the law.

Keywords: *targets for the landfills, landfills of waste, landfilling of waste*

1. UVOD

Agencija za zaštitu okoliša je tijekom druge polovice 2013. godine i početkom 2014. godine prikupljala podatke o odlagalištima sukladno Zakonu o održivom gospodarenju otpadom kojim je propisano da je osoba koja upravlja odlagalištem dužna dostaviti podatke o masi biorazgradivog komunalnog otpada odloženog na odlagalište i podatke o masi otpada odloženog na neusklađeno odlagalište Agenciji na propisanim obrascima dva puta godišnje u roku od 30 dana od isteka polugodišta [7]. Navedeni podaci su potrebni za praćenje ostvarenja ciljeva sukladno obvezi iz Direktive o odlaganju 1999/31/EC o čemu je obaveza izvještavati Europsku komisiju [2]. Kako je sadržaj i izgled obrazaca za dostavu podataka sukladno Zakonu propisan tek Pravilnikom o gospodarenju otpadom u veljači 2014., Agencija je po donošenju Zakona pripremila privremeni obrazac kojim su se tražili podaci o masi odloženog biorazgradivog komunalnog otpada i podaci o masi ukupno odloženog otpada na odlagalištima, za razdoblje od 01. siječnja 2013. do 30. lipnja 2013. te za razdoblje od 01. srpnja 2013. do 31. prosinca 2013.[7][4]. Uz navedene podatke, Agencija je zatražila i dostavu rezultata posljednjih analiza sastava komunalnog otpada koji se odlaže na odlagalištu, ukoliko istima odlagališta raspolažu. S obzirom da do trenutka objave ovog rada još nije bio propisan način određivanja udjela biorazgradivog komunalnog otpada u komunalnom otpadu sukladno Zakonu, Agencija za zaštitu okoliša je pripremila i dostavila obveznicima i upute koje su sadržavale informacije o praćenju količina odloženog biorazgradivog komunalnog otpada na odlagališta i upute za izračun udjela biorazgradivog otpada komunalnog otpada u komunalnom otpadu.

2. ZAKONSKI OKVIR I CILJEVI

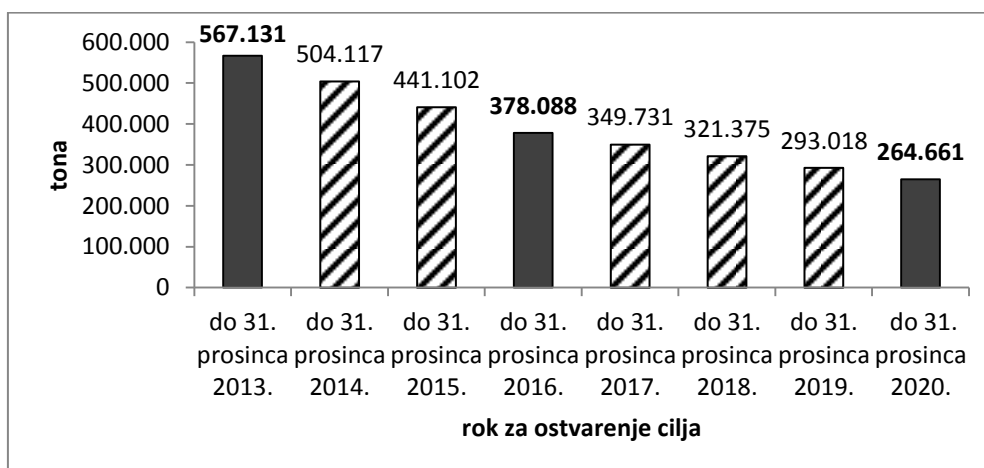
Zakonom o održivom gospodarenju otpadom su prenesene odredbe Direktive o odlaganju u hrvatsko zakonodavstvo [7][1]. Zakon definira odlagalište otpada kao građevinu namijenjenu odlaganju otpada na površinu ili pod zemlju (podzemno odlagalište), uključujući [7]:

- interno odlagalište otpada na kojem proizvođač odlaže svoj otpad na samom mjestu proizvodnje,
- odlagalište otpada ili njegov dio koji se može koristiti za privremeno skladištenje otpada (npr. za razdoblje duže od jedne godine),
- iskorištene površinske kopove ili njihove dijelove nastale rudarskom eksploatacijom i/ili istraživanjem pogodne za odlaganje otpada.

Zakon je propisao najveću dopuštenu masu biorazgradivog komunalnog otpada koja se godišnje smije odložiti na svim odlagalištima i neusklađenim odlagalištima u Republici Hrvatskoj u odnosu na masu biorazgradivog komunalnog otpada proizvedenog u 1997. godini, a koja iznosi [7]:

1. 75 %, odnosno 567.131 tona do 31. prosinca 2013.
2. 50 %, odnosno 378.088 tona do 31. prosinca 2016.
3. 35 %, odnosno 264.661 tona do 31. prosinca 2020.

Na temelju ciljeva za 2013. 2016. i 2020. godinu moguće je odrediti godišnje među-ciljeve za postupno smanjenje odlaganja mase biorazgradivog komunalnog otpada do kraja 2020. godine (slika 1.)



Slika 1. Ciljevi za postupno smanjivanje mase biorazgradivog komunalnog otpada koja se smije odložiti u Republici Hrvatskoj [7]

Zakon također propisuje da je najveća dopuštena masa biorazgradivog komunalnog otpada koja se u kalendarskoj godini smije godišnje odložiti na odlagalištu i neusklađenom odlagalištu jednaka umnošku ukupne mase biorazgradivog komunalnog otpada kojeg je te godine dopušteno odložiti u Republici Hrvatskoj i koeficijenta odlagališta za biorazgradivi otpad. Koeficijent odlagališta za biorazgradivi otpad je omjer mase odloženog biorazgradivog komunalnog otpada na tom odlagalištu i ukupne mase odloženog biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj u prethodnoj godini. Zbroj koeficijenata svih odlagališta u Republici Hrvatskoj ne smije biti veći od jedan. Zakon je propisao najveću dopuštenu masu otpada koja se godišnje odlaže na svim neusklađenim odlagalištima u Republici Hrvatskoj te ona iznosi [7]:

1. 1.710.000 tona do 31. prosinca 2013.
2. 1.410.000 tona do 31. prosinca 2014.
3. 1.210.000 tona do 31. prosinca 2015.
4. 1.010.000 tona do 31. prosinca 2016.
5. 800.000 tona do 31. prosinca 2017.

Zakon o održivom gospodarenju otpadom zabranjuje odlaganje otpada na neusklađenom odlagalištu u Republici Hrvatskoj nakon 31. prosinca 2017. Propisano je da nadležno ministarstvo najmanje dva puta godišnje utvrđuje status usklađenosti odlagališta obzirom na zahtjeve koji će se propisati posebnim pravilnikom [7].

Zakon o održivom gospodarenju otpadom propisuje najveću dopuštenu masu otpada koji se u kalendarskoj godini smije odložiti na neusklađeno odlagalište, a koja je jednaka umnošku ukupne mase otpada koju je te godine dopušteno odložiti u Republici Hrvatskoj na neusklađena odlagališta i koeficijenta neusklađenog odlagališta. Koeficijent neusklađenog odlagališta je omjer mase odloženog otpada na tom neusklađenom odlagalištu i ukupne mase odloženog otpada u Republici Hrvatskoj na svim neusklađenim odlagalištima u prethodnoj godini. Zbroj koeficijenata neusklađenih odlagališta za sva neusklađena odlagališta u Republici Hrvatskoj ne smije biti veći od jedan. Prema Zakonu ove izračune izrađuje Agencija, a na temelju njih nadležno ministarstvo odlukom određuje najveću dopuštenu masu otpada i koeficijente za odlagališta za razdoblje od šest mjeseci, a osoba koja upravlja odlagalištem dužna je pridržavati se količina otpada određenih ovom odlukom neovisno o ishodenim aktima kojima se uređuje rad odlagališta. Na temelju gore navedene odluke osobe koje upravljaju odlagalištem, odnosno neusklađenim odlagalištem sklapaju ugovor kojim se uređuju prava i obveze u vezi raspodjele mase otpada te koeficijenata za odlagališta. Zakonom je određeno da će se način određivanja udjela biorazgradivog komunalnog otpada u komunalnom otpadu propisati kroz naputak, a također je propisano da način i uvjete provedbe postupka utvrđivanja statusa usklađenosti odlagališta s obzirom na propisane zahtjeve, način utvrđivanja količine odloženog otpada na odlagalištu i neusklađenom odlagalištu propisuje Vlada RH uredbom [7].

3. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Prikupljanje podataka o količinama odloženog biorazgradivog komunalnog otpada, o količinama odloženih svih vrsta otpada te o preostalom kapacitetu na odlagalištima obavljano je u periodima:

- za prvo polugodište 2013. od 03. rujna 2013. do 13. studenog 2013. godine i
- za drugo polugodište od 15. siječnja 2014. do 17. travnja 2014. godine.

Agencija je kontaktirala u vezi izvješćivanja za prvo polugodište 2013. godine ukupno 159 operatera te u vezi izvješćivanja za drugo polugodište 2013. ukupno 149 operatera svih kategorija odlagališta (proizvodnog i komunalnog otpada) za koje je posjedovala ili dobila informaciju da se na njima obavljalo aktivno odlaganje u 2013. godini. U odnosu na aktivna odlagališta za koje su se podaci vodili 2012. godine, Agencija je upitnik uputila i operaterima dvije lokacije koje su opisane kao privremena skladišta otpada – privremeno skladište komunalnog otpada u Rijeci te privremeno skladište mulja iz pročišćavača otpadnih voda u Zagrebu. Agencija je ove dvije lokacije uključila u obveznike u 2013. godini obzirom da je isti otpad uskladišten već određen broj godina, a privremena skladišta otpada koja skladište otpad za razdoblje duže od jedne godine se sukladno Direktivi o odlaganju i Zakonu smatraju odlagalištima. Informacije o aktivnim odlagalištima prikupljene su iz Katastra odlagališta, Registra onečišćenja okoliša (ROO) i Registra dozvola i potvrda za gospodarenje otpadom koje vodi Agencija. Kako je odaziv operatera na prve zahtjeve za dostavom podataka je bio vrlo slab (oko 30%), Agencija je tijekom gore navedenih razdoblja poslala više požurnica i obavila veći broj telefonskih poziva kako bi se probalo prikupiti što veći broj prijava što je znatno produžilo period prikupljanja podataka. Od zaprimljenih 146 (92 %) prijava odlagališta za oba polugodišta 2013. godine (ostala odlagališta nisu bila aktivna u 2013. godini, a tri odlagališta nisu dostavila potpune podatke) na njih 124 (85 %) je uočena mogućnost pogreške u barem jednom od tri tražena podatka. Odstupanja od očekivanog podatka identificirana su na način da su uspoređeni verificirani podaci prijavljeni u ROO za 2012. godinu (obrazac OPKO), neverificirani podaci prijavljeni u ROO za 2013. godinu (obrazac OPKO), izračun odloženog biorazgradivog

otpada za 2012. godinu koji je izrađen od strane Agencije koristeći podatke prijavljene u ROO te usporedbom prijave preko gore spomenutih obrazaca za prvo i drugo polugodište 2013. godine.

Kao indikator pogreške u prijavi smatrana su slijedeća odstupanja:

- razlika veća od 5% u prijavi podataka u ROO za 2012. godinu i prijava podataka preko obrazaca za oba polugodišta 2013. godine;
- razlika veća od 5% u prijavi podataka o preostalom kapacitetu odlagališta zaključno s 31.12.2012. godine i o preostalom kapacitetu zaključno s 31.12.2013. godine;
- razlika veća od 2,5% u prijavi podataka o odloženom biorazgradivom komunalnom otpadu preko obrazaca za prvo i drugo polugodište 2013. godine za udio biorazgradivog komunalnog otpada u ukupno odloženom otpadu 2013. godine i
- razlika veća od 2,5% u prijavi ukupno odloženih količina preko obrazaca za prvo i drugo polugodište 2013. godine i neverificiranih prijave u ROO za 2013. godinu.

Na svih 124 operatera odlagališta kojima je evidentirano jedno od gore navedenih odstupanja poslan je zahtjev da isprave podatke ili da dostave objašnjenja te je 91 operater odlagališta ispravio prijave ili dostavio objašnjenja. Količine za tri odlagališta koja su dostavila nepotpune podatke dopunjene su podacima koje su ti operateri prijavili u ROO ili za samo jedno od polugodišta. Verifikacija podataka je zaključena 17. travnja 2013. godine.

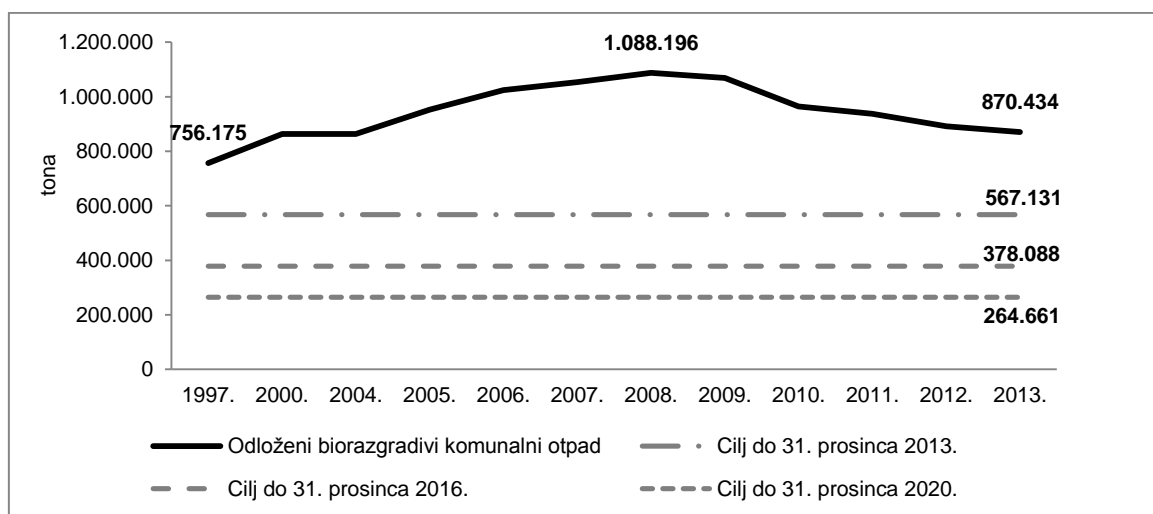
4. ODLOŽENI BIORAZGRADIVI KOMUNALNI OTPAD U 2013. GODINI

Dva najveća problema u prikupljanju podataka o odloženim količinama biorazgradivog otpada su bili nerazumijevanje operatera pojmova „biorazgradivi otpad“, „bio-otpad“ te „biorazgradiva komponenta komunalnog otpada“ i to što u vrijeme prikupljanja podataka još nije bio propisan način određivanja udjela biorazgradive komponente u odloženom komunalnom otpadu. Problem nerazumijevanja pojmova se rješavao telefonskim razgovorima s operaterima, a za trajno rješenje se preporuča organiziranje edukacije operatera. U vezi problematike određivanja udjela biorazgradive komponente, prijave operatera su temeljile na različitim načinima utvrđivanja biorazgradive komponente u komunalnom otpadu. Operaterima je preporučeno da za izračun koriste upute koje je dostavila Agencija za zaštitu okoliša ili da koriste analizu sastava otpada, ukoliko je ista provedena za otpad koji se odlaže na odlagalištu te da se rezultati analize dostave u Agenciju. Analize je dostavilo ukupno 19 operatera odlagališta, a analize koje su dostavljene su bile analize sastava otpada (npr. razvrstavanje na papir, drvo, plastiku i sl.) ili kemijska analiza eluata otpada. S obzirom da ove analize nisu direktno primjenjive za računanje biorazgradive komponente u odloženom otpadu, operateri koji su imali izvršenu analizu sastava otpada na njihovom odlagalištu su uzimali rezultate te analize i pomoću njih izračunavali udio biorazgradive komponente prema koeficijentima iz uputa od Agencije, primjer ovog izračuna prikazan je u tablici 1. Samo jedna dostavljena analiza je sadržavala analizu biorazgradivosti otpada napravljenu prema normama HRN ISO 11465:2004 i HRN EN 13137:2005 gdje je utvrđen ukupni organski ugljik (TOC) u suhoj tvari [2][3]. S obzirom da trenutno u Republici Hrvatskoj nije propisan način utvrđivanja biorazgradive komponente u komunalnom otpadu, Agencija je prihvaćala dostavljene metode izračuna biorazgradive komponente.

Tablica 1. Primjer prijave operatera odlagališta koji je imao napravljenu analizu otpada sastava komunalnog otpada

Sastav miješanog komunalnog otpada (20 03 01)	Udio u miješanom komunalnom otpadu (%)	Količina komunalnog otpada (tona)	Faktor	Količina biorazgradivog komunalnog otpada (tona)
Guma	1,6	8,0	0,0	0,0
Papir i karton	18,4	92,2	1,0	92,2
Staklo	9,4	47,1	0,0	0,0
Plastika	18,6	93,2	0,0	0,0
Metal	9,7	48,6	0,0	0,0
Drvo	3,3	16,5	0,5	8,3
Kuhinjski biootpad	20,6	103,2	1,0	103,2
Vrtni biootpad	6,5	32,6	1,0	32,6
Tekstil	3,8	19,0	0,5	9,5
Pelene	3,7	18,5	0,5	9,3
Inertni	4,0	20,0	0,0	0,0
Posebni otpad	0,3	1,5	0,0	0,0
Ukupno	100,0	500,4	4,5	255,0

Odložena količina biorazgradivog komunalnog otpada u 2013. godini prema prijavama operatera u Republici Hrvatskoj iznosi 870.434 tona, što je pad od 2,4% u odnosu na 2012. godinu kada je ukupno odloženo 892.050 tona biorazgradivog komunalnog otpada [6]. Kako su ovdje korišteni različiti izvori podataka i metode računanja udjela biorazgradive komponente u odloženom komunalnom otpadu može se zaključiti da nema značajne razlike u odloženim količinama između ove dvije godine. Što se tiče ostvarivanja propisanog cilja smanjenja odlaganja biorazgradivog komunalnog otpada godišnje na najviše 567.131 tona do 31. prosinca 2013., može se zaključiti da on nije postignut. Tijek odlaganja količina biorazgradivog komunalnog otpada kroz godine u odnosu na propisane ciljeve u Republici Hrvatskoj prikazan je na slici 2.



Slika 2. Odlaganje biorazgradivog komunalnog otpada kroz godine u odnosu na propisane ciljeve u Republici Hrvatskoj [6]

5. UKUPNO ODLOŽENI OTPAD NA NEUSKLAĐENA ODLAGALIŠTA U 2013. GODINI

Prilikom prikupljanja podataka o odlagalištima za oba polugodišta 2013. godine prikupljeni su i podaci ukupno odloženom otpadu (sve vrste otpada) na odlagališta. Najučestaliji problem prilikom prijave operatera je bilo nerazumijevanje zahtjeva prijave količine svih vrsta otpada (komunalnog i proizvodnog) koje su se odložile u navedenim razdobljima, a ne samo odložene količine komunalnog otpada. Vidljiv je lagani rast od 8% ukupno odloženih količina 2013. godine kada je odloženo ukupno 2.019.481 tona otpada u odnosu na 2012. godinu kada je odloženo 1.934.684 tona otpada. Glavni razlozi povećanja količina odloženog otpada u 2013. godini su pribiranje količina odloženih na dva dugotrajna privremena skladišta za koja se podaci vode od 2013. kao za odlagališta otpada sukladno Zakonu te korištenje različitih izvora podataka.

Količine odloženog biorazgradivog komunalnog otpada i količine odloženih svih vrsta otpada u 2013. godini po županijama, koje su prijavili operateri odlagališta za oba polugodišta 2013. godine prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Količine odloženog biorazgradivog komunalnog otpada i količine odloženih svih vrsta otpada (komunalnog i proizvodnog) u 2013. godini po županijama

Županija	Odloženo biorazgradivog komunalnog otpada u županiji (tona)	Ukupno odloženo svih vrsta (komunalnog i proizvodnog) otpada u županiji (tona)
Bjelovarsko-bilogorska	23.024,62	37.520,88
Brodsko-posavska	26.905,78	41.836,58
Dubrovačko-neretvanska	34.260,77	51.485,98
Grad Zagreb	147.926,12	493.389,24
Istarska	67.835,20	299.247,29
Karlovačka	22.614,71	50.095,84
Koprivničko-križevačka	10.800,67	30.833,34
Krapinsko-zagorska	12.375,86	18.654,47
Ličko-senjska	14.052,09	22.732,11
Međimurska	8.601,42	22.274,49
Osječko-baranjska	60.124,24	113.036,21
Požeško-slavonska	9.236,31	17.784,22
Primorsko-goranska	79.477,18	124.046,08
Sisačko-moslavačka	32.477,09	56.251,18
Splitsko-dalmatinska	130.646,57	208.504,90
Šibensko-kninska	31.885,08	71.363,55
Varaždinska	14.592,99	28.704,19

Županija	Odloženo biorazgradivog komunalnog otpada u županiji (tona)	Ukupno odloženo svih vrsta (komunalnog i proizvodnog) otpada u županiji (tona)
Virovitičko-podravsk	14.100,99	24.280,48
Vukovarsko-srijemska	39.076,37	61.955,83
Zadarska	57.932,67	190.209,04
Zagrebačka	32.487,60	55.275,47
Ukupno Republika Hrvatska	870.434,33	2.019.481,34

Paralelno s prikupljanjem podataka o odlaganju otpada u prvom polugodištu, Agencija je izrađivala Izvešće o implementaciji Direktive o odlaganju, te je od operatera je zatraženo da dostave podatke o preostalom kapacitetu odlagališta zaključno s 31. prosinca 2012. godine i o preostalom kapacitetu odlagališta zaključno s 31. prosinca 2013. godine [1]. Podaci koji su prikupljeni o preostalom kapacitetu, operateri su većinom procjenjivali, a greške koje su se javljale odnosile su se na nekonzistentnost prijave za obje tražene godine. Naime, preostali kapacitet koji je prijavljen zaključno s 31. prosinca 2012. godine često nije bio veći od prijavljenog preostalog kapaciteta zaključno s 31. prosinca 2013. godine za količinu otpada odloženu 2013. godine. Zaključno s 31. prosinca 2012. godine je prijavljen ukupni preostali kapacitet odlagališta od 21.669.595 tona, dok je na kraju 2013. godine prijavljen preostali kapacitet od 19.951.866,29 tona, što iznosi smanjenje od 7.9%. Manje smanjenje kapaciteta u odnosu na očekivano smanjenje od 9,3% je uzrokovano manjom kvalitetom prijave operatera za preostali kapaciteta na kraju 2012. godine. Naime, navedeni se podatak do sad nije prikupljao za Republiku Hrvatsku te se prijavljeni podaci nisu imali s čime usporediti. Manjem smanjenju preostalog kapaciteta su pridonijeli i prirodni procesi na odlagalištu (npr. slijevanje otpada ili otjecanje procjednih voda) i to što su neka odlagališta izgradila dodatne kazete za odlaganje otpada tijekom 2013. godine.

Kako u Republici Hrvatskoj nisu propisani zahtjevi i načini za utvrđivanje usklađenosti odlagališta, bilo je potrebno izvršiti procjenu ispunjenja propisanih ciljeva za najveću dopuštenu masu otpada koja se godišnje smije odložiti na svim neusklađenim odlagalištima u Republici Hrvatskoj koristeći dostupne podatke. Tijekom prikupljanja podataka potrebnih za izradu izvješća o implementaciji Direktive o odlaganju 1999/31/EC, Agencija je od Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost zatražila podatke o aktivnim odlagalištima komunalnog otpada na kojima je završila sanacija do kraja 2013. godine u skladu s važećim Pravilnikom o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada [1][5]. Fond za zaštitu okoliša je dostavio podatke o 16 odlagališta koja su bila aktivna 2013. godine, a na kojima je završila sanacija u skladu s ovim Pravilnikom uz napomenu da je potrebno prikupiti podatke o tome obrađuju li ova odlagališta otpad prije odlaganja. Naime, Direktiva o odlaganju otpada zabranjuje odlaganje otpada koji prije toga nije podvrgnut nekom od postupaka tretiranja kojim se smanjuje količina otpada ili štetnost po okoliš ili ljude. Ova provizija se ne mora primjenjivati na inertni otpad za koju tretman nije moguć ili bilo koji drugi otpad čija obrada ne pridonosi ostvarenju ciljeva ili smanjivanju njegove štetnosti [1]. Kako osim odlagališta komunalnog otpada na teritoriju Republike Hrvatske postoje i odlagališta proizvodnog otpada, a koja da bi dobila dozvolu za odlaganje moraju posjedovati sve uvijete propisane Pravilnikom, također je bilo potrebno skupiti podatke o postojanju obrade otpada na tim odlagalištima prije

konačnog odlaganja [5]. Novi obrazac za prijavu podataka o odlagalištima propisan novim Pravilnikom o gospodarenju otpadom koji je stupio na snagu u veljači 2014. godine zahtjeva od operatera i podatak o obrađivanju otpada prije odlaganja [4]. Tako su podaci prikupljeni tijekom prijave operatera za prvo polugodište 2014. godine putem ovog obrasca uspoređeni s podacima dostavljenima iz Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost i podacima Agencije za zaštitu okoliša o odlagalištima proizvodnog otpada. Evidentirano je ukupno šest odlagališta koja bi mogla ući u kategoriju „usklađenog odlagališta“ jer provode postupke sortiranja, kondicioniranja, vlaženja i taloženja otpada prije odlaganja. Količine otpada koje su odložene na ta odlagališta oduzete su od prijavljenih odloženih količina u 2013. godini kako bi se dobila procjena odloženih količina otpada na neusklađena odlagališta u Republici Hrvatskoj. Procijenjena količina odloženog otpada u Republici Hrvatskoj na neusklađena odlagališta u 2013. godini iznosi 1.934.215,48 tona otpada, što je 13% više od propisanog cilja od 1.710.000 tona kojeg je bilo potrebno ostvariti do 31.12.2013. godine.

Prema podacima Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost promjene trendova se očekuju od 2014. godine na dalje. Prema tim podacima od ukupno 555 jedinica lokalne samouprave (JLS) na javni poziv za sufinanciranje nabavke komunalne opreme i vozila za odvojeno skupljanje otpada, u razdoblju od veljače 2013. godine do kolovoza 2014. godine, 322 JLS je dostavilo zahtjeve za sufinanciranje komunalne opreme i vozila te je odobreno više od 600 projekata, 140 JLS je dostavilo zahtjeve za sufinanciranje izgradnje reciklažnih dvorišta, a Fond je primio još i 10 zahtjeva za mobilna reciklažna dvorišta i prijavu 8 projekata edukacije građana za odvojeno prikupljanje otpada što bi značajno trebalo smanjiti količine otpada koje se šalju na odlaganje u narednim razdobljima.

6. IZRAČUN NAJVEĆE DOPUŠTENE MASA BIORAZGRADIVOG KOMUNALNOG OTPADA KOJA SE U KALENDARSKOJ GODINI SMIJE GODIŠNJE ODLOŽITI NA ODLAGALIŠTU

U skladu sa Zakonom izračunata je najveća dopuštena masa biorazgradivog komunalnog otpada koji se u 2014. godini smije godišnje odložiti na pojedinom odlagalištu u Republici Hrvatskoj, korištenjem slijedeće formule [7]:

$$MO_{BKOmax} = MRH_{BKOmax} \times f_{BKO} \quad (1)$$

Gdje je:

- MO_{BKOmax} = najveća dopuštena masa biorazgradivog komunalnog otpada koja se u kalendarskoj godini smije godišnje odložiti na pojedinom odlagalištu u tonama;
- MRH_{BKOmax} = ukupna masa biorazgradivog komunalnog otpada koju je dopušteno odložiti u kalendarskoj godini u Republici Hrvatskoj u tonama;
- f_{BKO} = koeficijent pojedinog odlagališta za biorazgradivi otpad.

Koeficijent odlagališta za biorazgradivi otpad je izračunat u skladu sa Zakonom, a temeljem prijave operatera za oba polugodišta 2013. godine o masi odloženog biorazgradivog komunalnog otpada, korištenjem slijedeće formule [7]:

$$f_{BKO} = MO_{BKO} / MRH_{BKO} \quad (2)$$

Gdje je:

- MO_{BKO} = masa odloženog biorazgradivog komunalnog otpada na pojedinom odlagalištu u prethodnoj godini u tonama;

- MRH_{BKO} = ukupna masa odloženog biorazgradivog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj u prethodnoj godini u tonama.

Najveće dopuštene mase za svako pojedino aktivno odlagalište komunalnog otpada su izračunate kao među-cilj za Republiku Hrvatsku koji se mora ispuniti do 31. prosinca 2014. godine, a on iznosi 504.117 tona biorazgradivog komunalnog otpada. Količina odloženog biorazgradivog komunalnog otpada koje mora svako pojedino odlagalište u Republici Hrvatskoj smanjiti u 2014. godini prema tom bi računu iznosila 42% količine odloženog biorazgradivog komunalnog otpada koju su operateri odlagališta prijavili u 2013. godini. U Zakonu nije definirano kako rasporediti koeficijente od odlagališta koja su bila aktivna u 2013. godini, a koja su se zatvorila tijekom iste godine [7]. Bez obzira što su ta odlagališta zatvorena u tekućoj godini, otpad stanovnika općina i gradova koji se odlagao na ta odlagališta i dalje se mora odlagati na neko drugo aktivno odlagalište. Postoje tri takva odlagališta s ukupnim udjelom u ukopno odloženim količinama biorazgradivog komunalnog otpada u 2013. godini u Republici Hrvatskoj od 1,81%. Uzimajući u obzir da će se sve više odlagališta zatvarati tijekom godina do otvorenja županijskih/regionalnih centara za gospodarenje otpadom, trebalo bi odrediti način raspodjele tog udjela.

7. ZAKLJUČAK

Radi praćenja ciljeva propisanih Zakonom održivom gospodarenju otpadom i Direktivom o odlaganju, Agencija za zaštitu okoliša je prikupila podatke o odloženom biorazgradivom komunalnom otpadu, podatke o preostalom kapacitetu i podatke o ukupno odloženom otpadu u 2013. godini. Od 146 primljenih prijava operatera aktivnih odlagališta u 2013. godini, na njih 124 je evidentirana značajna pogreška u barem jednom od tri tražena podataka. Agencija je kontaktirala sve tvrtke operatere odlagališta sa spornim prijavama te zatražila objašnjenja i ispravke, nakon čega je njih 91 dostavilo tražena objašnjenja i ispravke, a njih 33 se nije izjasnilo do datuma izrade ovog izvješća. Za jedno odlagalište je naknadno utvrđeno da se ne radi o aktivnom odlagalištu nego u greški u prijavi.

Propisani cilj smanjenja godišnjeg odlaganja biorazgradivog komunalnog do 31. prosinca 2013. od 567.131 tona nije postignut jer ukupno prijavljena količina odloženog biorazgradivog otpada u 2013. godini iznosi 870.434 tona. Evidentiran je pad od 2,4% 2013. godine u odnosu na 2012. godinu kad je odloženo 892.050 tona biorazgradivog komunalnog otpada, međutim, razlika između ove dvije godine se može pripisati korištenju različitih izvora podataka i metoda računanja udjela biorazgradive komponente u odloženom komunalnom otpadu. Ukupni prijavljeni preostali kapacitet zaključno s 31. prosinca 2012. iznosi 21.669.595 tona, dok ukupno prijavljeni preostali kapacitet zaključno s 31. prosinca 2013. godine iznosi 19.951.866 tona. Manje smanjenje preostalog kapaciteta od očekivanog je uzrokovano većinom većom kvalitetom podataka za 2013. godinu u odnosu na prošlu te izgradnji novih kapaciteta za odlaganje na postojećim odlagalištima. Zakonom su propisani ciljevi za najveću dopuštenu masu otpada koja se godišnje smije odložiti na svim neusklađenim odlagalištima u Republici Hrvatskoj, te s obzirom da u trenutku izrade ovog rada nisu bili još propisani zahtjevi i načini za utvrđivanje usklađenosti odlagališta, stupanj ispunjenosti ovih ciljeva se morao procijeniti temeljem dostupnih podataka. Prema izvršenoj procjeni, količina odloženog otpada u Republici Hrvatskoj na neusklađena odlagališta u 2013. godini prelazi propisani cilj za 2013. godinu za 13%. Sudeći prema prijavama projekata u Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, promjene trendova odlaganja otpada se očekuju od 2014. jer je većina jedinica lokalne

samouprave u Republici Hrvatskoj pokrenula projekte odvojenog skupljanja otpada. Prilikom prikupljanja podataka postalo je evidentno da veći broj operatera odlagališta ne razumije potpuno pojmove vezane uz tematiku otpad te se predlaže organiziranje edukacije operatera s kojim bi se osigurali podaci veće pouzdanosti i kvalitete. Također, potrebno je propisati jedinstvenu metodologiju za određivanje sastava komunalnog otpada odnosno načina i metoda utvrđivanja udjela biorazgradivog otpada u odloženom komunalnom otpadu kako bi se moglo s većom točnošću pratiti ispunjanje propisanih ciljeva. Provjera točnosti prijave bi se, osim provjere obavljene putem usporedbe dostupnih podataka, trebala provoditi i na terenu putem inspekcijskih nadzora odnosno na druge moguće načine koje bi provodile stručne institucije kako bi se spriječilo moguće izvješćivanje s netočnim podacima. U skladu s Zakonom, Agencija na temelju prijave operatera odlagališta za prethodnu godinu određuje koeficijente odlagališta za biorazgradivi otpad i najveću dopuštenu masu biorazgradivog komunalnog otpada koji se u kalendarskoj godini smije godišnje odložiti na odlagalištu. U 2014. godini svako odlagalište mora smanjiti odlaganje biorazgradivog komunalnog otpada za 42% u odnosu na prijavljenu odloženu količinu 2013. godine. Koeficijenti za odlagališta koja su se zatvorila tijekom 2013. godine, a koja su odložila određenu količinu otpada ostaju neraspoređena te se predlaže razmotriti način raspodjele i njihovih udjela.

8. REFERENCE

- [1] Direktiva Vijeća 1999/31/EZ od 26. travnja 1999. o odlaganju otpada, *Official Journal of the European Communities* L 182 (1999), p. 01 - 19.
- [2] HRN EN 13137:2005 Karakterizacija otpada -- Određivanje ukupnoga organskog ugljika (TOC) u otpadu, muljevima i sedimentima (EN 13137:2001).
- [3] HRN ISO 11465:2004 Kakvoća tla -- Određivanje suhe tvari i sadržaja vode na osnovi mase -- Gravimetrijska metoda (ISO 11465:1993+Cor 1:1994).
- [4] Pravilnik o gospodarenju otpadom, Narodne novine 23/14, 51/14, Zagreb (NN 23/14, 51/14).
- [5] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, Narodne novine 117/07 , 111/11 , 17/13 , NN 62/13, Zagreb (NN 117/07 , 111/11 , 17/13 , NN 62/13).
- [6] Voća N., Požgaj Đ., Rod Putar E., Korica P., Kufrin J.: Izvješće o komunalnom otpadu za 2012. godinu, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 2014.
- [7] Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Narodne novine 94/13, Zagreb (NN 94/13).

PRIMJENA INTEGRIRANIH TEHNOLOGIJA ZA SMANJENJE OTPADA, UŠTEDU ENERGIJE I SMANJENJE EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA U POLJOPRIVREDNO-PREHRAMBENOM SEKTORU

APPLICATION OF INTEGRATED TECHNOLOGIES FOR WASTE MINIMIZATION, ENERGY SAVING AND GREENHOUSE GASES EMISSION REDUCTION IN AGRO-FOOD SECTOR

dr. Andrea Hublin^{1*}; doc. dr. Mirjana Čurlin^{2*}

¹EKONERG – Institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o., Koranska 5, Zagreb, Hrvatska

²Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno biotehnološki fakultet, Pierottijeva 6, Zagreb, Hrvatska

*e-mail kontakt: andrea.hublin@ekonerg.hr, mirjana.curlin@pbf.hr

SAŽETAK

Sadašnje gospodarenje otpadom iz poljoprivredno-prehrambenog sektora u Hrvatskoj predstavlja specifičan problem za okoliš zbog neodgovarajućeg i nekontroliranog gospodarenja velikim dijelom tog otpada, što može uzrokovati onečišćenje zraka, tla, površinskih i podzemnih voda.

Primjena integriranih tehnologija u poljoprivredno-prehrambenom sektoru ima veliki potencijal u smislu smanjenja otpada, uštede energije i smanjenja emisije stakleničkih plinova. Razvojem procesa teži se nultim emisijama otpada. Poljoprivredno-prehrambeni otpad može se koristiti za proizvodnju biogoriva pomoću različitih procesa fermentacije.

Optimizacija integriranog procesnog sustava vodi efikasnijem korištenju sirovina i otpada, u svrhu ostvarivanja održivog procesa.

Ciljevi EU, 20% energije proizvedene iz obnovljivih izvora i 20% smanjenja emisije stakleničkih plinova do 2020., mogu se ispuniti primjenom novih, ekološki prihvatljivih tehnologija za proizvodnju energije i obradu otpada uz manje troškove, u pogledu potrošnje energije i utjecaja na okoliš.

Ključne riječi: *Poljoprivredno-prehrambeni otpad, energija, emisija stakleničkih plinova*

ABSTRACT

Current management of agro-food waste in Croatia represents a specific environmental problem due to inadequate and uncontrolled management practices of a large portion of this waste stream which can lead to pollution of air, soil, surface and ground water.

Application of integrated technologies in agro-food sector has significant potential in terms of waste minimization, energy saving and greenhouse gases (GHGs) emission reduction. Processes development tends to zero emissions of waste. Agro-food waste can be used for production of biofuel through various fermentation processes. Optimization of integrated process systems leads to more effective utilization of resources and waste in order to accomplish sustainable process.

The EU targets, 20% of energy generation from renewable sources and 20% reduction of GHG emissions by 2020, can be fulfilled by the implementation of new environmentally-friendly technologies to produce energy and treat waste in a less costly way, in terms of energy consumption and environmental impact.

Keywords: *Agro-food waste, energy, GHG emission*

1. INTRODUCTION

The main reasons for the spread of renewable energy sources are to increase the security of the energy supply in order to achieve energy independence. The dependence on fossil fuels as primary energy source has led to global climate change, environmental degradation, and human health problems [1]. The accumulation of organic waste is thought to be reaching critical levels in almost all regions of the world. These organic wastes require to be managed in a sustainable way to avoid depletion of natural resources, minimize risk to human health, reduce environmental burdens and maintain an overall balance in the ecosystem [2]. Producing and utilizing renewable energy, both in a global and a national context, is necessitated by the synergistic effect of climate change and the long term, continuous price rise of fossil fuels [3]. Bio-energy related processes convert the energy value of various biomass residuals to socially useful energy. Biomass residuals come from agricultural, animal, and a variety of industrial operations, as well as from human wastes. Furthermore, the wastes often cause serious environmental harm, and their collection and conversion to energy would provide a giant benefit to environmental quality [4].

The management of agro-food waste has posed a serious economic and environmental concern. Recently, anaerobic digestion (AD) of agro-food wastes has attracted more interest because of current environmental problems, most especially those concerned with global warming [5]. Bioconversion of agro-food waste to energy in terms of ethanol, hydrogen (H₂), methane (CH₄) and biodiesel is economically viable. In addition to biogas, a nutrient-rich digestate produced can also be used as fertilizer or soil conditioner [6]. Due to increasing needs for renewable energy generation and diversion of organic residuals from landfills to reduce the GHG emissions and other environmental impacts, treatment of agro-food waste using AD technologies has become a more attractive method for agro-food waste management [7]. The choice of method must always be based on maximum safety, minimum environmental impact, and as far as possible, on valorisation of the waste and final recycling of the end products [8].

The production of biogas, particularly CH₄ via anaerobic processes, is an acceptable solution for waste management because of its low cost, low environmental impact, low production of residual sludge and its utilization as a renewable energy source [8, 9, 10]. The AD is a chain of interconnected biological reactions, where the organic matter (in the form of carbohydrates, proteins, lipids or more complex compounds), is transformed into CH₄, carbon dioxide (CO₂), and anaerobic biomass, in an oxygen-free environment. This biological process is used to simultaneously treat waste and wastewater and to produce biogas [11]. Different types of agro-food waste result in varying degrees of CH₄ yields, and thus the effects of mixing various types of agro-food waste and their proportions should be determined on a case by case basis [7]. AD technologies show great adaptability to a broad spectrum of different input materials [12]. AD of single substrates (mono-digestion) presents some drawbacks linked to substrate properties. For instance, (i) sewage sludge (SS) is characterized by low organic loads; (ii) animal manures (AM) have low organic loads and high nitrogen (N) concentrations, that may inhibit methanogens; (iii) the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) has improper materials as well as a relatively high concentration of heavy metals; (iv) crops and agro-industrial wastes are seasonal substrates, which might lack N; (v) slaughterhouse wastes (SHW) include risks associated with the high concentration of N and/or long chain fatty acids (LCFA), both potential inhibitors of the methanogenic activity; and (vi) food waste (FW) contains easily biodegradable macromolecular organic matter, but also contains various trace elements [13, 14]. Most of these problems can be solved by the addition of a co-substrate in what has been recently called anaerobic co-digestion (AcoD).

The improvement in CH₄ production is mainly a result of the increase in organic loading rate (OLR). It is important to choose the best co-substrate and blend ration in order to: (i) favour positive interactions, i.e. synergisms, macro- and micro-nutrient equilibrium and moisture balance; (ii) dilute inhibitory or toxic compounds; (iii) optimise CH₄ production, and (iv) enhance digestate stability [15, 16]. Pretreatment techniques are used to enhance the AD of organic solid waste, including mechanical, thermal, chemical and biological methods [17]. Solid-state anaerobic digestion (SS-AD) generally occurs at solid concentrations higher than 15%. In contrast, liquid anaerobic digestion (AD) handles feedstocks with solid concentrations between 0.5% and 15%. AM, SS, and FW are generally treated by liquid AD, while OFMSW and lignocellulosic biomass such as crop residues and energy crops can be processed through SS-AD [18].

With conservation and efficiency in effect, renewable substitutes for fossil fuels will have a chance to slow or reverse global warming, but only if they can be implemented on a very large scale which must be considered when evaluating the value of any renewable-energy scheme [4]. There are multiple characteristics that make this technology applicable to industrial energy generation processes. Nevertheless, improvements in both environmental characteristics and overall process economics are still required to make the technology acceptable broad base. An important economic consideration is the fact that the biogas can be produced at the biomass production site reducing transportation costs. The AD plants can be scaled down that makes the process ideal for rural area development [19].

Pursuant to Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources (RES), Croatia has undertaken to increase the use of renewable energy - the mandatory 20% share of RES in gross final energy consumption in the European Community must be achieved by 2020. To fulfil this primary objective, Croatia has adopted National Renewable Energy Action Plan by 2020 (NREAP) on 17 October 2013 [20]. The NREAP determines the overall national target for renewable energy to the prescribed methodology and sectoral targets and trajectories in the production of electricity consumption for heating and cooling and transport energy from RES. The NREAP determines the existing and planned policy for RES as instruments, measures and mechanisms in order to achieve the goals by 2020. Biogas from wastes is a versatile renewable energy source, which can be used for replacement of fossil fuels in power and heat production, and it can be used also as gaseous vehicle fuel. Methane-rich biogas (biomethane) can replace natural gas as a feedstock for producing chemicals and materials or simply be injected into the gas grid. It can significantly reduce GHG emissions compared to fossil fuels [21, 22, 23, 24].

2. METHODOLOGY

2.1. Waste minimization in agro-food sector

The transposition of the Acquis in the area of waste management into the Croatian legislation has been completed. Waste Framework Directive 2008/98/EC is transposed by the Sustainable Waste Management Act (Official Gazette No. 94/13). Management of the different types of waste is harmonised by objectives of the waste hierarchy. The following waste hierarchy shall apply as a priority order in waste prevention and management legislation and policy: (a) prevention; (b) preparing for re-use; (c) recycling; (d) other recovery, e.g. energy recovery; and (e) disposal.

In the agro-food industry zero-point discharge is desired. In general there are three types of strategies: (i) end of pipe abatement, (ii) reduction at source, and (iii) zero-point discharge.

Application of integrated technology in agro-food sector enhances the safety and quality of the product as well as reducing the energy requirements and environmental impact. Integrated technologies such as high-rate anaerobic reactors [25] and membrane technology allow recovery and re use of by product and wastes as raw material. Using different membrane processes separated substances are often recoverable in a chemically unchanged form and are therefore easily re-used.

2.2. Anaerobic digestion of agro-food waste

The AD is a process by which almost any organic waste can be biologically transformed into another form, in the absence of oxygen. The diverse microbial populations degrade organic waste, which results in the production of biogas and other energy-rich organic compounds as end products. A series of metabolic reactions such as hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis and methanogenesis are involved in the process of anaerobic decomposition [14, 19, 26], as shown in Fig.1.

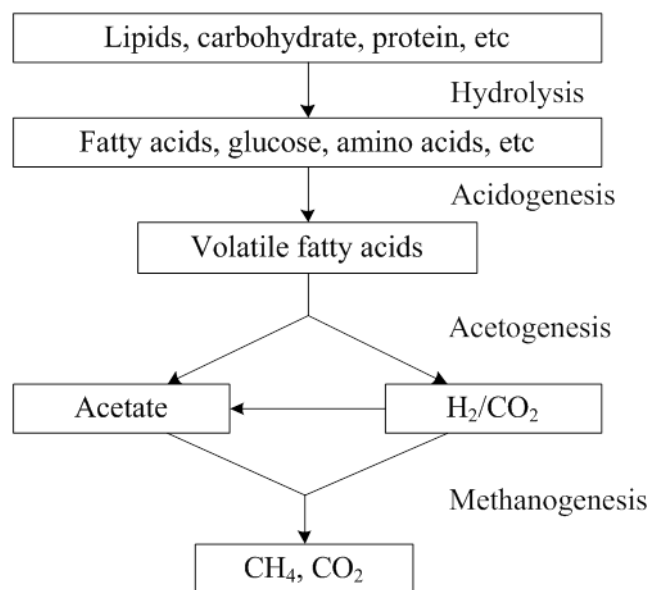


Figure 1. Four steps in the AD of organic substrate [14]

The biodegradation process begins with the first phase in which high molecular materials and granular organic substrates (e.g., lipids, carbohydrates, protein) are hydrolysed by fermentative bacteria into small molecular materials and soluble organic substrates (e.g., fatty acids, glucose, amino acids). During the AD of complex organic matter the hydrolysis is the first and often rate-limiting step [27] because the hydrolytic enzyme should be primarily adsorbed on the surface of solid substrates [28]. Secondly, small molecular materials and granular organic substrates are degraded into volatile fatty acids (VFA) (e.g., acetate, propionate and butyrate) along with the generation of by-products. Thirdly, the organic substrates produced in the second step are further digested into acetate, H₂, CO₂ which could be used by methanogens for CH₄ production [14]. Feedstock characteristics and process configuration are the main factors affecting the performance of AD [19].

2.2.1. Characteristic of agro-food waste

The physical and chemical characteristics of the agro-food waste affect the biogas production and process stability [6]. Substrate mixture should be appropriately regulated for optimal operation as to carbon/nitrogen (C/N) ratio, moisture, pH, concentrations of nutrients, inhibitors,

toxic compounds, biodegradable organic matter, dry matter, and other factors [15]. The AcoD is preferably used for improving yields of AD of organic wastes. Co-digestion of mixtures stabilizes the feed to the bioreactor, thereby improving the C/N ratio and decreasing the concentration of nitrogen [29]. The use of a co-substrate with a low nitrogen and lipid content waste increases the production of biogas due to complementary characteristics of both types of waste, thus reducing problems associated with the accumulation of intermediate volatile compounds and high ammonia concentrations [30]. Mixtures of agricultural, municipal and industrial wastes can be digested successfully and efficiently together (Table 1).

Table 1. Relative biogas production rates and CH₄ yield from co-digestion of agro-food organic waste [2]

Substrate	Co-substrate	Biogas production rate (l/d)	CH ₄ yield (l/kg VS*)	Comments	Ref.
Cattle excreta	Olive waste mill	1.10	179	The co-digestion system produced 337% higher biogas than that of excreta alone.	[31]
Cattle manure	Agricultural waste and energy crops	2.70	620	Significant increase in biogas production from the co-digestion was observed.	[32]
Fruit and vegetable waste	Abattoir wastewater	2.53	611	The addition of abattoir wastewater to the feedstock increased biogas yield up to 51.5%.	[33]
Pig manure	Fish and bio-diesel waste	16.4	620	Highest biogas production rate was obtained by a mixture of wastes.	[34]
Potato waste	Sugar waste beet	1.63	680	Co-digestion improved CH ₄ yield up to 62% compared to the digestion of potato waste alone.	[35]
Primary sludge	Fruit and vegetable waste	4.40	600	Co-digestion produced more biogas as compared to primary sludge alone.	[36]
Slaughterhouse waste	Municipal solid waste	8.60	500	Biogas yield of the co-digestion systems doubled that of the slaughter house waste digestion system.	[29]

* VS: Volatile solids

2.2.2. Anaerobic bioreactor configurations

According to Ward and his co-workers, an anaerobic bioreactor should be designed in a way that allows a continuously high and sustainable OLR with a short hydraulic retention time (HRT) and has the ability to produce the maximum level of CH₄ [37]. Several types of bioreactors are currently in use but the three major groups of bioreactors commonly in use include batch reactors, a one stage continuously fed system and a two stage or multi-stage continuously fed system [2]. Batch reactors are the simplest, filled with the feedstock and left for a period that can be considered to be the HRT, after which they are emptied. The second type of bioreactors is known as 'one-stage continuously fed systems', where all the biochemical reactions take place in one bioreactor. The third type of bioreactors are 'two-stage' or 'multi-stage continuously fed systems', in which various biochemical processes such as hydrolysis, acidification,

acetogenesis and methanogenesis take place separately [37]. The two-stage system is considered a promising process to treat organic wastes with high efficiency in term of degradation yield and biogas production [38, 39]. Currently, most of anaerobic digesters are single-stage systems, which e.g. accounts for 95% of the European full-scale plants [40].

AD of FW is a complex process that should simultaneously digest all organic substrates (e.g., carbohydrate and protein) in a single-stage system. It is governed by different key parameters such as temperature, VFA, pH, ammonia, nutrients, trace elements, and others. A good nutrient and trace element balance, and a stable environment are required for microbial growth. It is therefore extremely important to maintain the key parameters within the appropriate range for long term operation of AD [14, 41].

Integrated processes for the sustainable treatment of livestock waste consist of AD for biogas production, and different type of reactors for the treatment of the liquid stream produced from the AD. Integrated technology for the sustainable treatment of livestock waste such as sequencing batch reactor (SBR) and membrane bioreactor (MBR) can be applied for treatment of liquid stream from AD.

3. DISCUSSION

3.1. Techno-economic and ecological aspects of biogas production from agro-food waste

Energy recovery from biogas has taken a leap forward in the European Union. The electricity generation from biogas in 2012, with the growth rate of 22.2% reached 46.3 TWh, and 64.9% of this was from cogeneration plants [42]. Germany is Europe's biggest biogas producer and the market leader in biogas technology. The primary biogas energy output reached 6.4 Mtoe in 2012, which was essentially picked up by electricity generation which rose 28.6% year-on-year to reach 27.2 TWh by the end of 2012. In 2013, the number of biogas plants reached 9,200, including 107 units producing biomethane [43, 44].

In Croatia, eleven biogas plants for agro-industrial wastes with a total installed power of 11.135 MW are connected to the power grid, within the system of eligible power producers. Additionally, another nine biogas plants, with total installed power of 7.544 MW, have signed power purchase agreements with the Croatian Energy Market Operator (HROTE). The Croatian Tariff System makes the size of the biogas plant of ≤ 300 kW advantageous for investors.

According to the results of laboratory batch-tests based on the work of Hublin and her co-workers [45, 46], parameters of the full-scale biogas plant designed to process manure and whey from dairy cows on Croatian farms have been estimated. The economic viability of a medium-scale biogas power plant has been investigated and a full-scale biogas power plant has been modelled [47]. Using the manure and whey from 450 cows to feed the digester, it is estimated that 686,830 m³ of CH₄ could be produced each year, capable of generating a maximum 2,160,000 kWh of electricity and 2,448,000 kWh of heat. It is assumed that the electricity produced would be fed into the national grid system and the price paid would be the subsidised tariff from the Croatian Tariff System for Electricity Production from Renewable Energy Sources for 14 years, with market prices applying thereafter. Some of the generated heat would be used to heat the digester and the rest sold to nearby greenhouses and the residue spread on farmland. Plant would be profitable in the twelfth and fifteenth year. CO₂ emissions would be reduced, by approximately 1.7 kilotonnes a year for each kWh of electricity produced and by 1.8 kilotonnes a year for each kWh of heat generated. This renewable energy

is assumed to replace electricity and heat generated from coal-fired power plants. CH₄ reductions of 5.7 kilotonnes CO₂-equivalents (the amount of CO₂ which would have the same global warming impact) a year could also be achieved by preventing farm waste CH₄ emissions from entering the atmosphere. In addition to producing RES, this method could avoid pollution of water from manure and whey entering rivers and streams.

A pilot-scale AcoD research study by Liu and his co-workers [48] elucidate the feasibility of AD as an effective disposal method for municipal biomass waste (MBW), focusing on biogas production and GHG reduction. FW, fruit vegetable waste (FVW), and dewatered SS were co-digested in a continuous stirred-tank reactor (CSTR) for biogas production. Stable operation was achieved with a high biogas production rate. Compared with the landfill baseline, it is concluded that GHG reduction is an important environmental benefit from MBW digestion. Therefore, AcoD is assumed as a promising alternative solution for MBW because it contributes significantly to the sound management of municipal solid waste.

4. CONCLUSION

The AcoD of agro-food waste gives the possibility of treating different kind of organic waste more efficient, increasing specific CH₄ yields. AD technology can solve two complex problems. On one side it is efficient conversion from biodegradable organic waste to electricity production; on the other it allows efficient wastes treatment.

Advantages of AcoD of biodegradable agro-food waste regarding the profitability of the plant and the convenience in realising an AD plant to produce biogas is enabled by the benefits from the sale of electric energy at favourable prices.

Positive ecological effects could be obtained by using biogas. Direct reduction of CO₂ emissions could be achieved by using biogas as fuel, which encourages rational energy consumption and energy savings. Indirect reduction of CH₄ emissions could be accomplished by reducing the amount of landfilled waste.

5. LIST OF ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

- AcoD - anaerobic co-digestion
- AD - anaerobic digestion
- AM - animal manure
- CH₄ - methane
- C/N - carbon/nitrogen ratio
- CO₂ - carbon dioxide
- CSTR - continuous stirred-tank reactor
- FVW - fruit vegetable waste
- FW - food waste
- GHG - greenhouse gas
- H₂ - hydrogen
- HROTE - Croatian Energy Market Operator

HRT - hydraulic retention time
LCFA - long chain fatty acids
MBR - membrane bioreactor
MBW - municipal biomass waste
N - nitrogen
NREAP - National Renewable Energy Action Plan
OFMSW - organic fraction of municipal solid waste
OLR - organic loading rate
RES - renewable source
SBR - sequencing batch reactor
SHW - slaughterhouse waste
SS-AD - solid-state anaerobic digestion
VFA - volatile fatty acids

6. REFERENCES

- [1] Aragaw T., Andargie M., Gessesse A.: Co-digestion of cattle manure with organic kitchen waste to increase biogas production using rumen fluid as inoculums; *International Journal of Physical Sciences* 8 (2013) 443-450
- [2] Khalid A., Arshad M., Anjum M., Mahmood T., Dawson L.: The anaerobic digestion of solid organic waste; *Waste Management* 31 (2011) 1737-1744
- [3] Meggyes A., Nagy V.: Biogas and Energy Production by Utilization of Different Agricultural Wastes; *Acta Polytechnica Hungarica* 9 (2012) 65-80
- [4] Rittmann B.E.: Opportunities for Renewable Bioenergy Using Microorganisms; *Biotechnology and Bioengineering* 100 (2008) 203-2012
- [5] Nasir I.M., Mohd Ghazi T.I., Omar R.: Production of biogas from solid organic wastes through anaerobic digestion: a review; *Applied Microbiology and Biotechnology* 95 (2012) 321-329
- [6] Kiran E.U., Trzcinski A.P., Jern Ng W., Liu Y.: Bioconversion of food waste to energy: A review; *Fuel* 134 (2014) 389-399
- [7] Chen X., Romano R.T., Zhang R.: Anaerobic digestion of food wastes for biogas production; *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3 (2010) 61-72
- [8] Ahring B.K.: Perspectives for Anaerobic Digestion; *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 81 (2003) 1-30
- [9] Angelidaki I., Karakashev D., Batstone D.J., Plugge C.M., Stams A.J.M.: Biomethanation and Its Potential; *Methods in Enzymology* 494 (2011) 327-351
- [10] Morita M., Sasaki K.: Factor influencing the degradation of garbage in methanogenic bioreactors and impacts on biogas formation; *Applied Microbiology and Biotechnology* 94 (2012) 575-582
- [11] Donoso-Bravo A., Mailier J., Martin C., Rodriguez J., Aceves-Lara C.A., Wouwer A.V.: Model selection, identification and validation in anaerobic digestion: A review; *Water Research* 45 (2011) 5347-5364

- [12] Kwietniewska E., Tys J.: Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34 (2014) 491-500
- [13] Mata-Alvarez J., Dosta J., Romero-Güiza M.S., Fonoll X., Peces M., Astals S.: A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 36 (2014) 412-427
- [14] Zhang C., Su H., Baeyens J., Tan T.: Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38 (2014) 383-392
- [15] Mata-Alvarez J., Dosta J., Macé S., Astals S.: Codigestion of solid wastes: A review of its uses and perspectives including modeling; *Critical Reviews in Biotechnology* 31 (2011) 99-111
- [16] Astals S., Batstone D.J., Mata-Alvarez J., Jensen P.D.: Identification of synergistic impacts during anaerobic co-digestion of organic wastes; *Bioresource Technology* 169 (2014) 421-427
- [17] Ariunbaatar J., Panico A., Esposito G., Pirozzi F., Lens P.N.L.: Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solid waste; *Applied Energy* 123 (2014) 143-156
- [18] Li Y., Park S.Y., Zhu J.: Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 821-826
- [19] Molino A., Nanna F., Ding Y., Bikson B., Braccio G.: Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste; *Fuel* 103 (2013) 1003-1009
- [20] Ministry of Economy, (2013). National Renewable Energy Action Plan by 2020 [online]. Available at: <https://vlada.gov.hr/UserDocsImages/Sjednice/Arhiva/120.%20-%202.pdf> [June 30, 2014]
- [21] Liebetrau J., Reinelt T., Clemens J., Hefermann C., Friehe J., Weiland P.: Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector; *Water Science and Technology* 67 (2013) 1370-1379
- [22] Rehl T., Müller J.: CO₂ abatement costs of greenhouse gas (GHG) mitigation by different biogas conversion pathways; *Journal of Environmental Management* 114 (2013) 13-25
- [23] Scholz L., Mayer-Aurich A., Kirschke D.: Greenhouse Gas Mitigation Potential and Mitigation Costs of Biogas Production in Brandenburg, Germany; *AgBioForum* 14 (2011) 133-141
- [24] Weiland P.: Biogas production: current state and perspectives; *Applied Microbiology and Biotechnology* 85 (2010) 849-860
- [25] Guardia-Puebla Y., Rodriguez-Pérez S., Jiménez-Hernández J., Sánchez-Girón V., Morgan-Sagastume J., Noyoly A.: Experimental design technique is useful tool to compare anaerobic system; *Renawable Bioresources* (2014) <http://dx.doi.org/10.7243/2052-6237-2-3>
- [26] Appels L., Assche A.V., Willems K., Degrève J., Impe J.V., Dewil R.: Peracetic acid oxidation as an alternative pre-treatment for the anaerobic digestion of waste activated sludge; *Bioresource Technology* 102 (2011) 4124-4130
- [27] Angelidaki I., Sanders W.: Assessment of the anaerobic biodegradability of macropollutants; *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 3 (2004) 117-129
- [28] Coelho N.M.G., Droste R., Kennedy K.J.: Evaluation of continuous mesophilic, thermophilic and temperature phased anaerobic digestion of microwaved activated sludge; *Water Research* 45 (2011) 2822-2834
- [29] Cuetos M.J., Gómez X., Otero M., Morán A.: Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste (SHW) at laboratory scale: Influence of co-digestion with the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW); *Biochemical Engineering Journal* 40 (2008) 99-106

- [30] Castillo M.E.F., Cristancho D.E., Arellano A.V.: Study of the operational conditions for anaerobic digestion of urban solid wastes; *Waste Management* 26 (2006) 546-556
- [31] Goberna M., Schoen M.A., Sperl D., Wett B., Insam H.: Mesophilic and thermophilic co-fermentation of cattle excreta and olive mill wastes in pilot anaerobic digesters; *Biomass and Bioenergy* 34 (2010) 340-346
- [32] Cavinato C., Fatone F., Bolzonella D., Pavan P.: Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes end energy crops: Comparison of pilot and full scale experiences; *Bioresource Technology* 101 (2010) 545-550
- [33] Bouallagui H., Lahdheb H., Romdan E.B., Rachdi B., Hamdi M.: Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition; *Journal of Environmental Management* 90 (2009) 1844-1849
- [34] Álvarez J.A., Otero L., Lema J.M.: A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes; *Bioresource Technology* 101 (2010) 1153-1158.
- [35] Parawira W., Murto M., Zvauya R., Mattiasson B.: Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves; *Renewable Energy* 29 (2004) 1811-1823
- [36] Gómez X., Cuetos M.J., Cara J., Morán A., García A.I.: Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes: Conditions for mixing and evaluation of the organic loading rate; *Renewable Energy* 31 (2006) 2017-2024
- [37] Ward A.J., Hobbs P.J., Holliman P.J., Jones D.L.: Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources; *Bioresource Technology* 99 (2008) 7928-7940
- [38] Fezzani B., Cheikh R.B.: Two-phase anaerobic co-digestion of olive mill wastes in semi-continuous digesters at mesophilic temperature; *Bioresource Technology* 101 (2010) 1628-1634
- [39] Zuo Z., Wu S., Zhang W., Dong R.: Performance of two stage vegetable waste anaerobic digestion depending on varying recirculation rates; *Bioresource Technology* 162 (2014) 266-272
- [40] Nagao N., Tajima N., Kawai M., Niwa C., Kurosawa N., Matsuyama T., Yusoff F.M., Toda T.: Maximum organic loading rate for the single-stage wet anaerobic digestion of food waste; *Bioresource Technology* 118 (2012) 210-218
- [41] Naik L., Gebreegzabher Z., Tumwesige V., Balana B., Mwirigi J., Austin G.: Factors determining the stability and productivity of small scale anaerobic digesters; *Biomass and Bioenergy* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.055>
- [42] EUROBSERV'ER, (2013). The state of renewable energies in Europe [online]. Edition 2013, 13th EurObserv'ER Report. Available at: http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan13-gb.pdf [June 30, 2014]
- [43] AEBIOM, (2012). EU Handbook - Biogas Markets [online]. Cross Border Bioenergy Working Group on Biogas Technologies, European Biomass Association. Available at: http://www.crossborderbioenergy.eu/fileadmin/crossborder/Biogas_MarketHandbook.pdf [June 30, 2014]
- [44] GreenGasGrids, (2013). Biomethane Guide for Decision Makers, Policy guide on biogas injection into the natural gas grid [online]. A project under the Intelligent Energy – Europe programme, Fraunhofer UMSICHT, Oberhausen, Germany: Available at: http://www.greengasgrids.eu/fileadmin/greengas/media/Downloads/Documentation_from_the_GreenGasGrids_project/Biomethane_Guide_for_Decision_Makers.pdf [June 30, 2014]
- [45] Hublin A., Ignjatić Zokić T., Zelić B.: Optimization of biogas production from co-digestion of whey and cow manure; *Biotechnology and Bioprocess Engineering* 17 (2012) 1284-1293

- [46] Hublin A., Zelić B.: Modelling of the whey and cow manure co-digestion process; Waste Management & Research 31 (2013) 353-360
- [47] Hublin A., Schneider D.R., Džodan J.: Utilization of biogas produced by anaerobic digestion of agro-industrial waste: Energy, economic and environmental effects; Waste Management & Research 32 (2014) 626-633
- [48] Liu X., Gao X., Wang W., Zheng L., Zhou Y., Sun Y.: Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogas production and GHG reduction; Renewable Energy 44 (2012) 463-468

BAZA PODATAKA O OTPADU I PROVOĐENJE PRAVILNIKA O UPRAVLJANJU POSEBNIM KATEGORIJAMA OTPADA U FBiH

DATABASE ON WASTE AND ENFORCEMENT OF REGULATIONS OF THE MANAGEMENT
OF SPECIFIC WASTE STREAM IN FBiH

doc. dr. sc. Amra Serdarević, dipl.inž.građ.^{1*}; Indira Sulejmanagić, dipl.inž.građ.^{2*}

¹Građevinski fakultet - Odsjek za hidrotehniku –Ekološko inženjerstvo, Univerzitet u Sarajevu
Patriotske lige 30, Sarajevo, BiH

²Fond za zaštitu okoliša FBiH, Hamdije Čemerlića 39A, Sarajevo, BiH

*e-mail kontakt: amra.serdarevic@gf.unsa.ba, indira.sulejmanagic@fzofbih.org.ba

SAŽETAK

U Bosni i Hercegovini, na nivou entiteta, kantona i općina, ne postoji jedinstven i uvezan sistem evidencije toka otpada. U cilju poboljšanja stanja, u pogledu kontrole i kvalitetnog upravljanja otpadom u FBiH, nametnula se potreba i interes da se utvrdi realno postojeće stanje u oblasti zbrinjavanja otpada. Pokrenute su aktivnosti na formiranju baze podataka i analizirani su rezultati podataka iz prve godine. U radu su prikazani i rezultati primjene Pravilnika o upravljanju i zbrinjavanju ambalažnog kao i otpada od električnih i elektronskih proizvoda na području FBiH, uz komentare i zaključna razmatranja.

Ključne riječi: baza podataka, posebne vrste otpada, reciklaža, operater

ABSTRACT

In Bosnia and Herzegovina, the entities, cantons and municipalities, there is no single and bound system of records of the waste stream. In order to improve the situation, in terms of quality control and waste management in the Federation BiH there was a need and interest to determine the real existing situation in the area of waste management. The activities were initiated in regard to development of data base and data of the first year were analyzed. In this paper the results of the Regulations on the management and disposal of packaging as well as waste from electrical and electronic products in the FBiH are presented including comments and concluding observations.

Keywords: databases, special type of waste, recycling, operator

1. UVOD

Zakonom o upravljanju otpadom FBiH (Sl. Novine FBiH, broj 33/03), uređena su pravila sistemskog upravljanja otpadom, koja za cilj imaju postizanje i osiguravanje preduslova za sprečavanje nastajanja otpada, njegovu preradu, ponovnu upotrebu, reciklažu, korištenje za proizvodnju energije i sigurno odlaganje.

Donošenje Federalne Strategije upravljanja otpadom propisano je članom 48. Zakona o zaštiti okoliša i čini sastavni dio Strategije zaštite okoliša. Strategijom se definira politika i strateške smjernice zasnovane na općim načelima Evropske unije, transponiranim kroz Federalni zakon o

upravljanju otpadom i to prvenstveno u dijelu koji se odnosi na prioritete i temeljna načela upravljanja otpadom. Na području Federacije Bosne i Hercegovine (FBiH) ne postoji jedinstven, uvezan sistem evidencije toka otpada (od izvora nastajanja, načina prikupljanja, transporta, metode reciklaže, uporabe, spaljivanja, izvoza ili deponovanja). Na nivou kantona i općina u pogledu prikupljanja i obrade podataka je neujednačena situacija, a u nekim područjima se uopće ne provode detaljne evidencija o produkciji i odlaganju otpada ili su podaci koji se navode često nerealni u odnosu na stanje na terenu.

U cilju poboljšanja stanja u pogledu kontrole i kvalitetnog upravljanja otpadom u FBiH, nameće se potreba i interes da se utvrdi realno postojeće stanje u oblasti zbrinjavanja otpada uključujući aktivan angažman i uvezivanje na nivou FBiH, komunalnih preduzeća, registriranih operatora, kantonalnih ministarstava, općinskih službi i drugih. Uobičajeno u drugim državama je da ovakav informacioni sistem/bazu podataka, vode Agencije za zaštitu okoliša. Obzirom da je u BiH, radi specifičnog političkog uređenja, onemogućeno formiranje ovakve agencije na nivou države i neizvjesno je njezino uspostavljanje, u više navrata je razmatrano uspostavljanje agencija na entitetskim nivoima, što nije provedeno, te još uvijek ne postoji interes za novim institucijama.

Kako operativno postoji potreba i interes za ovakvom bazom podataka, tako je na inicijativu Fonda za zaštitu okoliša FBiH, početkom 2013.godine, pokrenuta suradnja sa Građevinskim fakultetom u Sarajevu na zajedničkom utvrđivanju metodologije i provođenja planiranih aktivnosti.

Da bi se identificiralo trenutno stanje u sferi prikupljanja, odlaganja otpada, kao i tretmana posebnih kategorija otpada, predviđena su dva nivoa.

Na prvom nivou, planirana je priprema anketnih obrazaca za komunalna preduzeća, registrirane operatere, nadležne institucije sektora okoliša i prostornog uređenja u kantonima i općinama, kao i druge subjekte koji su direktno ili indirektno uključeni u proces zbrinjavanja otpada. Zatim, planirano je da se podaci obrade i sistematiziraju u tabelama, a rezultati iskoriste kao uvid u stanje i stupanj realizacije Planova upravljanja otpadom po općinama odnosno kantonima.

Kao drugi nivo, predviđeno je prikupljanje nedostajućih podataka, nadogradnja postojećih podataka, te priprema i izrada software-a za tehničko-ekonomsku analizu prikupljanja, transporta i konačnog zbrinjavanja na nivou općina/komunalnih preduzeća.

Takođe, predložena je organizacija i pohranjivanje podataka u jednu bazu (GIS) koja bi za početak bila dostupna centralnom uredu (Fond za zaštitu okoliša FBiH), a nakon ustrojstva programa, obuke po kantonima, podaci bi se dopunjavali i bili dostupni na različitim nivoima, svim korisnicima, uz organizovane obuke, edukaciju, izradu vodiča i priručnika za korištenje software-a.

2. OSVRT NA TRENUTNO STANJE U ZBRINJAVANJU OTPADA I POTREBA ZA FORMIRANJEM JEIDNSTVENE BAZE PODATAKA O OTPADU

Detaljna analiza trenutnog stanja u oblasti upravljanja otpadom na nivou Federacije BiH bi izlazila iz okvira definiranih mogućnostima izlaganja u ovom radu. Međutim, osvrt koji se odnosi na analizu stanja, usko je vezan za prikaz stanja i tekućih problema u FBiH koji su utjecali na pokretanje aktivnosti ka uspostavljanju jedinstvene baze podataka, kao i implementaciju Pravilnika o upravljanju posebnim vrstama otpada (ambalažni, elektronski i elektronički otpad) sa osvrtom na rezultate sa terena i zaključnim razmatranjima.

2.1. Osvrt na trenutno stanje u oblasti upravljanja otpadom u FBiH

Federalni plan upravljanja otpadom za period 2012.-2017. godina, kao provedbeni dokument Strategije, usmjeren je ka realizaciji i ostvarenju okolišno održivog ekonomskog razvoja, jačanju cjelovitog pristupa u rješavanju problema upravljanja otpadom i određivanja prioriteta na nivou FBiH [1].

Uvidom u trenutno stanje u FBiH, na bazi raspoloživih podataka i konataka, uočeni su slični problemi koji dominiraju u većini kantona tj. općina. To su nizak stupanj pokrivenosti uslugama, kao i dalje prisutno, nekontrolirano i nelegalno odlaganje otpada u prostoru nepripremljenom za takve namjene. Neadekvatno odložen otpad izvor je zaraznih bolesti, čiji se uzročnici prenose na ljude i životinje direktnim kontaktom ili putem vode i kroz tlo. Također, evidentan je nizak stupanj primarne selekcije otpada, nepostojanje zelenih otoka i reciklažnih dvorišta, a sve to prati i uglavnom neadekvatna baze podataka, registri zagađivača i proizvođača otpada, tako da je skoro pa nemoguće pratiti tok otpada u cjelosti.

Podaci o odvojenom prikupljanju, reciklaži i kompostiranju ukazuju na vrlo nizak stupanj praktične implementacije načela upravljanja otpadom. Nešto bolja situacija u ovom domenu se može uočiti od trenutka stupanja na snagu Pravilnika o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom [3], odnosno Pravilnika o upravljanju otpadom od električnih i elektronskih proizvoda [4]. Osvrt na primjenu pravilnika, kratak prikaz i komentari na rezultate u prvoj odnosno drugoj godini implementacije nalazi se u nastavku rada, kroz zasebno obrađeno poglavlje.

Međutim, što se tiče odlaganja komunalnog otpada na sanitaran način, većina općinskih odlagališta i dalje ne ispunjava tehničke uvjete kojima se garantiraju minimalni utjecaji na okoliš te ovaj problem tretira se jednako kao problem nelegalnih odlagališta. Premda su prema odredbama Zakona o okolišu općinska odlagališta trebala biti zatvorena za upotrebu i sanirana do 01.01.2008. godine, to još uvijek nije sprovedeno i predstavljaju i dalje prioritete u rješavanju nadležnih ministarstava.

Strategijom zaštite okoliša 2012. – 2018., planirana je uspostava suvremenih Regionalnih centara za upravljanje otpadom (RCUO) u sklopu čega se trebaju definirati lokacije sanitarnih odlagališta. Kako je strateško opredjeljenje za regionalne centre, treba se istaći da do realizacije se dolazi sporije jer je potrebno riješiti niz međuopćinskih pitanja, od toga da je potrebno definirati regije, odnosno uskladiti potrebe općina, uskladiti prostorne planove i planove upravljanja otpadom i izvršiti izbor lokacije koja će zadovoljiti strateške, tehnokonomске i okolišne uvjete. Strategijom je procijenjeno da će u FBiH biti potrebno formirati 10 regionalnih RCUO, odnosno 12 regija. Pri tome, Kanton Sarajevo i Zenica su izuzeti iz analiza zbog već postojećih sanitarnih deponija. Na tim lokacijama se planira samo dalja dogradnja i proširenje u skladu sa Kantonalnim planovima upravljanja otpadom i pretvorbama u RCUO.

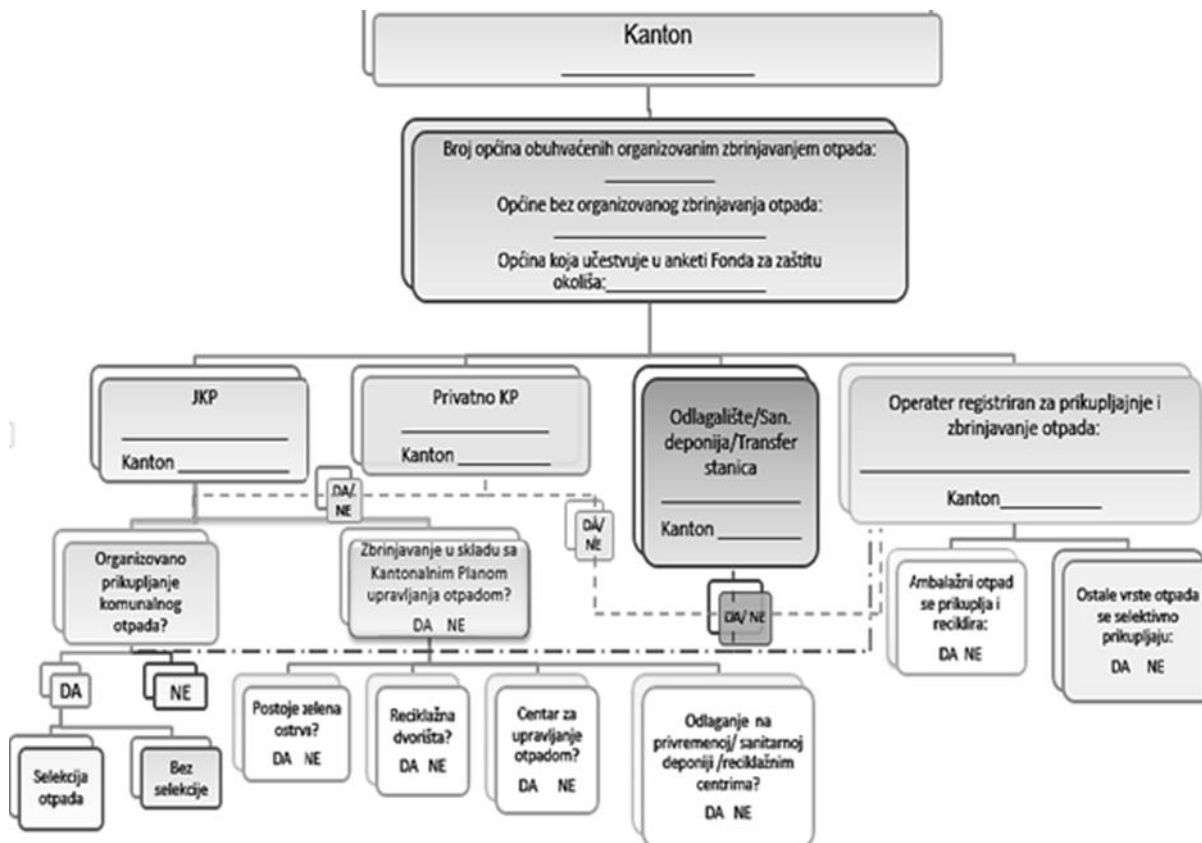
Što se tiče opasnog otpada, do sada je praksa zbrinjavanja opasnog otpada u FBiH bila usmjerena ka izvozu, no prema načelima tržišta, u FBiH se polako počinju razvijati tehničko-tehnološki kapaciteti za prikupljanje, skladištenje i obradu opasnog otpada. Nekoliko privrednih subjekata dobilo je dozvole za prikupljanje, prijevoz i privremeno skladištenje opasnog otpada. Također, postoji nekoliko manjih specijaliziranih objekata namijenjenih za obradu opasnog otpada, te postoje određeni kapaciteti u okviru većih industrijskih postrojenja koji se koriste za obradu pojedinih vrsta opasnog otpada.

Kao generalni zaključak, može se reći da su i dalje strateški ciljevi vezani za povećanje broja stanovnika obuhvaćenih organiziranim prikupljanjem otpada, stvaranje uvjeta za sanitarno odlaganje (min. 5 godina odlaganja u svim regijama do uspostavljanja RCUO), sanacija i

zatvaranje nelegalna odlagališta, promoviranje i uspostava primarne selekcije otpada, poticanje reciklaže otpada i uvezivanje proizvođača otpada, operatera i drugih subjekata u oblasti otpada u jedinstven informacijski sistem.

2.2. Formiranje jedinstvenog informacionog sistema o upravljanju otpadom

Koncipirana zamisao prikupljanja svih podataka o otpadu, sa veoma složenom strukturom upravljana otpadom u BiH i stanjem na terenu, nije jednostavan zadatak, a ne mogu se očekivati spektakularni rezultati i uvezivanje sistema u kratkom vremenskom periodu.



Slika 1. Obuhvat analiziran za formiranje baze podataka Fonda za zaštitu okoliša FBiH o upravljanju otpadom na nivou FBiH [2]

Uzimajući u obzir zakonske okvire, preporuke, strateške i operativne ciljeve, planove upravljanja otpadom te ulogu i domen djelovanja subjekata kojima su upućeni anketni listovi-upitnici, pristupilo se definiranju upitnika.

Formirani su upitnici za nadležna ministarstva po kantonima, za nadležne službe po općinama kao i anketni listovi za javna i privatna komunalna preduzeća, kao i za vlasnike privatnih/društvenih deponija/transfer stanica ili drugih privremenih skladišta/odlaglišta otpada, te za ovlaštene operatere na nivou kantona i FBiH, prikazano, shematski po nadležnostima i toku upravljanja otpadom, na slici 1. Ispunjavanje anketnog listića je u elektronskoj formi, sa opcijom korištenja podataka u formirane baze.

U upitniku su posebno obrađene cjeline vezane za aktualna pitanja i aktivnosti koje provodi Fond za zaštitu okoliša FBiH. Prema viziji Fonda za zaštitu okoliša FBiH, na ovaj način bi se stvorili uvjeti za efikasnu, jednostavnu i sveobuhvatnu analizu i praćenje stanja u otpadu, a od prikupljenih naknada bi se financirali projekti po prioritetima i značaju.

Prvi anketni listovi – upitnici su dostavljeni i obrađeni za 2013. godinu, a planirano je da se dopunjavaju u određenim intervalima (jednom u dvije godine, odnosno po uspostavi sistema, ažuriranje bi bilo kontinuirano). Podaci dobiveni putem anketnih upitnika bi trebali da omogućе uočavanje slabih tačaka sistema te da se u skladu sa Federalnom strategijom upravljanja otpadom i informacijama iz anketnih listova o stanju na terenu svrsishodno i ciljano poboljšava sistem upravljanja otpadom.

Rezultati prve godine (2013.) su pokazali da je broj prikupljenih upitnika obuhvatio sve kantone, općine na području FBiH i 45 javnih komunalnih preduzeća (JKP) te da je odziv bio i više od očekivanog.

Po navedenim upitnicima su prikupljeni podaci o:

- stanju deponija
- postojanju „divljih“ deponija
- broju registriranih operatera sa vrstama i količinama otpada koje zbrinjavaju
- reciklažnim dvorištima
- zelenim ostrvima ili drugim načinima selekcije otpada
- subjektima u čijoj su nadležnosti aktivnosti upravljanja otpadom
- stanju građanske svijesti
- aktivnostima subjekata po pitanju buđenja svijesti o zaštiti okoliša
- postojanja i nepostojanja planova upravljanja otpadom
- prioritetnim zadacima u ovom domenu (osobito sa aspekta uloge FZO FBiH).

Prema dostavljenim informacijama sublimirani su rezultati i izvučeni osnovni zaključci od kojih su, najinteresantniji sljedeći:

- Samo jedan Kanton (Ze-Do) ima urađen Plan upravljanja otpadom (dok su u izradi u Kantonu Sarajevo i Unsko-sanskom kantonu);
- 19 Općina je navelo da imaju urađen ili je u izradi Plan upravljanja otpadom;
- Gotovo svi su naveli da od rezultata analiza iz Planova upravljanja će i proisteći i planiranje reciklažnih dvorišta i zelenih otoka, a za što će onda biti potrebno osigurati sredstva;
- Samo jedan dio Kantona je poslao podatke o registriranim, ovlaštenim sakupljačima, dok su samo Sarajevo i Tuzla dostavili podatke o vrstama i količinama sakupljenog i zbrinutog otpada, gdje se misli prvenstveno na posebne kategorije otpada.
- Prema podacima JKP evidentno je da su ista slabo organizirana i opremljena kada je u pitanju selektivno prikupljanje otpada.
- Prema podacima Kantona na teritoriji FBiH je registrirana 801 „divlja“ deponija, a za njih 216 iskazana je urgencija za hitnu sanaciju.

Cilj ispitivanja i jeste usmjeravanje sredstava Fonda, prikupljenih putem naknada za ambalažni i elektronički otpad, u realizaciju planova upravljanjem otpada anketiranih subjekata.

Obradom anketnih upitnika, utvrđene su velike razlike u pogledu raspoloživih podataka i nivoima obrade što će se pokušati poboljšati kroz dalju suradnju na formiranju baza. Navedene aktivnosti će predstavljati značajnu podršku nadležnom Federalnom ministarstvu okoliša i turizma u smislu osiguranja kvalitetne baze podataka, kako bi se utvrdila kompletna lista obveznika plaćanja naknada, a i stvorila lista podataka o otpadu kroz rad i podatke svih subjekata (operatera i nadležnih institucija) u svakom segmentu toka otpada.

Koliko je problematika uvezivanja sistema i formiranja jedinstvene baze podataka o otpadu složena, ali i veoma bitna, uočilo se već na početku implemetacije Pravilnika o upravljanju

ambalažom i ambalažnim otpadom [3], odnosno Pravilnika o upravljanju otpadom od električnih i elektronskih proizvoda [4].

3. REZULTATI I ISKUSTVA U PRIMJENI PODZAKONSKIH AKATA U OBLASTI ZBRINJAVANJA OTPADA U FBIH

Za provedbu integriranog sistema upravljanja otpadom utemeljenog na načelima „prevencije“, „reciklaže“ i načelu „zagađivač plaća“, potreban je potpun pravni okvir, osposobljene institucije i sistem ekonomskih instrumenata kroz poreze i naknade koji trebaju poticati primjenu načela prevencije i reciklaže.

Jedan od preduslova je ispunjen donošenjem podzakonskih akata kao što su Pravilnik o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom ("Službene novine Federacije BiH", broj: 88/11) donešen krajem 2011. godine i implementiran u 2012. godini. U narednoj godini donešen je Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom, kao poboljšanje u odnosu na iskustva primjene pravilnika u toku 2012. godine. Također, krajem 2012. godine stupio je na snagu i Pravilnik o upravljanju otpadom od električnih i elektronskih (EE) uređaja ("Službene novine Federacije BiH", broj: 87/12), a 2013. godina je bila i prva godina primjene Pravilnika.

Federalno ministarstvo okoliša i turizma je izdalo rješenje o dozvoli Operaterima sistema za upravljanja otpadom od električnih i elektronskih uređaja „ZEOS eko-sistem“ d.o.o. Sarajevo (od 2013.g.) i „Kim Tec Eko d.o.o.“ (od 2014.g.), a za ambalažni otpad registriran je operater „Ekopak“ d.o.o. Sarajevo (2012.g.) i „Eko Život“ d.o.o. (2014.g.). [5]

Prema uputi Federalnog ministarstva okoliša i turizma, a na osnovu donesenih podzakonskih akata, do 31. 03. tekuće godine, Operateri sistema su dužni dostaviti izvještaj za prethodnu obračunsku godinu, po pitanju plasmana ambalaže i EE opreme, kao i dokaze o postizanju zadanih ciljeva po pitanju reciklaže i ponovne upotrebe, te konačnog zbrinjavanja ambalažnog i EE otpada.

Prema odredbama Pravilnika uloga Fonda za zaštitu okoliša FBiH definisana je tako da se Fond stavlja na poziciju "zaprečne" odnosno "kaznene" ustanove preko koje svoju obavezu, odnosno kaznu, izvršavaju ona pravna lica koja se nisu uključila u sistem upravljanja ambalažnim i/ili električnim odnosno elektroničkim otpadom, preko Operatera sistema. U navedenom periodu, Fond je počeo sa izradom i provedbom plana implementacije Pravilnika.

Početkom 2013. godine, nakon analize stanja, postalo je jasno da prva godina primjene Pravilnika nije dala rezultate kakvi su očekivani, odnosno da je veliki broj obveznika ostao "izvan sistema".

S tim u vezi, pristupilo se realizaciji obaveza, te su poduzete mjere kako bi se što kvalitetnije uradile sve neophodne aktivnosti vezane za naplatu naknade, ali i kako bi se samim obveznicima pojasnio i precizirao sam Pravilnik o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom, odnosno Pravilnik o upravljanju otpadom od električnih i elektronskih (EE) uređaja

Obzirom da nije predviđen nikakav poseban sistem kontrole (izuzev inspeksijskog) i nadziranja provođenja nacionalnih ciljeva u pogledu upravljanja ambalažom i ambalažnim otpadom, sama po sebi se nametnula potreba za uspostavljanjem informacionog sistema upravljanja otpadom. Ovo pitanje se direktno povezuje sa uočenom potrebom jedinstvene baze podatka na nivou FBiH, RS i države. Obzirom na činjenicu da poslove uspostavljanja i vođenja informacionog sistema uobičajeno vodi Agencija za okoliš, te na činjenicu da u našoj državi ista još uvijek nije

uspostavljena kako na državnom, tako ni na entitetskim nivoima, ovaj zadatak je potrebno prenijeti na instituciju koja će informacioni sistem uspostaviti i voditi do početka rada Agencije.

Fond za zaštitu okoliša (FZO) za sada je uspostavio i razvija GROO (generalni registar obveznika plaćanja naknada iz oblasti otpada). Ovaj registar sadrži osnovne podatke o svakom obvezniku kao i podatke po kojim je kategorijama otpada određeni privredni subjekt obveznik (pretpostavka je da određeni subjekti mogu biti obveznici po više osnova npr. ambalaža, elektronski otpad, itd.).

Generalni registar je predviđen kao osnova za pod-registre za pojedine kategorije otpada, gdje spada i otpad od EE uređaja i gdje bi se vodili podaci o vrstama i količinama posebnih kategorija otpada te visinama prikupljenih naknada.

Aktivnosti FZO su obuhvatile tako i sastavljanja liste potencijalnih obveznika, rađeno paralelno za oba Pravilnika. Prvobitna lista je sastavljena od podataka prikupljenih iz više izvora, koja je činila oko pet hiljada subjekata, jer su obveznici sa teritorije cijele BiH koji ambalažu i EE opremu plasiraju na tržište FBiH, a ista se kontinuirano uređuje po podacima iz izvještaja. Podaci vezani za ambalažu se periodično razmjenjuju sa Fondom za zaštitu životne sredine RS, radi usklađivanja i kontrole, dok je nešto teža situacija sa EE opremom, jer u Republici Srpskoj još nije donesen Pravilnik o upravljanju EE otpadom. U ovom slučaju se podaci kontroliraju poređenjem sa listama carinske uprave i inspekcijom.

3.1. Rezultati u implemetaciji Pravilnika o upravljanju ambalažnim otpadom

Prema podacima datim u Federalnom planu upravljanja otpadom 2012-2017 procjenjene količine ambalaže otpada na teritoriji Federacije BiH su 170.000,00 tona na godišnjem nivou odnosno 60 kg/stanovniku. Ovlaštenom Operateru sistema za 2012. godine je prijavljeno 43.326 tona, a u Fond za zaštitu okoliša FBiH 16.824 tona, u 2013. g. nešto više kod Operatera, a manje u Fondu, te je jasno vidljivo da je ukupno prijavljena količina ambalaže za 2012.g i 2013. g. Gotovo jednaka i manja od 40% pretpostavljenih količina. [5]

Obzirom na nepostojanje jedinstvene baze podataka, dosadašnji pokazatelji ukazuju da su prikupljene količine daleko manje, bez obzira na činjenicu da je jedan dio obveznika još uvijek izvan sistema. Također, podaci u tabeli nisu pokazatelj trenutnog stanja, jer obveznici uglavnom ne poštuju zadane rokove i izvještaje šalju tokom cijele godine. Tako su u tabeli 1 prikazani rezultati obrade podataka o amabalažnom otpadu za 2012 i 2013 godinu.

Tabela 1. Količine ambalažnog otpada prijavljenje u 2012. i 2013. godini [5]

Ukupan broj obveznika uključenih u EKOPAK 2012	177
Ukupan broj obveznika uključenih u EKOPAK 2013	415
Ukupno prijavljena količina ambalaže 2012	43.326 t
Ukupno prijavljena količina ambalaže 2013	51.864 t
Ukupno reciklirano u 2012	3.500 t
Ukupno reciklirano u 2013	7.063 t
Procenat reciklaže 2012	8%
Procenat reciklaže 2013	13,6%
Ukupan broj obveznika u Fondu 2012	959
Ukupan broj obveznika koji su dostavili izvještaj Fondu 2013	547
Ukupno prijavljena količina ambalaže u Fond 2012	16.824 t
Ukupno prijavljena količina ambalaže u Fond 2013	12.079,97 t
Ukupno prijavljena količina ambalaže 2012	60.150 t
Ukupno prijavljena količina ambalaže 2013	63.944 t

Temeljem uvida u izdata Rješenja o plaćanju posebne naknade za ambalažu i ambalažni otpad obveznicima koji su se prijavili u Fond za zaštitu okoliša FBiH, iznosi naknada kreću se od cca. 20,00 KM do cca. 150.000,00 KM maksimalno. Obveznici uključeni u sistem Operatera, naknadu plaćaju Operateru i on je dužan u njihovo ime osigurati zbrinjavanje i korištenje, odnosno reciklažu, te u tom smislu vršiti ulaganja u jačanje kompletnog sistema odvojenog sakupljanja otpada.

Na osnovu uvida u stanje po implementaciji Pravilnika za 2012. godinu, odnosno 2013. godinu, kao i na osnovu dostavljenih Izvještaja ovlaštenog Operatera, uočene su neki problemi i nedostaci u implementaciji. Osnovni nedostatak je u praćenju kompletnog toka otpada, od njegovog nastajanja, procenta otpada koji se evidentira kao „recikliran“, a u skladu sa Federalni planom i Strategijom, te gdje i na koji način je ambalažni otpad zbrinut, odnosno plasiran i recikliran.

Generalno se može reći, u dvije godine primjene navedenog Pravilnika o upravljanju ambalažnim otpadom, napredovanje sistema upravljanja ambalažom i ambalažnim otpadom ide vrlo sporo, a rezultati unapređenja samog sistema u smislu ulaganja prikupljenih sredstava bi mogli biti i značajniji. Važno je ponovo reći da je samo praćenje napredovanja sistema i rezultata takođe otežano ili čak nemoguće bez baze podataka postojećeg stanja i praćenja benefita ulaganja u sistem.

Pored navedenog, kao novost je od ove godine donesena i Uredba o naknadama za plastične kese tregerice, na nivou FBiH.[6]

Plastične kese se proizvode od polietilena, a njihova proizvodnja je jako jeftina, oko 2-3 pfeninga po komadu. Plastične kese od polietilena se vrlo sporo razgrađuju u prirodi, a prosjek razgradnje je oko 400 godina. Problem reciklaže plastičnih kesa takođe je višestruk. U principu mogu se reciklirati, ali je, zbog njihove male težine i drugih osobina proces prikupljanja, pranja i obrade mnogo skuplji od proizvodnje nove plastične kese, pa se veoma mali broj reciklira. Pošto sistem odvajanja otpada u BiH ne funkcioniše, a ekološka svijest građana nije na zavidnom nivou, direktna posljedica ogromnog broja plastičnih kesa vidljiva je na svakom koraku. Rijeke su pune plastičnih kesa, često ih vidimo nanizane na drveće i rastinje uz vodotoke, a neizbježan su ukras mnogobrojnih, divljih deponija. Predmet plaćanja naknade, ustanovljen ovom uredbom jesu kese koje služe za jednokratnu upotrebu, čija težina ne prelazi 20 mikrona.

Godišnja potrošnja plastičnih kesa u BiH iznosi više od milijardu komada godišnje, a prosječan vijek korištenja tanke plastične kese je 12 minuta, nakon čega najčešće završava u prirodi, ili u najboljem slučaju kao ambalaža za kućno smeće. Cilj uvođenja naknade za kese je bio smanjenje njihove upotrebe, a to bi značilo stimulisanje stanovništva da koriste platnene i papirne vrećice, odnosno čvršće, višekratne plastične kese. Nakon pola godine primjene Uredbe, te praćenja provedbe može se reći da su efekti vidljivi, te da je više puta smanjena upotreba ovih vrećica, dok se povećava korištenje platnenih. Isti se prodaju u različitim veličinama i dezenima u svim većim trgovinama.

Obveznici su svi trgovci (trgovačke radnje, marketi, supermarketi, pekare, kiosci, apoteke, prodavnice mješovite robe i dr.) registrirani na području Federacije BiH, koji kese troše za vlastite potrebe ili ih stavljaju u promet.

3.2. Rezultati u implemetaciji Pravilnika o upravljanju otpadom od električnih i elektronskih uređaja

Prvi izvještaji o upravljanju otpadom od električnih i elektronskih uređaja za 2012.godinu su počeli pristizati početkom 2013. godine. Za prvo polugodište je stiglo ukupno 172 izvještaja od

kojih se za prvo polugodište 2013.g. ukupno 85 obveznika uključilo u registrovanog Operatera sistema ZEOS eko-sistem. [5]

- Opća naknada se obračunava svim obveznicima, bez obzira da li su se uključili u sistem upravljanja otpadom EE opremom putem operatera sistema ili ne. Opća naknada se troši za potrebe vođenja baze podataka obveznika sistema po pitanju plasmana električnih i elektronskih uređaja na teritoriju FBiH.
- Posebna naknada za upravljanje otpadom EE opremom koja je obračunata obveznicima koji svoju obavezu upravljanja EE otpadom nisu prenijeli na operatera sistema će se prema Zakonu o Fondu namjenski ulagati u projekte iz oblasti upravljanja otpadom.

Ukupno plasirane količine električnih i elektronskih uređaja na teritoriju FBiH prijavljene u Fond za zaštitu okoliša FBiH je 220.985 komada, a ukupno plasirane količine električne i elektronske opreme plasirane na tržište FBiH u 1/2 2013. godine za koje je prenešena obaveza upravljanja otpadom opremom na registrovanog operatera sistema ZEOS eko-sistem 1.017.321 komada.[5]

Obzirom da su obrađeni podaci o prvom obračunskom periodu, prve godine primjene navedenog pravilnika teško je govoriti o funkcionisanju sistema i problemima bez bar 2-3 godine primjene pravilnika. Međutim, uočeni su problemi koji prate tok EE otpada u FBiH. Kao jedan od njih je i neusaglašen sistem dostavljanja izvještaja obveznika, naime svi obveznici su dužni da dva puta godišnje (20.07. tekuće godine za prvi izvještajni period i 20.01. naredne godine za drugi izvještajni period) dostave svoje izvještaje Fondu i Ministarstvu, a operater je dužan samo jednom godišnje da dostavlja izvještaje i to do 31.03. tekuće godine za prethodnu godinu. U samom Pravilniku postoje nejasnoće vezano za određene pojmove i tumačenja istih. Nerazumjevanje pojmova od strane obveznika rezultiralo je velikim broja pitanja obveznika koji su tražili pojašnjenja i tumačenja određenih pojmova kao što su „električni i elektronski otpad“, „električni i elektronski uređaji“, „obveznik plaćanja naknada“, šta je u stvari predmet Pravilnika, „plasman na tržište“, „pojam produžene odgovornosti proizvođača i uvoznika“. Također, problem predstavlja i evidentiranje plasirane opreme po komadu, dok su proizvodi kod carinske uprave evidentirani po kg, a Pravilnikom je propisano da se i dokazi o upravljanju EE otpadom (reciklaži itd.) podnose u kg opreme. Ovakav nesklad onemogućava praćenje rezultata, odnosno ujednačeno vođenje baze podataka. To je jedan od razloga iz kojih se već krenulo u izmjene i dopune Pravilnika.

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Jedan od prioriteta uspostavljanja sistema upravljanja otpadom je uspostavljanje baze podataka na nivou Federacije BiH u što se i krenulo sa formiranjem upitnika na nivou FBiH.

Što se tiče implementacije Pravilnika, evidentno je da u prvim godinama primjene oba Pravilnika, uočen je veliki broj nedostataka i problema u primjeni i funkcionisanju sistema. Također, nema značajnijeg napretka u prijavljenim količinama ambalaže i ambalažnog otpada plasiranih na tržište Federacije BiH, a radi nedostatka sistemskog praćenja toka otpada još uvijek je nemoguće kontrolirati stvarno postignute ciljeve reciklaže na teritoriju FBiH. Značajan napredak koji se može uočiti na terenu, ali još uvijek ne u evidencijama, je primjena Uredbe za plastične vrećice.

Registar obveznika (GROO) je razvijen u okviru Fonda, te se u isti unose svi potrebni podaci iz formulara izvještavanja o količinama uvezene, proizvede, izvezene i ambalaže plasirane na tržište FBiH, RS i Brčko distrikta, a sve u cilju sagledavanja stanja u cijeloj BiH po pitanju praćenja plasmana ambalaže, EE proizvoda i plastičnih vrećica.

Izuzetno je važna potreba da se vrši stalna kontrola svih aspekata poslovanja kao i načina na koji se ulažu sredstva prikupljena za postizanje nacionalnih ciljeva upravljanja posebnim kategorijama otpada, te u tom smislu jačanja infrastrukture odvojenog sakupljanja otpada, mreže sakupljača i reciklera, stvaranja uvjeta da se razvije interes za razvoj reciklažne industrije, otvaranja novih radnih mjesta, te jačanja javne svijesti i edukacije stanovništva i privrednih subjekata.

Obzirom da je oblast upravljanja otpadom vrlo kompleksna, te da je proces bio dugotrajan i u zemljama koje imaju puno više finansijskih sredstava i puno uređenije državne sisteme, pred BiH je veliki i vrlo zahtjevan zadatak. Sistematičnost u planiranju i provođenju integralnog sistema upravljanja otpadom je ključna kao i raspolaganje bazom podataka koja bi bila osnova za planiranje koraka, ali i njihovo provođenje, te praćenje postignutih rezultata ulaganja sredstava.

5. REFERENCE

- [1] Federalni plan upravljanja otpadom 2012-2017, Enova d.o.o. Sarajevo, Bosna-S d.o.o. Sarajevo, decembar 2011.
- [2] Serdarević A., Sulejmanagić I. i Džubur A. i, Anketni listovi i obrasci za baze podataka postojećeg stanja i planiranih aktivnosti na nivou kantona, općina, JKP, privatnih KP i privatnih odlagališta/sanitarnih deponija/transfer stanica u FBiH, FZO, Sarajevo, 2013
- [3] Pravilnik o ambalaži i ambalažnom otpadu (Sl.novine FBiH, br.8/11 i 28/13)
- [4] Pravilnik o upravljanju otpadom od električnih i elektronskih proizvoda (Sl.novine FBiH, br. 87/12)
- [5] Izvještaj o ambalažnom otpadu i EE otpadu, Fond za zaštitu okoliša, decembar 2013.
- [6] Uredba o naknadama za plastične kese tregerice (Sl.novine FBiH, br. 9/14)

PRAĆENJE I UKUPNI SADRŽAJ METALA U MULJU S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U VELIKOJ GORICI, HRVATSKA

MONITORING AND TOTAL METAL CONCENTRATIONS IN WASTEWATER SLUDGES FROM THE WASTEWATER TREATMENT PLANT IN VELIKA GORICA, CROATIA

Josip Filipović, dipl. ing. geol. ^{1*}

¹Upravni odjel za urbanizam i zaštitu okoliša, Trg kralja Tomislava 34, Velika Gorica

*e-mail kontakt: josip.filip@gmail.com

ABSTRACT

The mechanical – biological municipal wastewater treatment plant in Velika Gorica was released in operation in year 1973. Since then the capacity of the device over time increased from 12,000 to 35,000 people equivalent. In this paper monitoring of total metal concentration in sludge and waste samples from wastewater treatment process is elaborated. Sludge samples for analysis were always taken at the same locations in different sludge treatment steps in a period from 2008 to 2014. Waste samples were also collected in years 2008 and 2010 from coarse grid, fine grid and aerated sand grid of this wastewater treatment plant. Collected sludge samples differ by age as follows: fresh raw sludge (PS 6 - 12 hours old), the sludge from the digester for anaerobic sludge treatment (DS 48 - 72 hours old), samples from the lagoons where the sludge is temporarily deposited (DOS and DOSold 30 - 120 days) and sludge samples collected in years 2009 and 2010 from agricultural areas (AA aged over 180 days). In a period from 2011 to 2014 were collected samples of dehydrated sludge (DEHS and DEHSold) since the device is constructed for sludge dehydration. Every year were performed analysis of total metal concentrations for Zn, Cu, Ni, Ba, As, Cr, Pb, Cd and Hg, while analysis of Mo, Co, Se, Mn, Fe and Sb were performed only periodically according to positive legislation in Republic of Croatia. Total metal concentrations of some metals exceeded maximum of legally permitted concentrations in some treatment steps and as such they are considered to be hazardous waste.

Keywords: *wastewater treatment, sewage sludge, heavy metals, total metal concentration, monitoring*

1. INTRODUCTION

The mechanical – biological municipal wastewater treatment plant in Velika Gorica was released in operation in year 1973. Since then the capacity of the device over time increased from 12,000 to 35,000 people equivalent (people equivalent, id est p.e. is a measure; for example 1000 is equivalent to the BOD of waste produced by 1000 people). In this paper were analysed samples of sewage sludge which sediments as residue of wastewater from sewage system as well as a result of mechanical-biological wastewater treatment process. Sewage sludge is regarded as the residue produced by the wastewater treatment process, during which liquids and solids are being separated. Sewage sludge is heterogeneous mass of liquid dispersive compound in which are dispersed solids of different sizes.[19] Municipal waste sludge contains heavy metals, macronutrients, micronutrients, some less important chemical

elements in traces, organic pollutants, microorganisms and eggs of different parasites.[2] Common known fact is that mechanical–biological wastewater treatment results with sedimentation of great amounts of sludge which needs to be disposed in a way prescribed by law. Activated sludge wastewater treatment is a highly complex physical, chemical and biological process, and variations in wastewater flow rate and its composition combined with time-varying reactions and mixed culture of microorganisms, make this process non-linear and unsteady.[16]

Wastewaters which are treated and purified in this wastewater treatment plant consist mainly of wastewaters from households, but there are also certain amounts of runoff waters and industrial waters which are mixed with wastewater from households inside wastewater sewage system. Official records show us that there are more than 151 kilometres of sewage wastewater system and more than 52 kilometres of storm water collecting system. Amount of sludge from above mentioned systems, which needs to be effectively disposed, constantly increases. Nowadays, there are about 35.000 citizens from town Velika Gorica and its surrounding connected to this plant but also all business activities of town Velika Gorica such as airport, industry, several printeries, military and slaughterhouses... There is approximately per year 550 – 600 tons of sludge (dry matter) which is equivalent of 2000 tons with water (sludge with 10 – 15% dry matter). On average, in the past twenty years, the wastewater treatment plant produced 20 to 80 m³ of sludge daily.

During the process of biological purification of wastewaters in municipal wastewater treatment plant in Velika Gorica sludge occurs from three different sources: primary sludge is present in wastewater, active sludge occurs as a result of different procedures of biological purification of water and sedimented sludge occurs as a result of sedimentation of phosphorus with ferrous chloride. Digester for anaerobic decomposition of sludge is built according to BIMA (Biogas Induced Mixing Arrangement) technology. Specially modelled cylindrical concrete reservoir of digester provides mixture and decomposition of sludge without any special mobile mechanical components. Principe in which BIMA digester operates is as follows: during process of decomposition biogas is developed and it causes increase of pressure in digester. Gas is collected in reservoir and because of increased pressure it squeezes out one part of sludge from lower big chamber through central tube into upper chamber of digester. In digester is embedded special valve which opens to clean out the gas out of digester and to drain away the gas into gas tank. When biogas is released out of digester the pressure rapidly decreases and sludge from upper chamber falls through mixture shaft and central tube into lower chamber onto specially designed wings for mixture, then it breaks through crust which forms on sludge and it mixes the sludge. After that the process begins all over again approximately 4 – 10 times a day. Because of this way of operating this system is suitable even for stabilization of sludge with very high percentage of dry matter, even to 12 %. The pH of sludge samples in this step varies from 5–6,5.[8]

The legal framework which deals with the disposal of sludge from wastewater treatment plants in Republic of Croatia is contained in the Water Act (Zakon o vodama, NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14)[8] and the following ordinances: 1. Ordinance on management with sludge from wastewater treatment plants when sludge is used in agriculture (Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi, NN 38/08, further in the text given as Ordinance 1) [18] and 2. Ordinance on manners and conditions of waste disposal, categories and working conditions of landfills (Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada NN 117/07, 111/11, 17/13, 62/13, further in the text given as Ordinance 2)[17].

Ordinance 1 prescribes analysis of concentration of heavy metals in dry matter, while Ordinance 2 prescribes analysis of concentration of heavy metals in aqueous solution (eluates). For that reason Ordinance 1 and Ordinance 2 prescribe different amounts of maximum permitted concentrations of heavy metals. These ordinances also prescribe different metals and heavy metals which need to be analysed. In November 2007 Ordinance 2 and in April 2008 Ordinance 1 came into force and according to them were collected and analysed samples of wastewater sludge and waste in a period from 2008 to 2014. The aim of this study was to explore total metal concentrations of Cu, Zn, Cr, Pb, Ni, Hg, Cd, Ba, As, Sb, Co and Mo according to valid Croatian legislation and to present changes of total metal concentrations during observed period in wastewater sludge from Wastewater treatment plant in Velika Gorica.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Sewage sludge and waste sampling from different sludge treatment steps

In order to monitor sewage sludge according to valid ordinances, sludge samples were collected in a period from 2008 to 2014 from the whole process of sludge treatment line. All samples were collected in sterile plastic bottles. In year 2008 were collected 8 samples, 2 samples from each treatment steps. Analyses were conducted according to Ordinance 1 and Ordinance 2 on each sample.

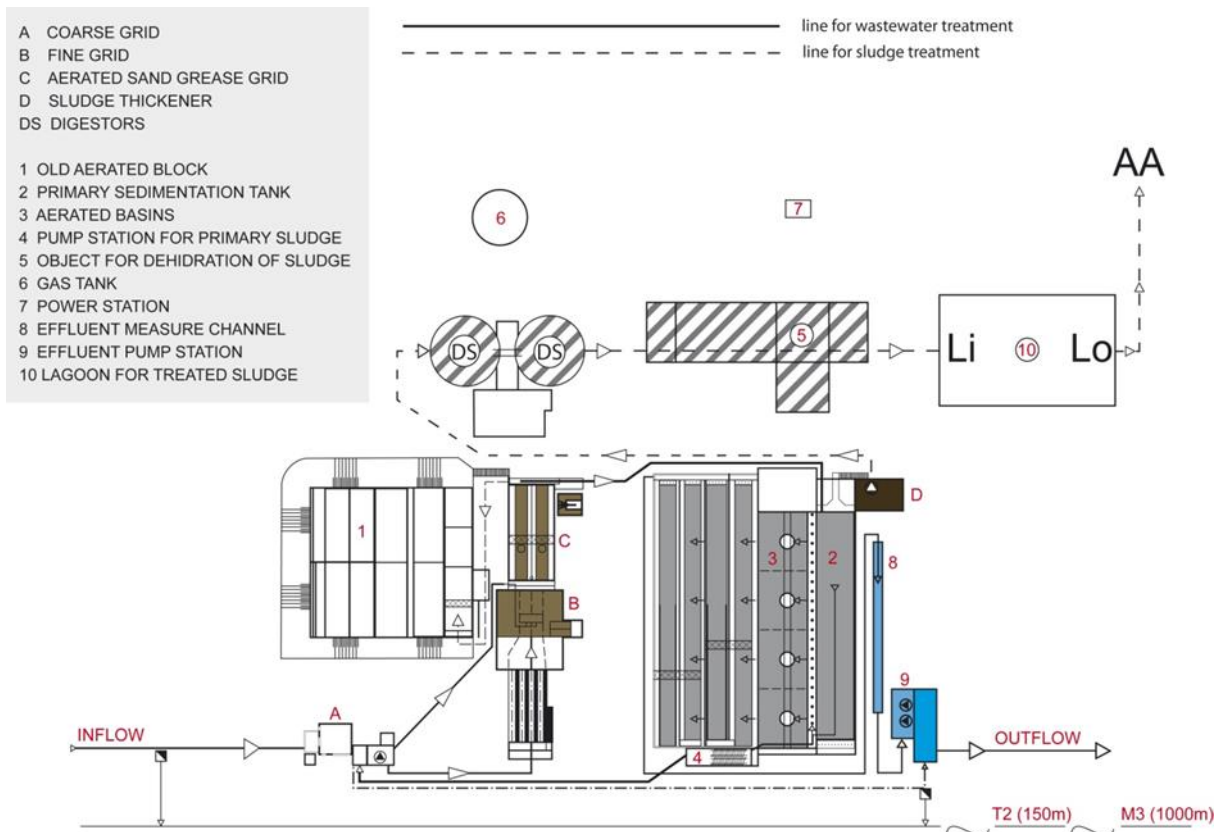
Samples of primary sludge (PS) were collected in years 2008, 2010, 2011, 2013 and 2014 in sludge thickener. In this treatment step sludge is 6 to 12 hours old. In the wastewater treatment plant scheme those samples are marked as position D.

Digested sludge samples from digester were collected each year from 2008 till 2014. These samples of DS are 48 to 72 hours old. In the wastewater treatment plant scheme those samples are marked as position DS.

In years 2009 and 2010 sludge samples were also collected from agricultural area on scheme marked as AA. These samples of sludge were more than 6 months old.

In year 2011 device for mechanical dehydration of sludge was built in line for sludge treatment. Dehydrated sludge samples (DEHS) were analyzed in a period from 2011 to 2014. In the wastewater treatment plant scheme those samples are marked as position 5. Sample marked as DEHS was collected immediately after dehydration. Sample marked as DEHS(old), which is temporary stored near lagoon, was approximately 30-180 days old.

Also, from primary wastewater treatment process waste samples were collected from coarse grid (A), fine grid (B) and aerated sand grid (C). These waste samples were collected in years 2008 and 2010 and analysed according to Ordinance 2.



Picture 1. Wastewater treatment in Velika Gorica – plant scheme

2.2. Chemical analysis of sewage sludge on heavy metals

Sludge samples in year 2008 were analysed at the Public health department according to valid Ordinances 1 and 2. All samples were analysed in licensed laboratory for waste and soil. Total metal concentration of Cu, Zn, Ni, Pb, Cd were analysed according to method HRN ISO 8288:1996. Cr was analysed according to method HRN ISO 11885:1998 and As according to method HRN EN ISO 11969:1998. Hg was analysed according to method HRN EN ISO 1483:1997. Se was analysed according to method HRN EN ISO 9965:2001, Ba according to method SM 3111D,3113, Mo according to method ISO/FDIS 15586:2003 and finally Sb according to method SM 3111/PE Apl.note.

In year 2009 sludge samples were analysed in licensed laboratory „Cemtra“ according to the above mentioned methods.

In a period from 2010 to 2014 sludge samples were analysed in licensed laboratory „Bioinstitut“ according to method HRN ISO 11885:2010 and hence total metal concentrations were determined with ICP – OES (Inductively coupled plasma – optical emission spectrometry) for: Cd, Pb, Ni, Cu, Zn, As and Ba. Hg was analysed according to HRN ISO 1483:1998.

All these mentioned laboratories have approval from Ministry of Environmental and Nature Protection to conduct these analyses.

2.3. Mineralogical composition of sludge samples

Mineralogical composition of sewage sludge was determined by X-ray diffraction of samples. Mineral phase determinations of the studied sludge samples were done by a Philips X'pert

powder diffractometer, running at 45 kV and 40 mA. Sludge samples were dried at 105, 150, 200, 400 and 600 °C prior to analysis.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Physical-chemical composition of sludge and total metal concentrations in sludge/waste samples according to legal framework

Samples of primary sludge (PS) and digested sludge (DS) were extremely active and fluid. After collecting they were also very biologically active, they created natural gas and when they were closed in sterile plastic bottles they boiled. Primary sludge collected in sludge thickener and digested sludge collected in digester for anaerobic respiration showed certain amount of sedimentation after 2 – 4 days. Solid phase is separated from liquid phase. On liquid phase appeared scum. Crust also appeared on samples collected in lagoon and under the surface thin black lamina appeared. On the sample collected on agricultural area where sludge was disposed developed sporadic mold.

All analysed samples indicated presence of heavy metals which need to be analysed according to ordinances which refer to waste, wastewaters and sludge occurred as a technological residue of wastewater purification process. Presence of metals and heavy metals in sludge and permitted values according to Ordinance 1 and Ordinance 2 are presented in tables 1 and 2.

Sample of raw sludge is almost impossible to filter although sludge contains high percentage of water (> 90%). This is because the water is capillary-adhesive connected to sludge and intermolecular connected to particles of sludge. Granulometric composition depends on type of sludge and the size of particles is between 0,001 and 0,5 mm.[19] Percentage of dry matter in samples gradually increases in entire line of sludge treatment process as percentage of mineralization increases. Percentages of dry matter in analysed samples vary between 2,29 % in fresh raw sludge and 39,21 % in samples collected in agricultural area (AA). pH of samples varies in a range of 5,19 to 8,03.[12]

Mineralogical composition of sewage sludge was determined by X-ray diffraction of samples. In samples were found quartz (SiO₂) and dolomite (CaMgCO₃). Quartz is the most common mineral because it is highly resistant on mechanical and chemical wasting. Source of dolomite is probably roads sprinkling/salting with dolomite sand in winter period which through sewage system arrived to the wastewaters and sludge. In sample heated on 600 °C was also recorded barite (BaSO₄). In samples were also determined traces of feldspar, mica and pyroxene. All determined minerals are inert and they do not present any danger for the environment.[12]

According to Ordinance 1 following metals must be analysed (in brackets are stated maximum allowed concentrations in mg/kg dry matter): zinc (2000), copper (600), chromium (500), lead (500), nickel (80), mercury (5) and cadmium (5). Main sources of heavy metals in wastewaters and sludge can be: commercial, domestic, storm events and unidentified. [1]

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.
13th INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM ZAGREB 2014.

Table 1. Results of analysis of sludge from different parts of wastewater treatment process for period 2008 – 2013 according to Ordinance on management with waste from wastewater treatment plants when sludge is used in agriculture (Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi, NN 38/08)

MAC [*]	2000	600	500	500	80	5	5	-	-	-	-	-	-
Metals in dry matter 2008 (mg/kg)	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Hg	Cd	Ba	Co	Mo	As	Mn	Fe
PS	215	144	119	<20	345	0,891	<2	-	-	-	-	-	-
DS	220	146	96,2	<20	266	2,63	<2	-	-	-	-	-	-
DOS	484	157	152	<30	418	1,16	<3	-	-	-	-	-	-
DOS old	1140	436	256	<40	418	2,67	<5	-	-	-	-	-	-
Metals in dry matter 2009 (mg/kg)	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Hg	Cd	Ba	Co	Mo	As	Mn	Fe
PS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DS	286	136,7	31,4	121,1	19	0,225	1,8	-	4,3	2,02	1,95	159	5930
DOS	280	106	32,5	147,2	14,2	0,388	1,36	-	4,22	3,04	1,9	154	5820
AA	286	156	35	130,5	14,5	0,2	1,49	-	4,56	3,4	1,86	120	6000
Metals in dry matter 2010 (mg/kg)	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Hg	Cd	Ba	Co	Mo	As	Mn	Fe
PS	1155,7	824,24	45,791	93,76	28,35	3,385	4,631	196,23	-	-	<0,001	-	-
DS	2236,1	1189,4	71,99	173,6	88,94	5,975	8,47	372,69	-	-	<0,001	-	-
DOS	969,95	543,49	37,49	90,56	26,17	1,287	2,122	183,92	-	-	0,707	-	-
AA	2003,7	1027	57,66	149,77	40,71	3,437	5,087	317,09	-	-	7,911	-	-
Metals in dry matter 2011 (mg/kg)	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Hg	Cd	Ba	Co	Mo	As	Mn	Fe

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.
13th INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM ZAGREB 2014.

PS	5945	2122	194	481	83,5	13,67	6,29	99,58	2,034	<0,01	2,978	-	-
DS	537	337,9	20,49	53,91	6,996	<0,01	<0,01	102,5	7,449	<0,01	3,128	-	-
DEHS	1137	598	37,21	108,5	16,32	0,811	1,483	189,6	2,935	<0,01	6,119	-	-
DEHS old	1137	627,4	37,21	101,5	20,58	2,873	1,235	189,6	4,491	<0,01	6,029	-	-
Metals in dry matter 2012 (mg/kg)	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Hg	Cd	Ba	Co	Mo	As	Mn	Fe
PS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DS	1063,6	928,74	26,02	67,3	27,54	1,99	3,06	177,51	3,06	<0,1	7,65	-	-
DEHS	1177,6	1230,5	21,18	66,7	23,88	1,9	2,71	207,1	2,22	3,69	8,37	-	-
DEHS old	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Metals in dry matter 2013 (mg/kg)	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Hg	Cd	Ba	Co	Mo	As	Mn	Fe
PS	2188	1078	38	140,5	37	7,75	1,75	301	<17,5	<2,5	<2,5	-	-
DS	960,74	115,95	5,52	46,63	3,68	<1,23	<3,07	22,7	<42,94	<6,13	<6,13	-	-
DEHS	999,58	779,4	20,17	71,01	21,75	0,84	2,38	168,37	<3,7	<0,53	<0,53	-	-
DEHS old	1486,21	1052,42	28,26	85,76	23,79	2,73	2,2	185,45	<5,3	<0,76	<0,76	-	-
Metals in dry matter 2014 (mg/kg)	Zn	Cu	Cr	Pb	Ni	Hg	Cd	Ba	Co	Mo	As	Mn	Fe
PS	537,22	83,81	26,48	152,8	38,73	0,61	<0,05	4,28	2,09	<0,2	2,41	-	-
DS	<0,16	70,63	2,88	115,5	25,5	0,25	<0,05	1,05	<0,74	<0,2	<0,9	-	-
DEHS	398,66	200,4	13,26	67,67	23,83	1,05	<0,05	13,24	1,86	<0,2	<0,9	-	-
DEHS old	352,1	48,4	3,70	401,48	13,33	0,49	<0,05	<0,1	<0,74	<0,2	<0,9	-	-

*MAC – maximum allowed concentration according to Ordinance 1

According to Ordinance 2 following metals must be analysed (in brackets are stated maximum allowed concentrations in mg/l): chromium (10), copper (50), barium (100), zinc (50), lead (10), cadmium (1), nickel (10), arsenic (2), selenium (0,1), mercury (0,2), molybdenum (10) and antimony (0,7); but unlike Ordinance 1, Ordinance 2 prescribes analysis and measurement of concentration of heavy metals in derived from aqueous solution (eluate).

Table 2. Results of analysis of sludge from different parts of wastewater treatment process from year 2008 according to Ordinance on manners and conditions of waste disposal, categories and working conditions of landfills (Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada NN 117/07, 111/11, 17/13, 62/13). MAC for disposal onto disposals of secure waste.

METALS (mg/l)	MAC*	Primary sludge (PS)	Digested sludge (DS)	Li (DOS)	Lo (DOS old)
Total Chromium	10	0,55	0,97	0,83	<0,5
Cooper Cu	50	<1	<1	<1	<0,5
Zinc Zn	50	<1	2,33	31	<1
Nickel Ni	10	<1	<1	<1	<1
Lead Pb	10	<1	<1	<1	<1
Cadmium Cd	1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Arsenic As	2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Mercury Hg	0,2	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Selenium Se	0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Barium Ba	100	183	232	95,6	<5
Molybdenum Mo	10	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Antimony Sb	0,7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

*MAC – maximum allowed concentration according to Ordinance 2

It is necessary to analyse sludge according to Ordinance 1 to obtain correct total metal concentrations in sludge. Reason for that is different solubility of metals in aqueous solution depending on conditions which are present during wastewater treatment process and which may change during sludge treatment process in the line of the sludge treatment. Example for that is barium (Table 2.) which shows us that solubility of one metal in eluates can be significant under certain chemical condition during process of decomposition and that more barium can be dissolved in aqueous solution then in sludge. The concentration of barium analysed according to Ordinance 2 was determined in eluates in the sample collected in digester in year 2008 and it was 232 mg/l. In eluates obtained from raw sludge was determined concentration of barium of 183 mg/l and in the sample collected in lagoon concentration of barium was 95,6 mg/l, little bit bellow MAC, when sludge is oxygenized. Concentrations of other metals in eluates are significantly lower than MAC, but for Ba that is not a situation.

The toxicity of heavy metals can be listed in order of decreasing toxicity as Hg>Cd>Cu>Zn>Pb>Cr>Al>Co, although this is only approximate as the vulnerability of species to individual metals varies. Toxicity also varies according to environmental conditions that control the chemical speciation of the metals.[13]

Table 3. shows analysis of waste samples from coarse grid, fine grid and aerated sand grease grid for years 2008 and 2010. These waste samples also show increased and measurable concentrations for Zn, Ni, Ba and Pb according to Ordinance 2. As sludge, above mentioned waste also cannot be landfilled to landfill of Town Velika Gorica because it is not considered as municipal household waste.

Table 3. Comparison and results of analysis of waste samples from years 2008 and 2010 from coarse grid, sand grease grid and fine grid according to Ordinance on manners and conditions of waste disposal, categories and working conditions of landfills (Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, NN 117/07, 111/11, 17/13, 62/13). MAC for disposal onto disposals of secure waste.

METALS (mg/l)	MA C*	Coarse grid (A)	Fine grid (B)	Aerated sand grease grid (C)	2008		2010	
					Coarse grid (A)	Fine grid (B)	Aerated sand grease grid (C)	Coarse grid (A)
Total Chromium	10	<0,5	<0,5	<5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
cooper Cu	50	<1	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zinc Zn	50	2,71	3,12	21,2	0,7	<0,01	0,05	0,05
Nickel Ni	10	<1	<1	1,05	0,02	0,008	0,01	0,01
Lead Pb	10	<1	<1	<1	<0,01	<0,01	0,42	0,42
Cadmium Cd	1	<0,1	<0,1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Arsenic As	2	<0,1	<0,1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Mercury Hg	0,2	<0,05	<0,05	<5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Selenium Se	0,1	<0,05	<0,05	<5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Barium Ba	100	<2	<2	14,9	<10	<10	<10	<10
Molybdenum Mo	10	<0,05	<0,05	<5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Antimony Sb	0,7	<0,05	<0,05	<5	<0,01	<0,01	0,01	0,01

*MAC – maximum allowed concentration according to Ordinance 2

Increased measurable concentration of hazardous organic matters were determined only in sample collected in dehydrated sludge in year 2011 for 2,4,4' – trichlorobiphenyl, and Ordinance 1 prescribes regular analysis of certain hazardous organic matters (polychlorinated biphenyl compounds – PCB's (<0,2 mg/kg dry matter)).

Industrial process of metal finishing and galvanization, mining, chemical agents for plant protection, traffic, municipality waste and military industry represent the most common sources of pollution with heavy metals.[4]All these sources of pollution are present on the area of Town Velika Gorica. However, valid ordinances do not prescribe procedure of disposal of sludge when legally permitted concentrations of heavy metals are exceeded. Consequently, we have situation that sludge is being piled inside wastewater treatment plant and this way represents constantly growing problem and potential threat for environment. Positive side of sludge disposal and treated this way is that 70 – 90 % of heavy metals are kept in the sludge in natural pH conditions, hence they are not irreversibly released into environment. Already in primary sludge 25 – 30% of metals are connected to organic matter, while by sludge treatment and mixture of sludge during sludge treatment process this percentage increases up to 60 – 70 %. Negative side and biggest problem is that are remaining 10 – 30 % of metals which are dissolved in purified water and as aqueous solution drained away into natural receiver directly in environment.[1]

As a member of European Union Republic of Croatia was obliged to adopt several European directives considering sludge and wastewaters. For the purposes of this paper it is important to mention The Sewage Sludge Directive (European directive 86/278/CEE).[9] However, this Directive is less restrictive and permits higher contents of heavy metals in sludge used for

agriculture then valid Croatian legislation.[9] European commission (EC) published on September, 21, 2010 Working document „Sludge and bio waste“(EUROPEAN COMMISSION, 2010) which aims to open discussion between member states whether is necessary to make amendments of above mentioned Directive.[10] Most member states of EU in their national legislation already prescribed more rigorous standards of maximum concentration of heavy metals in sludge and bio waste when they are used in agriculture. For example Republic of Slovenia has permitted same maximum concentrations of heavy metals in sludge used in agriculture as Republic of Croatia.[15] China also prescribed similar maximum of permitted concentration of heavy metals in sludge, when sludge is used in agriculture.[5] Furthermore, it is important to mention Urban wastewater directive (European directive 91/271/EEZ) which does not prescribe any limits for pollutants.[10] Directive only prescribes sampling of urban wastewaters and monitoring of these wastewaters considering the size of wastewater treatment plants.

4. CONCLUSION

Nowadays, sludge is still not adequately disposed but stored and accumulated in open, improvised, temporary pool without any physical barriers to environment. All the effects of the atmosphere can influence on the sludge and thus there is a potential risk of leaching and/or bioleaching of heavy metals or one part of them as eluate to environment. In some treatment steps some analyzed samples of some metals exceeded maximum allowed concentration but all sludge treated in this plant ends in lagoon for sludge collecting. Unfortunately, we still do not have solution for final sludge disposal, as well for land filling or incineration or some third solution. However, authorized institution (Croatian Ministry of Environmental and Nature Protection) should urgently make some kind of decision since sludge is rapidly piling inside this plant, but also in plants all over Croatia, and urgently issue strategies and legal framework towards sustainable sludge, bio-waste and wastewater management.

Currently there is no organized disposal of sewer sludge in Republic of Croatia except on certain agricultural areas but only in event that maximum of legally permitted concentrations of heavy metals is not exceeded. Treated or half treated sewage sludge is mostly piled inside existing wastewater treatment plants or disposed in illegal or semi-illegal manners. Great difficulty in implementation of law represents the fact that wastewaters and purified waters are under jurisdiction of Ministry of Agriculture (Water inspection) while sewer sludge are under jurisdiction of Ministry of Environmental and Nature Protection (Environmental protection inspection).

In the future attention should be paid on pollution with heavy metals as a result of human influence on nature. Furthermore, future researches should be focused on sources of pollution and how to minimize all hazardous matters in their origin. In order to achieve that goal entire wastewater system should be carefully monitored.

It is also very important to identify other sources of pollution and other pollutants which currently are not being analysed according to valid acts but which possibly also present danger for the people and environment. Sewage sludge at this plant will be continuously monitored in the future because sludge is variable through time and its composition is impossible to predict.

5. REFERECES

- [1] ADEME. Metallic micropollutants in sewage sludge from urban treatment plants. Technical guide. Angers (France): French Environmental and Energy Management Agency, ADEME; 1995.
- [2] Alloway SJ, Jackson AP. The behaviour of heavy metals in sewage sludge — amended soil. *Sci Total Environ* 1991;100:151–76.
- [3] APHA (American Public Health Association). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington: APHA; 1996.
- [4] Bogut I. Water pollution with heavy metals and their harmful activity on people and fish health. *Hrvatske Vode* 1997;5(20):223–229. [Croatian].

- [5] Chen M, Li X, Yang Q, Zeng G, Zhang Y, Liao D, et al. Total concentrations and speciation of heavy metals in municipal sludge from Changsha, Zhuzhou and Xiangtan in middle — south region in China. *J Hazard Mater* 2008;160:324–6.
- [6] Croatian Parliament. Zakon o vodama [Water Act]. *Narodne novine* [official gazette]. NN 153/09 (Dec 2009). Croatian; 2009.
- [7] Čurlin M, Bevetek A, Ležajić Z, Ceverić Meštović B, Kurtanjek Ž. Modeliranje procesa biološke obrade otpadne vode na komunalnom uređaju grada Velika Gorica (Modelling of activated sludge wastewater treatment process in Municipal Plant in Velika Gorica). *Kem Ind* 2008;57(2):59–67. [Croatian].
- [8] Entec-Biogas.com [Internet]. Austria: the company. [cited 2012 Sep 28]. Available from <http://www.entec-biogas.com/en/services/technology-system-bima.php>
- [9] European Commission. Sludge and biowaste. Working document. Bruxelles; 2010. p. 1-13. [released 2010 Sep 21].
- [10] European Council. Directive 86/278/EEC. Council directive on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture; 1986 [amended 1986 Jun 12].
- [11] European Council. Directive 91/271/EEC. Council directive concerning urban wastewater treatment; 1991 (amended 1991 May 21).
- [12] Filipović J., Grčić I., Bemanec V., Kniewald G. Monitoring of total metal concentration in sludge samples: Case study for the mechanical – biological wastewater treatment plant in Velika gorica, Croatia; *Science of the Total Environment* 447 (2013) 17–24
- [13] Gray N. F. *Water technology: an introduction for environmental scientists and engineers*. 2nd ed. Maryland Heights (MO): Elsevier Science & Technology Books; 2005.
- [14] HIDROPROJEKT-EKO Ltd.. Reconstruction of WWTP Velika Gorica. Technical report. Đurđevac (Croatia); 1998. [Croatian].
- [15] Ščančar J, Milačić R, Stražar M, Burica O. Total metal concentration and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. *Sci Total Environ* 2000;250:9-19.
- [16] Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. In: Metcalf & Eddy Inc., editor. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th ed. New York: McGraw Hill; 2003.
- [17] The Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction. Ordinance on the methods and conditions for the landfill of waste, categories and operational requirements for waste landfills. *Narodne novine* NN 117/07 (Nov 2007). Croatian. Available in English from [cited 2012 Sep 29] <http://www.mvep.hr/zakoni/Default2.aspx?pregled=pravilnik>.
- [18] The Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Construction. Ordinance on management of sewage sludge when used in agriculture. *Narodne novine* [Official Gazette]. NN 38/08 (Mar 2008). Croatian. Available in English from [cited 2012 Sep 29] <http://www.mvep.hr/zakoni/Default2.aspx?pregled=pravilnik>.
- [19] Tušar B. Pročišćavanje otpadnih voda (Wastewater treatment process). Zagreb, (Croatia): Kigen Ltd.; 2009 [Croatian].

DOPRINOS KORIŠTENJA KOMINE U SMANJENJU EMISIJE STAKLENIČKIH PLINOVA

CONTRIBUTION TO THE USAGE OF POMACE IN GREENHOUSE GASES REDUCTION

mr. sc. Merica Pletikosić¹ *

¹Voditeljica odjela za zaštitu okoliša u CEMEX Hrvatska d.d., F.Tuđmana 45, Kaštel Sućurac

*e-mail kontakt: merica.pletikosic@cemex.com

SAŽETAK

Ugljični dioksid (CO₂) je glavni staklenički plin koji pokreće globalne klimatske promjene te je jedini staklenički plin kojeg industrija cementa emitira u značajnoj količini. Smanjenje se, prema mjerama koje je definirao Kyoto protokol za cementnu industriju, postiže supstitucijom fosilnog goriva (koji je najveći emiter CO₂) sa zamjenskim gorivima proizvedenim iz otpada, koje u sebi sadrži što veći udio biomase. Razlog uvođenja zamjenskih goriva u tvrtki CEMEX Hrvatska d.d. je ispunjavanje zakonskih obveza Kyoto protokola vezano za smanjenje emisije ugljičnog dioksida. Cilj ovog rada je utvrditi utjecaj korištenja komine kao zamjenskog goriva u procesu proizvodnje cementa kroz emisije ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida, dušičnih oksida, dioksina, furana i teških metala, kao i usporedbu kalorijske vrijednosti promatranih goriva, u procesu proizvodnje cementa tvrtke CEMEX Hrvatska d.d. Na uzorku entiteta od 120 dnevnih prosječnih mjerenja emisije ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida, dušičnih oksida (60 dana mjerenja u kojima je korišteno isključivo samo fosilno gorivo (petrol-koks) - 30 dana iz 2013 i 30 dana iz 2014 godine) i povremenih mjerenja dioksina, furana i teških metala, te 60 dana u kojima je korištena definirana količina komine kao zamjensko gorivo (30 dana iz 2013 i 30 dana iz 2014), utvrđena je statistički značajna razlika u definiranim klasterima. Univarijantna analiza varijance (ANOVA) ukazuje na statistički značajnu razliku između klastera mjerenja kada se koristila komina i kada nije, u emisijama CO₂, dok vrijednosti emisija ostalih promatranih pokazatelja također ukazuju na smanjene vrijednosti emisija, ali ne i statističku značajnost.

Ključne riječi: cementna industrija, zamjenska goriva, Kyoto protocol, staklenički plinovi

SUMMARY

Carbon dioxide (CO₂) is a main greenhouse gas that initiates global climate changes and it is the only greenhouse gas that is emitted by the cement industry in a significant level. The decrease, defined by the measures of the Kyoto protocol for the cement industry, is achieved by the substitution of the fossil fuels (which are the largest CO₂ emitter) with the substitution fuels made from waste, largely consisting of biomass. The reason for the introduction of alternative fuels in the CEMEX Croatia Ltd. company is compliance with the legal obligations of the Kyoto protocol, related to the decrease of the carbon dioxide emission. The aim of this work was to determine the influence of the usage of olive pomace as a substitution fuel in the process of cement production, through the emissions of carbon dioxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides, dioxins, furan and heavy metals, as well as the comparison of the calorific value of the observed fuels, in the process of cement production in CEMEX Croatia Ltd. company. A statistically significant difference of the defined clusters was determined by using the sample of entities consisting of

120 daily average measures of carbon dioxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides (60 days of measuring during which only fossil fuel (petroleum coke) was used – 30 days in year 2013 and 30 days in year 2014) and occasional measuring of dioxins, furan and heavy metals, as well as 60 days in which a defined amount of pomace was used as a substitution fuel (30 days in year 2013 and 30 days in year 2014). The univariant variance analysis (ANOVA) indicated the statistically significant difference between the clusters of measuring that used pomace and those that had not use it in the CO₂ emissions, while the values of the emissions of the remaining observed indicator also indicated the decreased values of the emissions, but no statistical significance.

Keywords: *cement industry, alternative fuels, Kyoto protocol, greenhouse gases*

1. UVOD

Prilagodba klimatskim promjenama je kompleksan multigeneracijski izazov jer smanjenje emisije stakleničkih plinova zadire u srž gospodarstva[5]. Uspjeh modernog ekonomskog rasta nastao je iz energije fosilnih goriva, a ipak fosilna goriva danas su u središtu krize klimatskih promjena kao najveći emiter ugljičnog dioksida koji mijenja planet [3]. Pred gospodrstvom su dva cilja koja se sastoje od ublažavanja i prilagodbe klimatskim promjenama. Ublažavanje podrazumijeva smanjenje emisije stakleničkih plinova zbog pokušaja ograničenja porasta prosječne globalne temperature za više od 2 stupnja [10]. Prilagodba uključuje nove pristupe i pripremu za nov način života, više sigurnosti i spremnosti u borbi s posljedicama klimatskih promjena, posebice u područjima gdje se već danas bilježe značajne promjene [4]. Oba postavljena cilja, ublažavanje i prolagodba, zahtijevaju nove tehnološke pristupe u prijelazu na energetske sustav s niskim udjelom ugljika. Dekarbonizacijom i sektorskim pristupom se od gospodarstva traži oštro smanjenje emisije ugljičnih dioksida, kako bi se osigurao razvoj, a istovremeno ostalo unutar 2 stupnja ograničenja porasta prosječne globalne temperature [2]. Prema mjerama Europske Unije koje su definirane Kyoto protokolom [14], ublažavanje i prilagodba klimatskim promjenama za cementnu industriju se postiže supstitucijom fosilnog goriva sa zamjenskim gorivima proizvedenim iz otpada, koje u sebi sadrži što veći udio biomase.

1.1. Cilj rada, istraživačko pitanje i istraživačke hipoteze

Cilj ovog rada je utvrditi utjecaj korištenja komine kao zamjenskog goriva u procesu proizvodnje cementa kao dio sustava energetske oporabe otpadne biomase kroz emisije ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida, dušičnih oksida, dioksina, furana i teških metala, kao i usporedbu kalorijske vrijednosti promatranih goriva, u procesu proizvodnje cementa tvrtke CEMEX Hrvatska d.d. usporedbom definiranih emisija za fosilna goriva s emisijama pri korištenju komine kao zamjenskog goriva [7, 8]. Komina se smatra korisnim ostatkom nakon prerade ulja i može se upotrijebiti u različite svrhe: kao dodatak životinjskoj hrani (ishrana domaćih i divljih životinja); kao prirodno organsko gnojivo (komina ima povoljan utjecaj na propusnost i stabilnost tla); kao pogonsko gorivo u tehnološkim procesima [1, 9]. Mediteranske zemlje, kao veliki proizvođači maslinovog ulja potvrđuju ekonomsku vrijednost komine, korištenje komine kao goriva *waste to energy* zbog karakteristika i kalorijske vrijednost komine [12, 13]. Pitanje na koje se želi dati odgovor je: da li se djelomičnom supstitucijom komine kao biomase u odnosu na osnovno fosilno gorivo (petrol-koks) postiže značajnija promjena emisija ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida, dušičnih oksida, dioksina, furana i teških metala u procesu proizvodnje cementa na primjeru tvrtke CEMEX Hrvatska d.d. [11]. Temeljem postavljenog cilja istraživanja i istraživačkog pitanja definirane su četiri hipoteze:

1. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks dolazi do značajnijeg smanjenja emisije stakleničkog plina CO₂.
2. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks ne dolazi do značajnijih promjena u emisiji SO₂.
3. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks ne dolazi do značajnijih promjena u emisiji NO₂.
4. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks ne dolazi do značajnijih promjena u emisiji dioksina, furana i teških metala.

2. MATERIJAL I METODE

2.1. Uzorak entiteta

Na uzorku entiteta od 120 dnevnih prosječnih mjerenja emisije ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida, dušičnih oksida (60 dana mjerenja u kojima je korišteno isključivo samo fosilno gorivo (petrol-koks) - 30 dana iz 2013 i 30 dana iz 2014 godine) i povremenih mjerenja dioksina, furana i teških metala te 60 dana u kojima je korištena definirana količina komine kao zamjensko gorivo (30 dana iz 2013 i 30 dana iz 2014). Dnevna količina komine je iznosila 5 tona, što je 1,7% supstitucije fosilnog goriva i 0,8% prosječne energetske supstitucije. Prosječna dnevna potrošnja fosilnog goriva iznosi 296 tona.

2.2. Uzorak varijabli

Uzorak varijabli predstavljaju prosječne dnevne vrijednosti emisija ugljičnog dioksida (CO₂) prema metodologiji Europske komisije za izračun emisija sukladno Kyoto protokolu [15, 16, 18]; sumporovog dioksida (SO₂) i dušični spojevi izraženi kao NO₂ prema vrijednostima kontinuiranog monitoringa u skladu s Uredbom [17]; povremena mjerenja dioksina, furana i teških metala [17] te grupirajuća kriterijska varijabla *komina/bezkomine*.

2.3. Metoda obrade podataka

Metode obrade podataka uključile su izračunavanje deskriptivnih statističkih parametara: aritmetičkih sredina (Mean) i standardnih devijacija (Std. Dev) za svaki definirani klaster i za skupna dnevna mjerenja, kao i povremenih mjerenja dioksina, furana i teških metala. Univarijantna analiza varijance (ANOVA) korištenja je u utvrđivanju značajnosti emisija CO₂, NO₂ i SO₂ u razlikovanju definiranih subuzoraka, pri čemu je izračunata vrijednost F-testa i nivo signifikantnosti p. Za utvrđivanje razlika između dnevnih prosječnih mjerenja kada je korištena komina kao zamjensko gorivo i dana kada je samo fosilno gorivo korišteno u proizvodnom procesu, primijenjena je kanonička diskriminativna analiza pri čemu je izračunato: struktura diskriminativne funkcije (DF), centroidi grupa, koeficijent kanoničke diskriminacije (CanR) i razina značajnosti p. Cjelokupna kvantitativna obrada i analiza izvršena je statističkim paketom STATISTICA Ver.10.00. [6].

3. REZULTATI I RASPRAVA

U tablici 1. prikazani su rezultati deskriptivne statistike varijabli CO₂, NO₂ i SO₂ za definirane subuzorke kao i za skupna dnevna mjerenja (120 dana).

U danima **kad je korištena komina** kao zamjensko gorivo, aritmetička sredina za CO₂ kvantitativno je određena s prosječnom dnevnom vrijednošću emisija od 850,13 kg/t klinkera,

SO₂ ima vrijednost emisija od 13,37 mg/m³, a prosječno izmjerene dnevne emisije NO₂ iznose 651,34 mg/m³.

U danima kad je korišteno samo fosilno gorivo (petrol-koks) u proizvodnom procesu aritmetička sredina za CO₂ kvantitativno je određena s prosječnom dnevnom vrijednošću emisija od 905,04 kg/t klinkera, SO₂ ima vrijednost emisija od 13,42 mg/m³, a prosječno izmjerene dnevne emisije NO₂ iznose 682,41 mg/m³

Analiza distribucijskih parametara pokazuje da varijable SO₂ i NO₂ nemaju značajnih odstupanja od normalne raspodjele, osim varijable CO₂, što je i očekivano, ali ima normalnu distribuciju unutar definiranih subuzoraka, što znači da su sve varijable pogodne za daljnju multivarijatnu statističku obradu. Testiranje normaliteta distribucije izvršeno je Kolmogorov-Smirnovim testom čija kritična vrijednost iznosi 0,12 [6].

Usporedbom dobivenih prosječnih vrijednosti s deskriptivnim parametrima već objavljenim rezultatima pilot istraživanja [7, 8] u emisijama CO₂, SO₂ i NO₂ na slučajnom uzorku od 30 mjerenja u 2010 i 2011 godini (15 dana korištenja isključivo petrol-koksa u proizvodnom procesu i 15 dana u kojima je bila zastupljena komina kao zamjensko gorivo) i na uzorku entiteta od 120 dnevnih prosječnih mjerenja emisije ugljičnog dioksida, sumpornog dioksida, dušičnih oksida (60 dana mjerenja u kojima je korišteno isključivo samo petrol-koks - 30 dana iz 2011 i 30 dana iz 2012 godine) i povremenih mjerenja dioksina, furana i teških metala, te 60 dana u kojima je korištena definirana količina komine kao zamjenskog goriva (30 dana iz 2011 i 30 dana iz 2012) dobivene su nešto manje vrijednosti CO₂, SO₂ i NO₂ u danima kad je korištena komina kao zamjensko gorivo, dok je u danima kad je korišteno isključivo fosilno gorivo (petrol-koks), vrijednosti CO₂ i SO₂ približno iste, a vrijednost NO₂ je zamjetno manja. Povremenih mjerenja dioksina, furana i teških metala na glavnom ispustu rotacione peći ne bilježe značajnije promjene i kreću se od 0,000396 - 0,0025 ng/Nm³ za dioksine i furane te od 0,01667 - 0,0357 mg/Nm³ ukupno za teške metale.

Tablica 1. Deskriptivni pokazatelji varijabli CO₂, NO₂ i SO₂ u prostoru korištenja petrol-koksa u CEMEX Hrvatska d.d

Klasteri	N	CO ₂ Means	CO ₂ Std.Dev.	SO ₂ Means	SO ₂ Std.Dev.	NO ₂ Means	NO ₂ Std.Dev.
Komina 2013/2011	30	816,68	115,35	7,45	4,31	704,31	35,89
Komina 2014/2012	30	900,83	48,24	15,79	0,54	654,93	22,55
Bez komine 2013/2011	30	919,66	43,55	11,28	9,54	748,91	74,33
Bez komine 2014/2012	30	905,55	61,02	16,73	0,97	669,85	16,73
Ukupno:							
Komina 2011/14.	60	858,76	76,79	11,62	2,43	679,62	29,22
Bez komine 2011/14.	60	912,11	52,28	14,00	5,25	709,38	45,53

Legenda: N- broj mjerenja; Mean-aritmetička sredina; Std.Dev.-standardana devijacija.

Univarijantnom analizom varijance (ANOVA) utvrđena je statistički značajna razlika između grupa mjerenja koja su koristila kominu i onih koji nisu koristili kominu za emisiju CO₂ uz kvantitativnu vrijednost F-testa, F=23,64 i razinu signifikantnosti od p=0,00. Vrijednosti emisija SO₂ i NO₂ također ukazuju na smanjene vrijednosti emisija ali ne i statističku značajnost (Tablica 2).

U ranije objavljenom pilot istraživanju [6, 7] također je utvrđena postojanost statističke značajnosti u emisijama CO₂, dok su NO₂ i SO₂ imale podjednako smanje vrijednosti ali ne i statističku značajnost.

Tablica 2. Rezultati univarijantne analize varijance

	F	p
CO ₂	23,64	0,00
SO ₂	1,22	0,42
NO ₂	2,45	0,21

Legenda: F - test- test značajnosti; P - nivo signifikantnosti.

Kanoničkom diskriminativnom analizom utvrđena je statistički značajna razlika između prosječnih dnevnih mjerenja emisija CO₂, SO₂ i NO₂ tijekom korištenja i nekorisćenja komine kao zamjenskog goriva uz koeficijent kanoničke diskriminacije od 0,51 i razinom signifikantnosti od p=0,00 (Tablica 3). Diskriminativna funkcija i centroidi grupa jasno pokazuju kolika je diskriminativna snaga prosječnih dnevnih vrijednosti emisija CO₂, SO₂ i NO₂ u danima kada nije korištena komina. Varijabla CO₂ ima visoku 0,97 korelaciju s značajnom diskriminativnom funkcijom i najviše sudjeluje u njenom objašnjenju. Veće kvantitativne vrijednosti prisutne su kod ostale dvije varijable u mjerenjima kada je korišten samo petrol-koks.

Tablica 3. Rezultati diskriminacijske analize emisija CO₂, SO₂, NO₂ i kriterijske varijable komina/bez komine

Chi-Square Tests with Successive Roots Removed (<i>m_pletikosić_hugo_2014_matrica</i>)	
varijable	DF
CO ₂	-0,97
SO ₂	-0,08
NO ₂	-0,39
Centroid_grupe_bez komine	-0,63
Centroid_grupe_komina	0,63
CanR	0,51
Wilks' - Lambda	0,73
Chi-Sqr.	19,95
df	3,00
p-value	0,00

Legenda: DF – diskriminativna funkcija; CanR – koeficijent kanoničke diskriminacije; p - value-nivo signifikantnosti.

Temeljem gore navedenih rezultata postavljene hipoteze ovog istraživanja se u potpunosti potvrđuju i prihvaćaju:

1. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks **dolazi do značajnijeg smanjenja emisije stakleničkog plina CO₂**.
2. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks **ne dolazi do značajnijih promjena u emisiji SO₂**.

3. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks **ne dolazi do značajnijih promjena u emisiji NO₂**.
4. Korištenjem komine kao zamjenskog goriva u odnosu na petrol-koks **ne dolazi do značajnijih promjena u emisiji dioksina, furana i teških metala**.

4. ZAKLJUČAK

Cij ovoga istraživanja bio je da se znanstveno, putem statističkih parametara dokaže smanjenje emisija CO₂, korištenjem zamjenskih goriva porijeklom od biomase, u ovom slučaju komine, u procesu proizvodnje cementa u tvrtki CEMEX Hrvatska d.d. Slična ili istovjetna znanstvena ni stručna istraživanja o korištenju komine u smanjenju emisije stakleničkih plinova u cementnoj industriji nisu pronađena, izuzev istraživanja istog autora ove studije. Stoga rezultati ovog istraživanja predstavljaju značajan korak za buduće studije i praćenje mogućeg doprinosa upotrebe komine u cementnoj industriji u procesu prilagodbe klimatskim promjenama.

Na uzorku entiteta od 120 dnevnih prosječnih mjerenja emisija CO₂, SO₂, NO₂ (60 dana mjerenja u kojima je korišteno isključivo samo petrol-koks (30 dana iz 2013 i 30 dana iz 2014 godine) te 60 dana u kojima je korištena definirana količina komine kao djelomično zamjenskog goriva ili supstitucija za petrol-koks (30 dana iz 2013 i 30 dana iz 2014), utvrđena je statistički značajna razlika u definiranim klasterima. Naime, univarijantnom analizom varijance (ANOVA) utvrđena je statistički značajna razlika između grupa mjerenja kada se koristila komina i kada nije u emisijama CO₂ uz kvantitativnu vrijednost F-testa, F=23,64 i razinu signifikantnosti od p=0,00. Vrijednosti emisija SO₂ i NO₂ također ukazuju na smanjene vrijednosti emisija, ali ne i statističku značajnost.

Kanoničkom diskriminativnom analizom uz koeficijent kanoničke diskriminacije (CanR) od 0,51 i razinom signifikantnosti od p=0,00 utvrđena je statistički značajna razlika između prosječnih dnevnih mjerenja emisija CO₂, SO₂ i NO₂ u prostoru korištenja i nekorištenja komine kao zamjenskog goriva.

Slijedom navedenog postavljene istraživačke hipoteze se u potpunosti potvrđuju i prihvaćaju.

Nedostatak istraživanja je mala količina komine, kao i mali broj uzoraka povremenih mjerenja, međutim izneseni podaci predstavljaju osnov za daljnje praćenje. Kao preporuka za buduća istraživanja potrebno je uz praćenje emisija CO₂, SO₂ i NO₂ obraditi više uzoraka u dužem vremenskom periodu povremenih mjerenja emisije dioksina, furana i teških metala, kao i usporedbu kalorijske vrijednosti promatranih goriva, imajući u vidu činjenicu da sezona obrade maslina, a tim i dostupnost svježije komine, traje oko dva mjeseca u godini.

5. LITERATURA

- [1] Anatolski S.A., Market of olive residues for energy, REACM, Intelligent Energy Europe, 2008.
- [2] Battelle et al., Toward a Sustainable Cement Industry, An independent study and its Substudies, A Report Report commissioned by the World Business Council on Sustainable Development, Geneva: WBCSD, 2002.
- [3] Best Available Techniques for the Cement Industry, CEMBUREAU, 2010.
- [4] CEMBUREAU - Co - processing of alternative fuels and raw materials in the European Cement Industry, 2009.
- [5] Cifrić I., Pojmovnik kulture i okoliša, Zaprešić, VŠPU B.A. Krčelić, Zagreb, 2009.
- [6] Petz B., Osnovne statističke metode za nematematičare, Naklada Slap, Jastrebarsko, 1997.

- [7] Pletikosić M. Korištenje goriva porijeklom od biomase kao zamjenskog goriva u procesu proizvodnje cementa u CEMEX Hrvatska d.d. Knjiga sažetaka. Hrvatski biološki kongres. 2012. Str.208
- [8] M.Pletikosić., Specifics of the environmental impact of biomass use in the cement industry, Zbornik radova prva regionalna konferencija o procjeni utjecaja na okoliš / proceedings first regional conference on environmental impact assessment, Hrvatska udruga stručnjaka zaštite prirode i okoliša, Zagreb, Hrvatska, 2014. Str.217-224
- [9] Pollution prevention in olive oil production, Regional Activity Centre for Cleaner Production.Mediterranean Action Plan, Ministry of Environment Spain, 2000.
- [10] Publication of CO₂ price forecast, Climate Economics Chair from Blue Next and ICE ECX Futures, 2011.
- [11] Refuse Derived Fuel, Current Practice And Perspectives (B43040/2000/306517 /MAR/E3).
- [12] UNEP (United Nations Environment Programme), Cleaner Production Section, Cleaner Production – Key Elements: The definition of Cleaner Production adopted by UNEP, Cleaner Production – Related Concepts, 2001.
- [13] UNEP, Guidelines for Integrated Coastal Area Management with a particular reference to Mediterranean Basin, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 161, Nairobi: UNEP/MAP-PAP/RAC, 1995.
- [14] Zakon o potvrđivanju Kyotskog protokola uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime (NN - Međunarodni ugovori 05/07)
- [15] Uredba o načinu trgovanja emisijskim jedinicama stakleničkih plinova (NN 69/12)
- [16] Uredba o praćenju emisija stakleničkih plinova, politike i mjera za njihovo smanjenje u Republici Hrvatskoj (NN 87/12)
- [17] Uredba o graničnim vrijednostima emisija onečišćujućih tvari u zrak iz nepokretnih izvora (NN 117/12, 90/14)
- [18] Pravilnik o načinu besplatne dodjele emisijskih jedinica postrojenjima (NN 43/12)

EDUCIRANOST STUDENTSKE POPULACIJE U PODRUČJU GOSPODARENJA OTPADOM

EDUCATION LEVEL OF STUDENT POPULATION IN THE FIELD OF WASTE MANAGEMENT

**Doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić^{1*}; Jasmina Tolj, mag. ing. rud.²;
Ivana Melnjak, mag. ing. geoling.¹; Lana Fundurulja, mag. ing. geol.²;
Imelda Pavelić, mag. ing.agr.¹**

¹Geotehnički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hallerova aleja 7, Varaždin

² AAVA Savjetovanje d.o.o., Ivana Cankara 21, Zagreb

*e-mail kontakt: aav@gfv.hr

SAŽETAK

Područje gospodarenje otpadom obuhvaća sakupljanje, prijevoz, uporabu i zbrinjavanje otpada te uspostava kvalitetnog sustava gospodarenja ovisi o implementaciji svih ovih elemenata u jednakoj mjeri. Međutim, vrlo često u uspostavi nekih od navedenih aktivnosti javlja se otpor javnosti koji se bazira uglavnom na informacijama koje nisu u potpunosti osnovane. Iznose se argumenti protiv segmenata sustava koji nisu stručno osnovani, a pretpostavlja se da je osnovni razlog formiranja ovakvih stavova javnosti nedostatak educiranosti u području gospodarenja otpadom.

Iz tog razloga provedeno je anketno istraživanje na studentskoj populaciji tehničkih fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Studentska populacija tehničkih fakulteta odabrana je kao ispitivana skupina jer se pretpostavlja da ova skupina bi trebala posjedovati vještine kritičkog donošenja mišljenja na temelju provjerenih podataka i informacija. Cilj istraživanja bio je utvrditi znanje studentske populacije tehničkih fakulteta iz područja gospodarenja otpadom.

Istraživanje je provedeno na uzorku od 270 studenata u pisanom i on-line obliku anketnog upitnika. Pitanja su bila grupirana u opća pitanja iz područja gospodarenja otpadom (11) i pitanja koja utvrđuju osnovno poznavanje termičke obrade otpada (7). Dobiveni rezultati ukazuju na to da anketirana studentska populacija formira svoje mišljenje o problematici gospodarenja otpadom primarno na temelju informacija koje dobivaju iz medija.

Ključne riječi: edukacija, studentska populacija, tehnički fakulteti

ABSTRACT

Waste management includes collecting, transport, recovery and disposal of waste. Establishing a good quality system depends on implementation of all those components equally. However, public very often objects the implementation of mentioned activities based on unfounded information. The arguments against the system are not based in science, and main reason is most likely lack of education in the field of waste management.

Consequently, a survey was conducted on population of engineering students at the University of Zagreb. This education group was selected based on an assumption that they reach conclusions based on critically assessed data and information. The principal aim of this study was to determine this group's knowledge in the field.

Survey was taken on a sample of 270 students in written and on – line questionnaire. The questionnaire was made up of two parts: basic waste management (11) and basic thermal waste treatment (7) questions. Results indicate that the majority of this group's individuals form their opinions based on unsubstantiated data given by the media.

Key words: *education, student population, technical faculties*

1. UVOD

Područje gospodarenja otpadom obuhvaća sakupljanje, prijevoz, uporabu i zbrinjavanje otpada, a uspostava kvalitetnog sustava ovisi o implementaciji svih ovih elemenata u jednakoj mjeri. Za dobro funkcioniranje sustava gospodarenja otpadom između ostalog nužna je i educiranost javnosti i njezino sudjelovanje u sustavu. Obzirom na čest otpor same javnosti, implementacija sustava je vrlo često usporena, a ponekad i u potpunosti onemogućena.

Otpor često proizlazi iz nepotpunih i ponekad netočnih informacija preuzetih od nepouzdatih izvora. Iznose se argumenti protiv segmenata sustava koji nisu stručno osnovani, a pretpostavlja se da je osnovni razlog formiranja ovakvih stavova nedostatak educiranosti u tom području te manjak kritičkog prihvaćanja informacija.

Iz tog razloga provedeno je anketno istraživanje na studentskoj populaciji tehničkih fakulteta Sveučilišta u Zagrebu kako bi se dobio uvid u stupanj njihovog znanja o toj temi. Studentska populacija tehničkih fakulteta odabrana je kao ispitivana skupina jer se pretpostavlja da bi ta skupina trebala posjedovati vještine kritičkog donošenja mišljenja na temelju provjerenih podataka i informacija, kao i posjedovati barem osnovno znanje na tu temu.

Istraživanje je provedeno na uzorku od 274 studenta u pisanom i on-line obliku anketnog upitnika. Pitanja su bila grupirana u opća pitanja iz područja gospodarenja otpadom (11) i pitanja koja utvrđuju osnovno poznavanje termičke obrade otpada (7).

2. GOSPODARENJE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

Temeljem Zakona o otpadu, čl. 8, Hrvatski je sabor na sjednici 14. listopada 2005. godine donio Strategiju gospodarenja otpadom Republike Hrvatske na temelju koje će se svake četiri godine donositi Plan gospodarenja otpadom za naredno razdoblje. Cilj toga je pokretanje promjena koje će postupno rješavati postojeće probleme, unapređivati sustav i usmjeravati Republiku Hrvatsku prema održivom gospodarenju otpadom i uklapanju u Europsku Uniju.

Predviđa se da će se do 2025. organiziranim skupljanjem obuhvatiti 99 % stanovništva, reciklirati 25% otpada, a odlagati 35% biorazgradivog otpada. Kvote uporabe – 60% za ambalažni otpad, 85% za otpadna vozila, 70-80% za EE-otpada – i recikliranja nekih prioritarnih tokova otpada – 55-60% za ambalažni otpad, 80% za otpadna vozila, 50-80% za EE-otpada – određene su na temelju odgovarajuće regulative Europske Unije, s pretpostavljenim vremenskim pomacima rokova za Hrvatsku [1].

Kako bi se ostvarili planirani ciljevi, nužno je adekvatno sudjelovanje populacije. Iako je Republika Hrvatska, barem u pogledu prikupljanja otpada, daleko bolja od nekih ekonomski siromašnijih zemalja, poput zemalja Azije gdje se prikuplja tek jedna do dvije trećine otpada [2]. osviještenost stanovništva nije na visokoj razini. To se može vidjeti prema reakcijama stanovništva na pokušaje uvođenja promjena (primjer uvođenja odvojenog prikupljanja više vrsta otpada, primjer postrojenja za termičku obradu otpada, itd.) koje su uglavnom vođenje

strahom od nepoznatog. Kako bi se ostvarili planirani ciljevi, nužno je adekvatno sudjelovanje populacije.

3. METODOLOGIJA

Tijekom rujna i listopada 2014. godine anketirani su studenti zagrebačkog sveučilišta, kako bi se ispitao stupanj njihove educiranosti u području gospodarenja otpadom. Anketa se ispunjavala u on-line i tiskanom obliku. Prikupljeni su rezultati 274 studenta od kojih je njih 199 upisano na preddiplomski studij, a 150 na diplomski studij nekog od tehničkih fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (pet studenata nije odgovorilo na pitanje o stupnju obrazovanja).

Visoko obrazovanje u Republici Hrvatskoj provodi se kroz sveučilišne i stručne studije. Sveučilišni studiji izvode se na sveučilištu, dok se stručni studiji izvode na veleučilištu ili visokoj školi.

Skupina studenata odabrana za ovu anketu studira na sveučilišnim studijima koji osposobljavaju studente za obavljanje poslova u znanosti i visokom obrazovanju, u poslovnom svijetu, javnom sektoru i društvu općenito te ih osposobljava za razvoj i primjenu znanstvenih i stručnih dostignuća. Sveučilišni studij obuhvaća tri razine: preddiplomski, diplomski i poslijediplomski studij. U istraživanje su uključeni studenti s preddiplomskih i diplomskih studija.

Preddiplomski sveučilišni studij traje u pravilu tri do četiri godine i njegovim se završetkom stječe akademski naziv sveučilišni prvostupnik/ prvostupnica (baccalaureus), uz naznaku struke, što kvalificira studenta za specijaliziran, umjetnički ili znanstveni rad. Student nakon ove razine može nastaviti studirati na diplomskom sveučilišnom ili specijalističkom diplomskom stručnom studiju ili ući na tržište rada.

Diplomski sveučilišni studij traje u pravilu jednu do dvije godine, i njegovim se završetkom stječe akademski naziv magistar, odnosno magistra uz naznaku struke. Student nakon ove razine može nastaviti studirati na poslijediplomskom sveučilišnom studiju ili ući na tržište rada [3].

Dakle ispitivana skupina je grupa visoko obrazovanih ljudi (ili onih koji će to ubrzo biti – studenti preddiplomskih studija) koji su spremni za tržište rada i sudjelovanje u kreiranju društvenih i gospodarskih prilika. Radi stupnja njihovog obrazovanja, za očekivati je da će biti sposobni stvarati svoja mišljenja na temelju kritički sagledanih činjenica te postupati u skladu s time.

Anketirani su studenti tehničkih fakulteta: Tekstilno–tehnološki fakultet, Rudarsko–geološko–naftni fakultet, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Geotehnički fakultet u Varaždinu i studenti fakulteta biotehničkih znanosti: Agronomski fakultet i Prehrambeno–biotehnički fakultet.

Studenti navedenih fakulteta čine oko 18% sveukupne studentske populacije Sveučilišta u Zagrebu (podatci za a.k.god. 12/13) [4].

Anketa se sastojala od osamnaest pitanja podijeljenih u dvije skupine: opća pitanja iz područja gospodarenja otpadom i pitanja koja utvrđuju osnovno poznavanje termičke obrade otpada (Tablica 1). Pitanja prvog dijela ankete osmišljena su kako bi se istražila osnovna informiranost o gospodarenju otpadom, a pitanja drugog dijela imaju svrhu ispitati osnovno znanje o aktualnim pitanjima na temu termičke obrade otpada.

Tablica 1. Anketna pitanja

Gospodarenje otpadom	
1. Koji stupanj visokog obrazovanja pohađate?	Preddiplomski studij
	Diplomski studij
2. Kako procjenjujete svoje znanje o funkcioniranju sustava gospodarenja otpadom? (1 - vrlo loše, 2 - loše, 3 - dobro, 4 - vrlo dobro, 5 - odlično)	1 – vrlo loše
	2 – loše
	3 – dobro
	4 – vrlo dobro
	5 – odlično
3. Koliko ste tijekom dosadašnjeg formalnog obrazovanja učili o gospodarenju otpadom?	do 10 h
	10 – 20 h
	više od 20 h
4. Na čemu je osnovano vaše znanje o gospodarenju otpadom?	Formalno obrazovanje
	Dodatno obrazovanje (izborni predmeti/radionice/seminari)
	Informacije iz medija
	Informacije iz znanstvenih medija
5. Po vašoj procjeni, koliko otpada proizvede jedna osoba godišnje u Hrvatskoj?	oko 20 kg/god
	oko 75 kg/god
	oko 270 kg/god
	oko 470 kg/god
	oko 850 kg/god
6. Koje vrste otpada odvajate u kućanstvu?	Ne odvajam
	Papir
	Staklo
	PET ambalaža
	ALU ambalaža
	Baterije
	Tekstil
	Električni i elektronički otpad
	Bio otpad
7. Koliki postotak otpada se u Hrvatskoj primarno odvaja?	uopće se ne odvaja
	manje od 5%
	oko 10%
	oko 20%
	oko 40%
8. Primarno odvajanje otpada podrazumijeva:	recikliranje
	odvajanje otpada u zasebne spremnike
	zbrinjavanje
	obradu otpada

	ponovnu upotrebu tog otpada
9. Na koji način odvajanje otpada u kućanstvu utječe na trošak komunalne naknade tog kućanstva?	<p>smanjuje iznos komunalne naknade</p> <p>iznos komunalne naknade ostaje isti</p> <p>povećava iznos komunalne naknade</p>
10. Trošak recikliranja na sebe preuzima:	<p>svaka fizička osoba zasebno</p> <p>recikliranje ne košta, već se na njemu zarađuje</p> <p>država</p> <p>tvrtke koje se bave recikliranjem otpada</p>
11. Među navedenim vrstama otpada označite opasni:	<p>Stari mobilni telefon</p> <p>Prazna boca sredstva za čišćenje</p> <p>Staklenke</p> <p>Baterije</p> <p>Stara odjeća</p> <p>Ostatci ručka</p> <p>Flaster nakon što se porežeš</p> <p>Novine</p> <p>Potrošeni toner iz printera</p> <p>Ostatci od pripreme ručka</p> <p>Plastična ambalaža</p>
Termička obrada otpada	
12. Koja je uloga spalionice u sustavu gospodarenja otpadom?	<p>smanjenje količine otpada na odlagalištima</p> <p>izvor energije</p> <p>eliminacija potrebe za odlagalištima</p> <p>uništavanje opasnog otpada</p>
13. Smatrate li da danas postoje tehnologije obrade zraka koje su takve da spalionica ne utječe na zdravlje okolnog stanovništva?	<p>Da</p> <p>Ne</p> <p>Ne znam</p>
14. Koliki postotak prvotnog volumena otpada preostaje nakon njegova spaljivanja?	<p>oko 1%</p> <p>oko 5%</p> <p>oko 15%</p> <p>oko 25%</p>
15. Da li se u spalionici koja ima valjanu dozvolu spaljivanja komunalnog otpada može spaljivati opasni otpad?	<p>Da</p> <p>Ne</p>
16. Pri spaljivanju otpada, dioksini i furani bi nastali iz ovih otpada:	<p>PVC-a</p> <p>Čiste plastike</p> <p>Drveta od namještaja</p> <p>Sirovog drveta</p> <p>Većih količina soli</p> <p>Zelenog lišća</p>

	Mulja s uređaja za obradu otpadnih voda
	Papira
17. Dioksini i furani nastaju na sljedećim temperaturama:	100 – 250 °C
	250 – 400 °C
	400 – 600 °C
18. Pri spaljivanju komunalnog otpada nastaje:	Oko 25% neopasnog i oko 2% opasnog otpada
	Oko 10% neopasnog i oko 20% opasnog otpada
	Nakon spaljivanja ne preostaje otpad

4. REZULTATI I RASPRAVA

Rezultati su obrađeni filtriranjem odgovora sudionika na pitanja (odgovori na opća pitanja o obrazovanju ispitanika). Zatim su prema tom filtru uspoređivani podaci prema stupnju studija, prema izvoru informacija i prema utjecaju količine sati u obrazovanju na kreiranje vlastitog mišljenja o problematici gospodarenja otpadom.

Dok gotovo 63% ispitanika svoje znanje ocjenjuje kao dobro do odlično, njihovi rezultati to ne potvrđuju. Rezultati upućuju na nedovoljno znanje ispitanika koji su u prosjeku imali 50 % točnih odgovora.

Otprilike 70% ispitanika o temi gospodarenja otpadom slušalo je manje od 10 sati tokom formalnog obrazovanja dok je tek 10% sudionika (njih 29) procijenilo da su tijekom svojeg formalnog obrazovanja odslušali više od 20 sati o temi gospodarenja otpadom (Slika 1).

3) Koliko ste tijekom dosadašnjeg formalnog obrazovanja učili o gospodarenju otpadom?

		Response (%)	Responses
do 10 h		69.09	190
10 - 20 h		20.36	56
više od 20 h		10.55	29
		Answered Question	275
		Skipped Question	0

Slika 1 Broj sati formalnog obrazovanja na temu gospodarenja otpadom

Slikom 2 prikazani su odgovori na pitanje o povezanosti iznosa komunalne naknade i primarnog odvajanja otpada. Gotovo 89% ispitanika ne razumije povezanost između primarnog odvajanja otpada i troška komunalne naknade. Rezultati upućuju na potpuno nerazumijevanje funkcioniranja sustava budući da ekonomičnost sustava igra izuzetno veliku ulogu u njegovom planiranju i funkcionalnosti.

9) Na koji način odvajanje otpada u kućanstvu utječe na trošak komunalne naknade tog kućanstva?

		Response (%)	Responses
Smanjuje iznos komunalne naknade		29.30	80
Iznos komunalne naknade ostaje isti		59.34	162
Povećava iznos komunalne naknade		11.36	31
		Answered Question	273
		Skipped Question	2

Slika 2 Poznavanje ekonomskog aspekta sustava gospodarenja otpadom

Nešto više od četvrtine ispitanika (Slika 3) je mišljenja da se u postrojenju koje ima dozvolu za termičku obradu komunalnog otpada, može termički obrađivati i opasni otpad. U pitanju su korišteni izrazi „spalionica“ i „spaljivanje“ radi jednostavnosti. Smatra se da odgovori upućuju na nepovjerenje u sustav.

15) Da li se u spalionici koja ima valjanu dozvolu spaljivanja komunalnog otpada može spaljivati opasni otpad?

		Response (%)	Responses
Da		25.59	65
Ne		74.41	189
		Answered Question	254
		Skipped Question	23

Slika 3 Odgovori na pitanje o vrsti otpada koju je dozvoljeno spaljivati u spalionici komunalnog otpada

U nastavku je prikazano više rezultata dobivenih filtriranjem pitanja iz kategorije općih pitanja na temu gospodarenja otpada.

4.1. Utjecaj stupnja obrazovanja studentske populacije na poznavanje problematike gospodarenja otpadom

Uspoređeni su rezultati anketa studenata preddiplomskih i diplomskih studija kako bi se utvrdilo ovisi li poznavanje teme o stupnju obrazovanja. Analiza ankete je pokazala da kada se radi o stupnju obrazovanja studenata, nema značajnijih razlika u razini znanja između studenata preddiplomskog i diplomskog studija. Obje grupe ispitanika pokazuju manjak znanja u tom području s prosječno 50% točno odgovorenih pitanja. Tako na primjer na pitanje „Koliko otpada proizvede jedna osoba godišnje u Hrvatskoj?“ 43% ispitanika diplomskog studija i 44% ispitanika preddiplomskog studija odgovorilo je oko 270 kg/god po stanovniku (Slika 4). Na pitanje „Na koji način odvajanje otpada utječe na trošak komunalnu naknade tog kućanstva?“ 61% ispitanika diplomskog studija i 57% ispitanika preddiplomskog studija odgovorilo je da iznos komunalne naknade ostaje isti (Slika 5).

5) Po vašoj procjeni, koliko otpada proizvede jedna osoba godišnje u Hrvatskoj?

		Response (%)	Responses
oko 20 kg/god		0.85	1
oko 75 kg/gog		16.95	20
oko 270 kg/god		44.07	52
oko 470 kg/god		31.36	37
oko 850 kg/god		6.78	8
		Answered Question	118
		Skipped Question	155

5) Po vašoj procjeni, koliko otpada proizvede jedna osoba godišnje u Hrvatskoj?

		Response (%)	Responses
oko 20 kg/god		2.03	3
oko 75 kg/gog		9.46	14
oko 270 kg/god		43.24	64
oko 470 kg/god		35.14	52
oko 850 kg/god		10.14	15
		Answered Question	148
		Skipped Question	125

Slika 4 Odgovori studenata na pitanje o godišnjoj proizvodnji otpada (gore preddiplomski, dolje diplomski studij)



Slika 5 Odgovori studenata na pitanje o komunalnoj naknadi (gore preddiplomski, dolje diplomski studij)

4.2. Utjecaj izvora informacija na temelju kojeg se formira mišljenje iz problematike iz gospodarenja otpadom

U donošenju zaključaka na bilo koju temu, izuzev sposobnosti kritičkog razmišljanja i količine znanja, izvor informacija zasigurno igra značajnu ulogu. Razmatranjem rezultata prema kriteriju odabira izvora na kojem sudionici temelje svoje znanje, uočene su razlike između ispitanika koji znanje temelje na informacijama iz medija i onih koji znanje temelje na formalnom obrazovanju. Pokazalo da postoji povezanost između preuzimanja informacija iz nepouzdanih izvora (opći mediji) i nešto lošijih rezultata.

Još jednom se za primjer mogu uzeti odgovori na pitanje o prosječnoj količini otpada koju osoba proizvede godišnje. Slikama 6 i 7 prikazani su rezultati ispitanika na pitanje o godišnjoj proizvodnji otpada obzirom na njihov odabir izvora informacija. Razlika, iako ne značajna (tek 5%), ide u prilog studentima koji informacije crpe iz formalnog obrazovanja, a ne neznanstvenih medija. Tako malena razlika govori u prilog tome da je znanje obje skupine dosta loše.



Slika 6 Rezultati ispitanika koji znanje temelje na medijima



Slika 7 Rezultati ispitanika koji znanje temelje na formalnom obrazovanju

4.3. Utjecaj količine formalnog obrazovanja na poznavanje problematike gospodarenja otpadom

Od ukupnog broja ispitanika 68,86% ih je u svom formalnom obrazovanju o gospodarenju otpadom slušalo manje od 10 sati, a tek 10,62% njih je o temi slušalo više od 20 sati.

Analizom (filtriranjem) rezultata utvrđeno je da ispitanici koji imaju manjak formalnog obrazovanja u području gospodarenja otpadom (manje od 10 sati) u većem postotku temelje svoje znanje na informacijama iz medija (Slika 8). To čini čak 60% te skupine. Iz tog podatka se može izvesti zaključak da su ispitanici koji su slabo ili vrlo slabo upoznati s problematikom gospodarenja otpadom podložniji temeljenju svog mišljenja na informacijama iz medija, a time najčešće i produblivanju neznanja o toj temi.

3) Koliko ste tijekom dosadašnjeg formalnog obrazovanja učili o gospodarenju otpadom?

		Response (%)	Responses
do 10 h		75.98	136
10 - 20 h		17.32	31
više od 20 h		6.70	12
		Answered Question	179
		Skipped Question	94

4) Na čemu je osnovano vaše znanje o gospodarenju otpadom?

		Response (%)	Responses
Formalno obrazovanje		22.33	67
Dodatno obrazovanje (izborni predmeti/radionice/seminari)		6.67	20
Informacije iz medija		59.67	179
Informacije iz znanstvenih medija		11.33	34
		Answered Question	179
		Skipped Question	94

Slika 8 Odnos rezultata ispitanika s manjkom formalnog obrazovanja – gotovo 60% njih temelje svoje znanje na informacijama iz medija

Ispitanici koji su procijenili da su tokom svojeg formalnog obrazovanja o problematici gospodarenja otpadom slušali više od 20 sati, svoje znanje u manjem postotku temelje na informacijama iz medija (to čini jedna četvrtina te grupe ispitanika) kao što je prikazano Slikom 9. Iz tog podatka se može zaključiti da ispitanici koji su dobro ili vrlo dobro upoznati s problematikom gospodarenja otpadom vjerojatno kritičnije sagledaju informacije koje im se nude jer imaju više informacija i time bolje razumiju problematiku.

3) Koliko ste tijekom dosadašnjeg formalnog obrazovanja učili o gospodarenju otpadom?

		Response (%)	Responses
do 10 h		25.00	2
10 - 20 h		25.00	2
više od 20 h		50.00	4
		Answered Question	8
		Skipped Question	266

4) Na čemu je osnovano vaše znanje o gospodarenju otpadom?

		Response (%)	Responses
Formalno obrazovanje		25.00	8
Dodatno obrazovanje (izborni predmeti/radionice/seminari)		25.00	8
Informacije iz medija		25.00	8
Informacije iz znanstvenih medija		25.00	8
		Answered Question	8
		Skipped Question	266

Slika 9 Odnos rezultata ispitanika s više od 20 sati formalnog obrazovanja o gospodarenju otpadom – 25% njih temelji svoje znanje na informacijama iz medija

Na temelju svih rezultata evidentno je da znanje ispitanika nije na razini koja se može očekivati od studenata tehničkih fakulteta. Temeljem odgovora na osnovna pitanja, kao na primjer na pitanje o utjecaju primarnog odvajanja na komunalni trošak, pokazalo se da bez znanja osnovnih činjenica ispitanici nisu bili sposobni doći čak ni do logičnih zaključaka.

5. ZAKLJUČAK

Pregledom rezultata provedene ankete može se zaključiti da je znanje o području gospodarenja otpadom dosta loše. Još veću zabrinutost stvara činjenica da većina njih svoje znanje smatra dobrim do izvrsnim.

Pretpostavlja se da je razlog ovakvih rezultata manjak svijesti o važnosti problematike, kao i preuzimanje neutemeljenih informacija kao činjenica. Većina ispitanike skupine svoja razmišljanja temelji na informacijama dobivenim iz medija koji često ne prenose relevantne, a ponekad niti točne informacije. Često je razlog tome manjak educiranosti na tu temu.

Anketom je pokazano da stupanj visokog obrazovanja ne igra ulogu u znanju na ovu temu. S druge strane, uloga formalnog obrazovanja utječe na odabir izvora informacija. Manjak formalnog obrazovanja povezan je s povećanim temeljenjem znanja na nepouzdanim izvorima (neznanstveni mediji). Pokazalo se da je izbor medija za izvor informacija povezan s lošijim rezultatima.

S ovakvim rezultatima skupine od koje se očekivalo najveće znanje (u odnosu na ostatak populacije) biti će teško ostvariti ciljeve koje stavljamo pred sebe kao država u pogledu gospodarenja otpadom. Kako bi se ostvario napredak, nužno je povećati znanje populacije jer ona je ključni aspekt sustava gospodarenja otpadom.

Jačanje edukacije u području gospodarenja otpadom jedan je od osnovnih preduvjeta za uspješnost i cjelovitost sustava gospodarenja otpadom. Utjecaj razmišljanja ne-u-mojem-dvorištu trenutno je prilično jak te je pravilnim pristupom, razgovorom, kvalitetnim radom i disciplinom potrebno uspostaviti povjerenje u lokalnoj zajednici. Informiranje mora biti svima razumljivo i temeljiti se na znanstveno dokazanim činjenicama [5]. Na to upućuju i rezultati

Studije, Socioekonomska analiza gospodarenja otpadom u gradovima Osijeku i Subotici, provedene od instituta društvenih znanosti Ivo Pilar izrađenoj u sklopu provođenja projekata recikliranja u tim gradovima. Studija je pokazala da građani koji su detaljnije upoznati s projektom korištenja 'zelenih otoka' (eksperimentalna skupina) iskazuju statistički značajno veću namjeru odvojenog prikupljanja od skupine nasumično odabranih građana koja nije bila detaljnije upoznata s projektom (kontrolna skupina). Treba uzeti u obzir da su takvi rezultati djelomično i posljedica toga što se tim građanima osigurala infrastruktura za odvojeno prikupljanje otpada [6].

6. LITERATURA

- [1] Kalambura, S.; Strategija gospodarenja otpadom i uloga fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, 2006.
- [2] Zurbrügg, C.; Urban Solid Waste Management in Low-Income Countries of Asia - How to Cope with the Garbage Crisis, 2002.
- [3] Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske, Vrste studija: <http://public.mzos.hr/Default.aspx?art=5538&sec=2254>, listopad 2014.
- [4] Broj studenata na visokim učilištima za akademsku godinu 2012/2013: <https://www.azvo.hr/index.php/hr/statistike/broj-studenata-po-raznim-kriterijima/44-statistike/689-broj-studenata-na-visokim-uilitima-za-0910-i-1011-godinu>, listopad 2014.
- [5] Rolph Schneider, D., Kalambura, S., Anić Vučinić, A., Tucak-Zorić, S., Veinović, Ž., Nušinić, M.; Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zaključci s okruglog stola - Cjelovit sustav gospodarenja otpadom, 2014.
- [6] Šimleša, D. i suradnici; Institut društvenih znanosti Ivo Pilar; Studija – Socioekonomska analiza gospodarenja otpadom u gradovima Osijeku i Subotici, 2012.
- [7] De Feo, G., De Gisi, S.; Public opinion and awareness towards MSW and separate collection programmes: A sociological procedure for selecting areas and citizens with a low level of knowledge, 2010.

EE/OIE UZ HUMAN TRETMAN OTPADA BEZ DEPONIRANJA/ODLAGANJA

EE/RES TO HUMAN WASTE TREATMENT WITHOUT THE DISPOSAL

**Akademik Vlatko Doleček^{1*}; Tomislav Grizelj^{2*};
mr. sc. Jasmina H. Bajramović, dipl. san. ing.^{3*}**

¹Akademija nauka i umjetnosti BiH, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

²ITG Wärmetechnik GmbH, Wien, Austria

³GRIZELJ Sarajevo, Bosna i Hercegovina

*e-mail kontakt: vldolecek@gmail.com, itgwien@itgwien.com, jasmina@grizelj.com

SAŽETAK

Obnovljivi izvori energije, energetska efikasnost, efektan tretman otpada, deponiranje otpada, danas su neke od najaktualnijih tema o kojima se mnogo govori/piše, ali je primjena na terenu neznata. Promatrajući otpad kao obnovljivi energetska izvor primjenom energetska načela za efikasno korištenje istog moguće je ekonomski opravdati kroz humani pristup koji osigurava tretman otpada bez odlaganja/deponiranja.

Priznata ili nepriznata greška današnjice je sigurno nekorisno odlaganje ili deponiranje otpada koje samo narušava životni ambijent i uz razvoj suvremenih, sofisticiranih i modularnih tehnologija nema nikakvo opravdanje.

Tretman otpada kroz energetska valorizaciju osigurava benefite koji će riješiti problem budućnosti po pitanju otpada, ali i problem već velikih količina odloženog otpada.

Korektno upravljanje otpadom obuhvata proceduru koja se sastoji iz sortiranja, obilježavanja, vaganja, evidencije, čuvanja/skladištenja, transporta, tretmana i zbrinjavanja, ali kroz human pristup koji će biti ekološki prihvatljiv, energetska efikasan, veterinarski – zdravstveno podoban, sanitarno – higijenski ispravan, ekonomski profitabilan i razvojno održiv.

Ključne riječi: obnovljivi izvor energije, otpad, energetska efikasnost

ABSTRACT

Renewable source energy, energy efficiency, effective waste treatment, disposal of waste, today are some of the hottest topics, but too many speak/write, but the application on the ground is insignificant.

Looking at waste as a renewable energy source by applying energy principles for efficient use of the same can be economically justified in a humane approach that provides treatment free waste disposal. Recognized or unrecognized error today is certainly useless disposal or dumping of waste, which only undermines the living environment and the development of modern, sophisticated and modular technology has no justification.

Treatment of waste through energy valorization provides benefits that will solve the problem of the future in terms of waste, but also a problem for large amounts of waste.

The correct waste management involves a procedure that consists of sorting, labeling, weighing, recording, keeping/warehousing, transportation, treatment and disposal, and the humane approach that will be environmentally friendly, energy

efficient, veterinary - suitable, sanitary - hygienic correct, economically profitable and sustainable development.

Keywords: *renewable energy, waste, energy efficiency*

1. UVOD

Izuzetno aktuelna tema je danas zbrinjavanje, odnosno upravljanje otpadom. Obzirom na specifičnost materije, bilo da se promatra po sastavu, po mjestu nastanka, po vremenu nastanka ili po mogućnosti iskorištenja, isti se definitivno treba promatrati kao obnovljivi izvor energije koji ima značajnu vrijednost.

Danas mnogima otpad predstavlja problem i koji većinom biva „riješeno“ zatrpavanjem, odnosno odlaganjem/deponiranjem na određenim područjima.

Hijerarhijsko postupanje s otpadom već je propisano zakonskom regulativo, a predstavlja:

- sprječavanje/smanjenje nastajanja otpada
- re-upotreba otpada
- recikliranje otpada
- energetska iskorištenja otpada
- odlaganje.

Ono što bi se još moglo možda dodati, su preventivna i privremena rješenja u momentu nemogućnosti efikasnog iskorištenja otpada, ali uz humano postupanje.

Naime, otpad koji je nastao može se korektno privremeno izolirati iz Prirode na način da se izvrši baliranje, npr. sezonsko baliranje otpada do momenta iskorištenja.

Također u hijerarhijsko postupanje sa otpadom bilo bi dobro uvrstiti i termičku obradu za pojedine vrste otpada, kao što je npr. životinjski otpad, te mogućnost stabiliziranja i neutralizacije.

Kroz energetska iskorištenja otpada treba otpad energetski efikasno iskoristiti npr. procesom turbo incineracije i turbo ko-incineracije, sa mogućnošću rekuperacije.

Odlaganje otpada je zadnji korak koji treba obzirom na postojanje danas suvremene, sofisticirane, automatizirane i modularne napredne tehnologije, sve više izbjegavati.

2. TRETMAN OTPADA

Za human tretman otpada neophodno je poznavati svojstva otpada u smislu [3]:

- fizikalna
- hemijska
- biološka
- energetska.

Otpad nastaje na različitim mjestima, u različitom vremenskom periodu i različitog karaktera, te da bi otpad bio korektno tretiran neophodno je znati vlažnost, gustoću, veličinu materije, čvrstoću, propusnost, hemijski sadržaj, biorazgradivost, gornju i donju toplinsku moć i sl.

Da bi odabrano tehnološko rješenje za tretman otpada zadovoljavalo ekološke, energetske i ekonomske aspekte otpad je neophodno upoznati pa sa njim humano postupati.

Npr. vlaga smanjuje iskoristivi dio energetske vrijednosti otpada, dok recimo sadržaj ugljika i volatilnih sastojaka koji čine gorivi dio povećavaju njegovu energetska vrijednost [4].

Kada je u pitanju biološko svojstvo otpada važna su radi definiranja tehnologije i finalnog produkta, npr. u cilju proizvodnje energije. Neki materijali ometaju biološke transformacije kao što su guma, koža, plastika i sl. zbog sadržaja masnoća, celuloze, lignina, proteina i sl. [3]

Za vrste otpada kao što su komunalni, industrijski, medicinski, životinjski, otpadni mulj i sl. humano postupanje predstavlja tretman otpada kao obnovljivog izvora energije iz koga se dobiju novi resursi, sirovine, reciklanti ili energenti, na način da se planira:

- reciklaža,
- termička obrada,
- energetska iskorištenje.

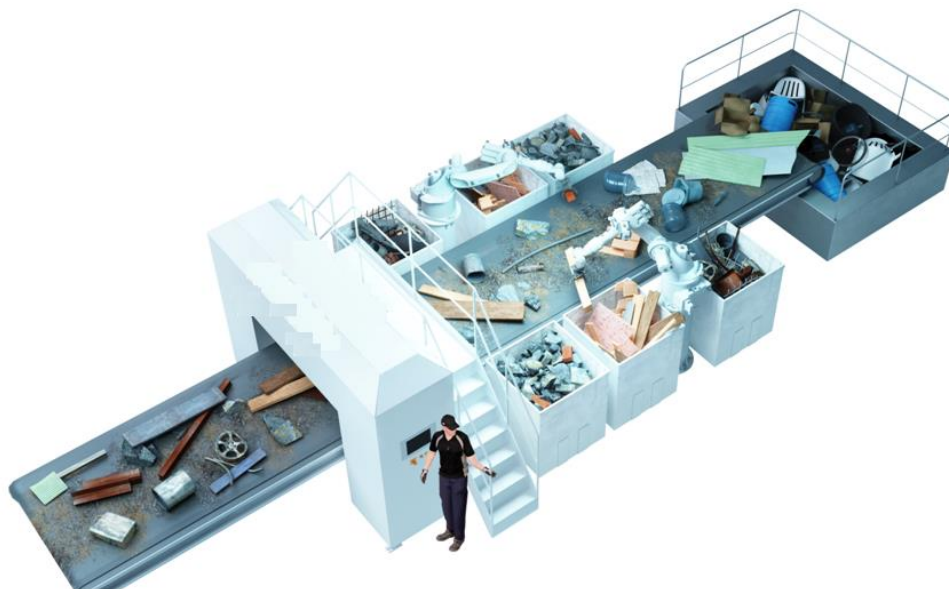
2.1. Reciklaža

Reciklaža podrazumijeva prvenstveno selekciju/separaciju otpada, uz obavezno obilježavanje i vaganje otpada i usitnjavanje. Zatim slijedi recikliranje selektiranog reciklanta prema specifičnosti. Kada je u pitanju selekcija/separacija otpada može se planirati [1]:

- manuelna selekcija,
- automatska selekcija.

Manuelna selekcija je danas najzastupljenija, međutim često objekti, postrojenja ili oprema gdje se vrši selekcija ne podrazumjevaju humane uslove za uposlenike, te se često planirana selekcija ne vrši korektno i efektno. Uslovi u kojima je čovjek vršio selekciju otpadnih materijala, u svrhu izdvajanja ekonomski vrijednih reciklanata, najčešće su nehumanizirani i narušavaju njegovo zdravlje. Dišni, slušni i očni sistem izložen je tokom manualne selekcije te je mogućnost za unos različitih mikroba u čovjekov organizam na visokom nivou. Različite higijensko tehničke opreme otežavaju rad radnika, pa radnici najčešće rade bez higijensko tehničke zaštite, te svjesno i nesvjesno se izlaže opasnosti.

Sve češće pristupa se automatiziranoj selekciji koja podrazumjeva upotrebu robota ili manipulatora. Manipulatori koji se pričvršćuju za osovinu bilo da je podne ili stropne izvedbe u određenom području imaju mogućnost manipulacije sa sirovinama koje dolaze do manipulacijske ruke preko senzora koji prepoznaje materijal i šalje je na mjesto selekcije [5]. Manipulator izdvaja materiju i sprema je na mjesto namijenjeno za tu vrstu. Već uspješne selekcije vrše se za izdvajanje inertnih materijala, drveta, metala, betona ... (slika 1).



Slika 1. Traka za selekciju građevinskog otpada sam robotima manipulatorima [5]

Traka na kojoj dolazi otpad spreman za selekciju na samom ulazu ima spektroskopske kamere, 3D kamere, lasere i senzore koji vrše prepoznavanje i detekciju materijala. Nakon skeniranja, analize i identifikacije robot preuzima materiju te je smješta u mjesto namijenjeno za tu vrstu materije. Zanimljiva je brzina kojom robot može da vrši određene radnje, tako npr. [5]

U procesu selekcije, uzimanje materijala i odlaganje na predviđeno mjesto traje 3 sekunde;

$$5\ 000\ \text{sati/godišnje} \times 1400\ \text{„manipulacija/uzimanja“ po satu}$$

$$= 7\ \text{miliona „manipulacija/uzimanja“ godišnje}$$

$$7\ 000\ 000\ \text{„manipulacija/uzimanja“ godišnje} \times 1,5\ \text{kg (po robotu)}$$

$$= 10\ 000\ \text{tona selektiranog materijala na nivou godine}$$

Ukoliko se napravi ekonomski bilans:

$$100\ \$/t\ (\text{prosječna prodajna cijena reciklanta}) \times 10\ 000\ t/a$$

$$= 1\ 000\ 000\ \$/a$$

2.2. Termička obrada

Termička obrada otpada podrazumjeva proces kojim se efikasno može tretirati npr. životinjski otpad kako bi se dobili resursi kao što su krvno, koštano, mesno, hidrolizirano brašno, eko masti i ulja i đubrivo. U tom smislu termička obrada podrazumijeva proces sterilizacije pri uvjetima kao što su korektna i efektna temperatura, vrijeme i pritisak, uz obavezno usitnjavanje frakcije koja će biti termički tretirana [6].

Termička obrada podrazumijeva i dehidraciju određenih vrsta otpada, npr. kokošji izmet iz koga se ovom metodom može efikasno dobiti eko pelet kao đubrivo za hortikulturu ili eko pelet i/ili briket kao energent. Tretman i finalni produkt ovisi o tome da li se tretira izmet od koka nesilica ili tovnih koka i pilića, odnosno izmet sa i bez prostrirke.

2.3. Energetsko iskorištenje

Komunalni otpad je jedna od najzastupljenijih vrsta otpada te je prema specifičnosti materije prvenstveno moguće planirati reciklažu, a za preostali dio energetsko iskorištenje. Kod hazardnog patološkog anatomskog otpada medicinskog ili životinjskog porijekla krucijalna preporuka kao preventivno djelovanje da se energetski tretira i iskoristi.

Kod otpadnog mulja koji danas također predstavlja izuzetan problem preporuka je da se isti energetski iskoristi uz tehnologiju koja će zadovoljiti ekološke, energetske i ekonomske aspekte.

Energetsko iskorištenje otpada u postrojenjima kogenerativnog i trigenerativnog karaktera, procesom turbo incineracije i turbo ko-incineracije predstavlja suvremeno, sofisticirano, automatizirano, napredno rješenje koje podrazumijeva rad pri visokim kontroliranim temperaturama.

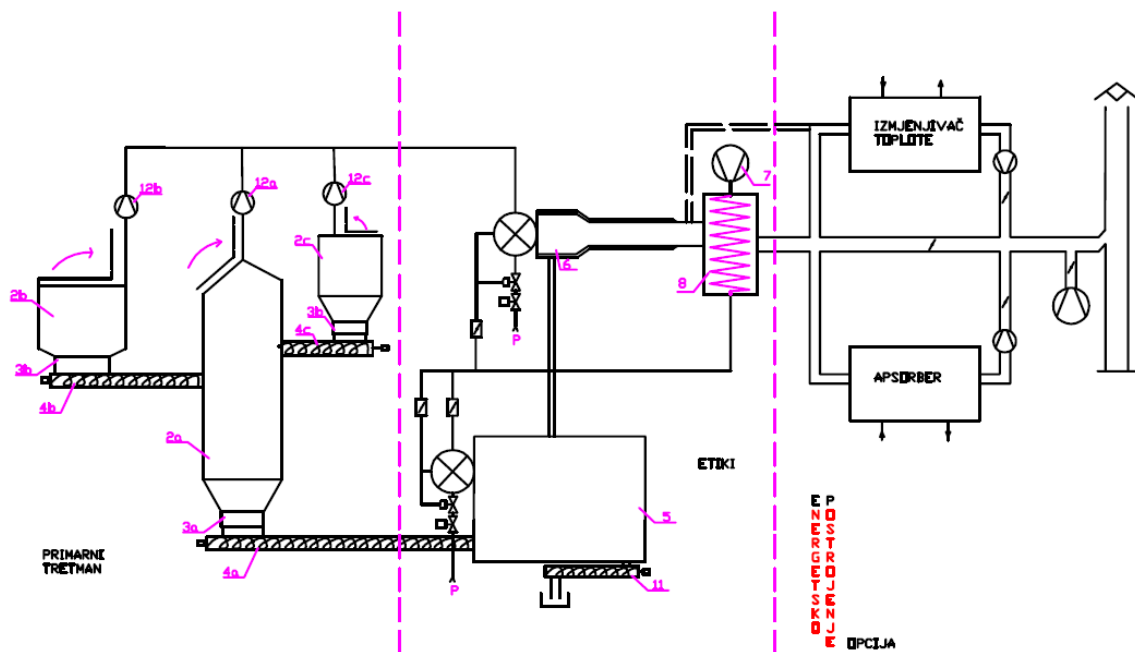
Proces turbo incineracije mora se odvijati pri temperaturi $> 860\text{ }^{\circ}\text{C}$, a u turbo ko – incineraciji pri temperaturi $> 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, uz obaveznu retenciju > 2 sekunde, kako bi se postigla energetska iskoristivost tretirane materije [2].

Ovisno od kapaciteta materije koja će se tretirati i od finalnog konzumenta energije planira se energetski blok za proizvodnju toplotne, rashladne i električne energije.

3. ENERGETSKI EFIKASNO KORIŠTENJE OBNOVLJIVOG IZVORA ENERGIJE

Otpad koji predstavlja obnovljivi izvor energije danas uz najbolje raspoložive tehnologije i najbolje raspoložive prakse, energetski efikasno se može iskoristiti uz ekološku prihvatljivost ali i danas vrlo značajnu ekonomsku profitabilnost kroz održivi razvoj.

U osnovi postrojenje za energetsko iskorištenje otpada čini prihvatni silos za otpad, mlin za usitnjavanje otpada, dozator, transporter otpada, komora za turbo incineraciju, komora za ko-incineraciju, utilizator, energetski blok koji podrazumijeva parogenerator, ekonomajzer, adsorber, zatim master – kontroler – monitor sistem za kontrolu, nadzor i monitoring i ventilacioni odvod [1] što je i prikazano na slici 2.



Slika 2. Šematski prikaz postrojenja za energetsko iskorištenje otpada [1]

Tretman otpada uz navedenu opremu/postrojenje prvenstveno djeluje na volumensko smanjenje primarne materije za > 90%, jer finalno ostaje samo pepeo [4].

Za rad postrojenja koristi se primarni energent LPG ili zemni plin, međutim zanimljiva je mogućnost smanjenja utroška primarnog energenta kroz instaliranje plamenika koji koriste vrela zrak iz procesa te rekuperacijom doprinose energetske efikasnom radu postrojenja.

Danas su u upotrebi plazma plamenici koji na rekuperatoru turbo incineratora i turbo ko-incineratora koriste rekuperirani vrela zrak do 450 °C za poboljšanje tretmana u komori turbo incineratora i ko-incineratora pri čemu se povećava energetska efikasnost > 30 %, u uštedi primarnog energenta [2].

Ovakva postrojenja su preporuka u tretmanu komunalnog dijela otpada koji se ne može reciklirati te predstavlja RDF ili SRF, zatim medicinskog infektivnog i patološkog, životinjskog infektivnog, odnosno I kategorije (kategorija visokog rizika) nusproizvoda, kao i otpadnog mulja [2].

Obavezno je da oprema bude izrađena od termo materijala koji podnose visoke temperature u kontinuitetu, kao i da radne temperature ne budu niže od 860 °C u komori za turbo incineraciju, a u komori za ko – incineraciju 1100 °C, kako bi se postigao efektan i korektan tretman materije bez emisija koje će narušiti ambijent življenja [2].

Postrojenja za energetske iskorištenje otpada podrazumijeva instaliranje opreme pomoću koje će se kontinuirano pratiti rad postrojenja, vršiti eventualne korekcije u radu, kao i praćenje emisija.

4. DEPONIRANJE OTPADA

Kako bi tretman otpada bio zaista human neophodno je upravljati otpadom od samog nastanka pa do finalnog zbrinjavanja. Takvo postupanje podrazumijeva prepoznavanje otpada, selekciju, obilježavanje, vaganje, usitnjavanje, obradu (reciklaža, komposiranje, termička obrada, energetske iskorištenje).

Kada je u pitanju deponiranje otpada danas u našoj regiji zauzima najznačajniju ulogu u tretmanu otpada međutim postaje sasvim jasno da takvo rješenje nije humano, nije korektno, nije efikasno, nije održivo. Posmatrajući današnje deponije mnogo je razloga zašto je krajnje vrijeme da se odustane od istih. Prvenstveno zakonska regulativa predviđa procese kojima će se otpad maksimalno iskorištavati, a nikako nekorisno odlagati.

Deponijama se izuzimaju na hiljade hektara zemlje i trajno ga beskorisno uništavamo i stavljamo u funkciju za deponiranje resursa, primarne sirovine, direktno ugrožavajući biosferu, okoliš, zdravlje ljudi i životinja bez ekonomske isplativosti i ekološke neprihvatljivosti. Prirodne pojave kao što su sunce, vjetar, kiša i snijeg otežavaju stanje na deponijama, odnosno pridonose u kontaktu sa otpadom pridonose narušavanju zraka, vode i tla.

Deponiranje koje bi bilo opravdano planirati jeste samo deponiranje privremenog karaktera, npr. baliranje otpada, kojim se otpad izoluje iz prirode do momenta iskorištenja kroz reciklažu ili energetske iskorištenje [1]. Baliranje otpada neophodno je strateški planirati, kako bi se predvidjeo momenat iskorištenja, odnosno vrijeme deponiranja, kao i način baliranja. Od predviđenog vremena iskorištenja ovisi način baliranja, odnosno vrsta materijala (folija) koje se koristi za baliranje, broj slojeva u koji će biti balirano, kapacitet bale, oblik bale i sl.

Ovakvo deponiranje može biti sezonsko, npr. tokom ljeta da se balira, a tokom zime da se energetske iskorištava za potrebe grijanja.

Drugi način deponiranja i možda jedini opravdan jeste utiskivanje pepela preostalog nakon energetskog iskorištenja otpada u duboke geološke formacije kao što su jame koje nastaju tokom naftnih eksploatacija ili naftnih istraživanja u cilju eksploatacija, ili u rudnička okna, napuštena, kao što su rudnici soli ili uglja. Čak za takve kaverne preporučljivo bi bilo zbog stabilizacije tla da se zapune, a odlaganje pepela je idealna mogućnost. Svakako pepeo se mora mješati sa određenom materijom kao što je glina i pod pritiskom utiskivat se u navedene jame kako bi se zapunile i kako bi pepeo tu trajno ostao bukvalno zarobljen [1].

Takva vrsta deponiranja je nadasve humana i nema opasnosti po životni ambijent. Kompletan proces utiskivanja je kontrolisan i praćen različitim nadzornim, mjernim i ispitnim mjerama, koje osiguravaju konstantnu kontrolu i monitoring samog procesa.

5. ZAKLJUČAK

Otpad je materija koja nastaje svakodnevno te mora biti svakodnevno i korektno zbrinuta. Otpad je obnovljivi izvor energije koji se treba početi koristiti kao potencijal u svrhu održivog razvoja. Onaj ko generira otpad ima obavezu i da ga regenerira bez obzira na vrstu, količinu i porijeklo.

Humano postupanje sa otpadom podrazumijeva upravljanje otpadom kroz selekciju, reciklažu, kompostiranje, termičku obradu, energetsko iskorištenje i utiskivanje.

Deponiranje otpada je prevaziđeni postupak upravljanja, odnosno NE upravljanja otpadom, te uz današnje nove napredne tehnologije neopravdano je nastaviti tradiciju deponiranja i nekorištenja ovog resursa.

6. LITERATURA

- [1] Izvod iz projektne dokumentacije za termički tretman otpada kompanije GRIZELJ Sarajevo, Bosna i Hercegovina
- [2] Izvod iz laboratorijsko – tehničke dokumentacije za termički tretman otpada kompanije ITG Wärmetechnik GmbH, Wien, Austria
- [3] Otpad –OIE/EE, Jasmina H. B., Tomislav G, 11. skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, 4. međunarodni skup o prirodnom plinu, toplini i vodi, 2013, Osijek
- [4] Otpad i obnovljivi izvori energije, Jasmina H.B. , Bilten Udruženja za gas u BiH, br. 25 Decembar 2013. godine
- [5] Robotika u gospodarenju/tretmanu otpada, Tomislav G., Jasmina H. B., 1. Internacionalna konferencija „NOVE TEHNOLOGIJE“ razvoj i primjena „NT-2014“, 2014, Mostar
- [6] Savremena termoenergetska postrojenja za tretman animalnog otpada u cilju zaštite životne sredine, Jasmina H. B., Tomislav G., Prva međunarodna naučna konferencija "COMETa 2012", 2012, Jahorina

GEOFIZIČKO - GEOTEHNIČKO ISTRAŽIVANJE ODLAGALIŠTA OTPADA

GEOPHYSICAL - GEOTECHNICAL LANDFILL SITE INVESTIGATIONS

Izv. prof. dr. sc. **Stjepan Strelec**, dipl. ing.rud.*¹; dr. sc. **Mario Gazdek**, dipl. ing. geot.¹;
Kristijan Grabar, dipl. ing. geot.*²; mr. sc. **Miljenko Špiranec**, dipl. ing. geot.²;
Davor Stanko, mag. phys.¹; **Jasmin Jug**, dipl. ing. geot.¹

¹Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, Varaždin

²SPP d.o.o., Trstenjakova 3, Varaždin

*e-mail kontakt: stjepan.strelec@gmail.com, kgrabar@inet.hr

SAŽETAK

Prilikom izrade tehničkih podloga i definiranja parametara za projektiranje i sanaciju odlagališta otpada kao nasute građevine, koriste se dugotrajna, skupa i relativno ograničena istražna bušenja koja daju podatke točkastog formata s vrlo problematičnim uzorkovanjem intaktnog uzorka. Deformabilnost odlagališta otpada ključna je za održanje mehaničke otpornosti samog tijela stoga su osnovni problem odlagališta otpada fizikalno - mehanička svojstva komunalnog otpada u ovisnosti o sastavu, obujam i gustoća tijela odlagališta te vlaga i starost odloženog materijala koja određuju veličinu ukupnog slijeganja. U ovom radu prikazani su rezultati geofizičko – geotehničkog istraživanja odlagališta otpada primjenom geofizičkih metoda spektralne analize površinskih valova - MASW, seizmičke refrakcije - RF, 2D geoelektrične tomografije - ERT, georadara – GPR, mjerenja mikrosezmičkog nemira - HVSR, te insitu ispitivanja dinamičkog penetracijskog pokusa – DPH. MASW i seizmička refrakcija omogućuju profiliranje slojeva odlagališta, određivanje dubina stijena, te elastičnih svojstava tla (krutost otpada), dok 2D električna tomografija i GPR daju profil terena po dubini i koriste se za istraživanja razina podzemne vode, kontaktnih ploha tijela odlagališta i vodonosnih slojeva, mogućeg potencijala širenja onečišćenja u vodonosne slojeve te za utvrđivanje glinovitih barijera.

Dubine i debljine slojeva određene geofizičkim metodama koreliraju se s podacima istražnih bušenja i penetracijskih ispitivanja. Također se mogu definirati inženjerskogeološka svojstva podloge i mehanička svojstva iznimno deformabilnih i heterogenih dijelova odlagališta, te procijeniti volumen odloženog otpadnog materijala.

Ključne riječi: Odlagalište, komunalni otpad, MASW, ERT, DPH

ABSTRACT

Within the process of landfill design and defining design parameters for the construction of new, or for the old landfill remediation, long-term, expensive and relatively restricted borehole drilling is implemented. Borehole investigations give point like data with very difficult soil sampling in waste material. Deformability of waste material is crucial for the mechanical bearing resistance of the landfill. A physical-mechanical property of the landfill material depends on waste material composition, volume and density, as well as moist and landfill age that sets the rate of the total settlement.

Paper presents results of geophysical-geotechnical investigations on the landfill by utilizing geophysical methods: Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW),

Seismic Refraction (RF), 2D Geoelectrical Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR) and geotechnical in-situ investigation by Dynamic Probe Heavy (DPH). MASW and Seismic Refraction results in detecting layering lithology, depth of the soil mass and elastic properties (stiffness), while Geoelectrical tomography and GPR results in fine spatial profiling of the landfill body, as well as potential aquifer contamination and clay lining system detection.

Depth and thickness of layers determined by geophysical investigations are correlated with data from the prior documented borehole drilling as well the dynamic penetration which enables to determine dynamic characteristics of landfill material and settlement rate. Engineering-geology properties of the bedrock can also be defined from the geophysical investigations, as well as estimation of the total volume of the waste material.

Keywords: *Landfill, Municipal solid waste, MASW, ERT, DPH*

1. UVOD

Rad analizira rezultate primijenjene grupe geofizičkih istraživanja u svrhu određivanja fizikalno-mehaničkih svojstava tijela saniranog odlagališta otpada u Knegincu Gornjem [8], korelirajući ih s rezultatima invazivnog geotehničkog sondiranja mjerenjem dinamičkog otpora prodiranju šiljka (DPH). Grupa geofizičkih istraživanja u ovom radu implementirana je na odlagalištu komunalnog otpada Kneginec. Na predmetnom odlagalištu odložen je neobrađeni komunalni otpad, no primijenjena istraživanja nisu ograničena na pojedinu vrstu odlagališta, a dobivena saznanja potrebno je verificirati i za druge vrste odlagališta. Strategije prostornog uređenja i strategije gospodarenja otpadom baziraju se prvenstveno na inicijalnom efikasnom reduciranju otpadne materije. Primarno izbjegavanje nastajanja otpada postiže se odvojenim prikupljanjem, zatim odabirom predobrade i konačne obrade otpada kao kompulzorne mjere za smanjenje volumena otpada, Council Directive 99/31/EC" [24]. Prvenstveno se to odnosi na učinkovito smanjenja udjela biorazgradivog otpada koji u kućnom otpadu iznosi i do 40%. Činjenica je da odlagališta, iako planiramo odlagati sve manje, do predvidljive budućnosti ostaju kao građevine koje je potrebno graditi i održavati uz sve složenije tehničke uvjete, odnosno pratiti stare i sanirati neodgovarajuće.

Opseg primjenjivih istraživanja na suvremenim odlagalištima ograničen je na neinvazivne metode s površine odlagališta. Rad je na tragu razrade sustava, odnosno uvođenja standardne procedure geofizičkih istraživanja primjenjivih na svim vrstama odlagališta i u raznim fazama izgradnje. Također, svrha provedenih istraživanja je uspostava referentnih vrijednosti kao i interpretacijskih modela karakterističnih za odlagališta. Provedena mjerenja služe kao smjernice projektantima i investitorima o primjeni geofizičkih istraživanja na odlagalištima, i to:

- integracija geofizičkih metoda istraživanja u projektnoj i izvršnoj fazi građenja,
- korištenje geofizike za određivanje projektnih parametara,
- mogućnosti geofizike u određivanju prostornog rasprostiranja tijela odlagališta.

Računska analiza slijeganja temeljnog tla predstavlja standardni geotehnički zadatak. Zbog toga će se u daljnjem tekstu detaljno razmotriti samo problematika mogućeg istraživanja stanja otpadnog materijala kao i određivanje parametara dostupnim geofizičkim neinvazivnim istraživanjima.

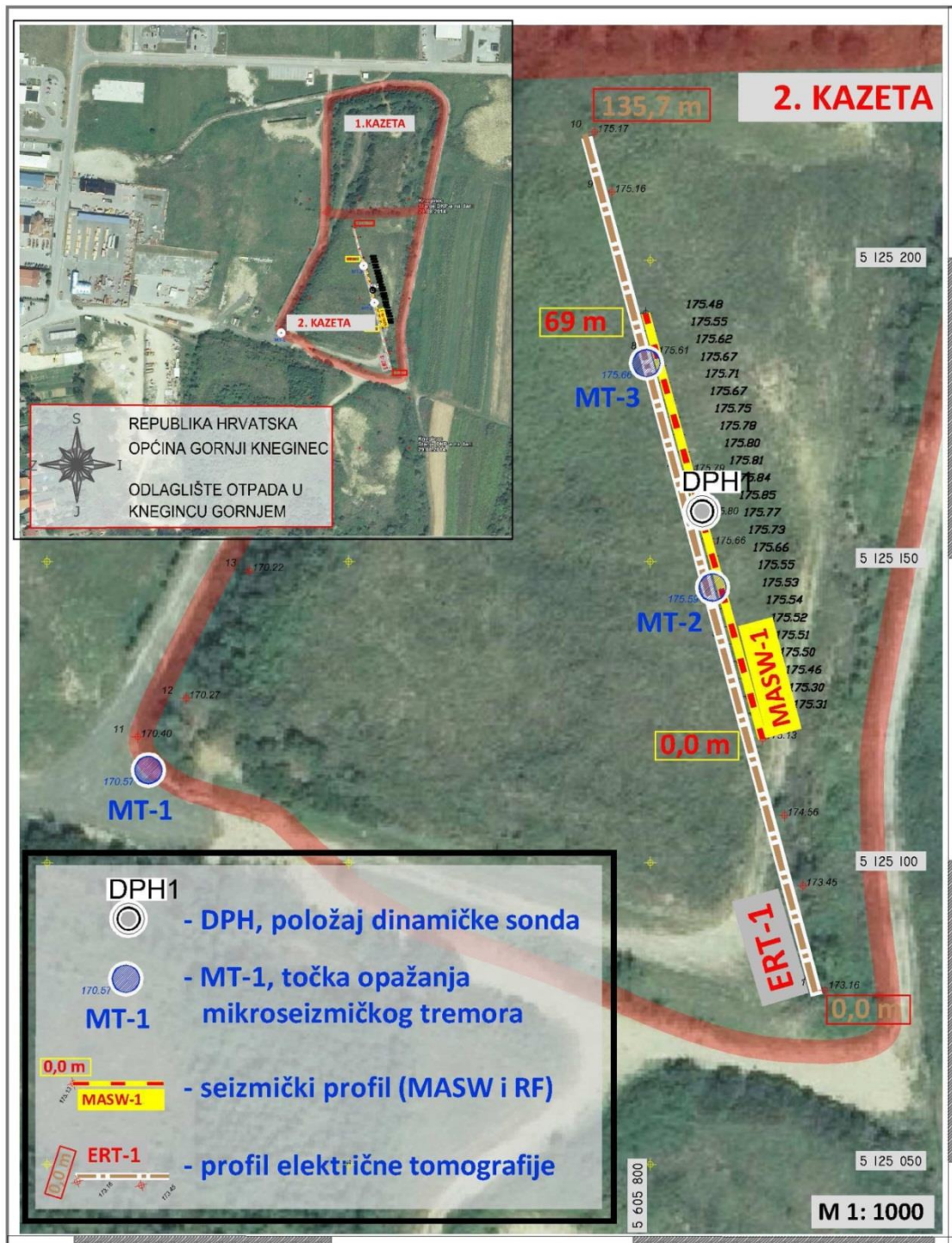
2. ISTRAŽNA LOKACIJA

Predmetna istraživanja provedena su na saniranom odlagalištu otpada u Gornjem Knegincu. Odlagalište je nastalo kao divlja deponija na koju je odložen raznovrsni otpad od 70.-tih godina prošlog stoljeća bez kontrole i uvida u vrste i količine odloženog materijala [8]. Prostor je nastao kao napušteni glinokop obližnje tvornice cigle u čije je depresije divlje odlagan otpad. Tijelo odlagališta je vrlo razvedeno s promjenjivom debljinom odloženog materijala. Osim komunalnog otpada ovdje je odložen i industrijski otpad, a prema rezultatima kompozitnih uzoraka i medicinski otpad [8].

Odlagalište se nalazi na rubu aluvijalnog bazena Dravske potoline gdje plitka krovina glina isklinjava na sedimentu šljunka, te je tijelo odlagališta u sjevernom dijelu u izravnom kontaktu sa vodonosnim šljunkom aluvijalnog bazena.

Na odlagalištu je završena sanacija, a prostor je organiziran u odlagališne kazete. Za istraživanja je odabrana 2. odlagališna kazeta (B2) u koju je za vrijeme trajanja sanacije odlagan i novi otpadni materijal. Slika 1 prikazuje lokaciju dviju saniranih kazeta, te položaj geofizičkih profila na prostoru 2. kazete. Istražni prostor je odabran temeljem dostupnih podataka prethodnih istraživanja provedenih za potrebe izrada studija procjena utjecaja na okoliš, odnosno nekoliko projekata sanacije. Dostupni podaci za usporedbe se sastoje od sondažnih bušotina izvedenih prije sanacije odlagališta, električnog sondiranja (VES), seizmoloških mjerenja mikroseizmičkog nemira, mjerenih razina podzemne vode (RPV), te analize kompozitnih uzoraka sastava otpada. Svi ovi podaci usporedivi su sa rezultatima istraživanja provedenim u ovom radu.

Geofizička istraživanja organizirana su položajno u jedinstveni profil, a dinamička sonda DPH-1 nalazi se u središtu geofizičkog profila



Slika 1. Situacijski plan istraživanja na odlagalištu otpada Knežinec Gornji.

3. GEOTEHNIČKE ZNAČAJKE KOMUNALNOG OTPADA

Odlagalište komunalnog otpada predstavlja posebnu vrstu nasute građevine za koju je u skladu s odredbama Zakona o gradnji potrebno dokazati mehaničku otpornost i stabilnost. Dakle, kao posljedica deformabilnosti sastavnih dijelova odlagališta dolazi do pojave slijeganja odnosno diferencijalnih slijeganja tijela odlagališta. Tijekom rada odlagališta uslijed prevelikih diferencijalnih slijeganja može doći do pojave pukotina u brtvenim slojevima što izravno utječe na njihovu osnovnu funkciju. Osim toga, uslijed slijeganja tijela odlagališta učestalo dolazi do poremećaja funkcioniranja drenažnog sustava, ali i stabilnosti uređenih pokosa.

Promatrajući prosječan sastav komunalnog otpada, može se uočiti da u početku odlaganja u volumskom smislu prevladavaju upravo organski sastojci skloni raspadanju u odnosu na ostale sastojke otpada. Odrediti sastav otpadnog materijala nije jednostavno ne postoji standardizirana tehnička klasifikacija takvoga materijala. Prisutnost fluida modificira svojstva čvrstih materijala uzrokujući različita reološka ponašanja. Postoji i granični uvjet koji odgovara maksimalnoj količini tekućine koji materijal može apsorbirati prije nego se formira procjedna tekućina [9, 22].

Otpad sa odlagališta otpada u Knegincu Gornjem ispitan je na četiri kompozitna uzorka za potrebe studije utjecaja na okoliš 2002. godine, a utvrđeni je sjedeći sastav: - prema granulometrijskom sastavu otpada prevladavaju krupnije frakcije (veće od 2 mm), dok je udio sitnice otpada (manje od 2 mm) od 11-23%. U krupnoj frakcije prevladava cigla, kamen i plastika, zatim papir i drvo, a manje su zastupljena guma, staklo i metal. Sitnica je ilovaste strukture, s udjelom gline 28-33% u plićim slojevima odloženog materijala. Sadržaj pepela u uzorcima u izravnoj je vezi sa sadržajem organske materije i varira u rasponu od 74 - 85%. U smeću se pored organskog ugljika pojavljuje i anorganski ugljik najvjerojatnije vezan u obliku karbonata. Sadržaj specifične organske tvari humusa varira u širokom rasponu od 3,5 - 26% što potvrđuje heterogenost izvornog materijala iz kojeg je humus nastao.

4. DINAMIČKO SONDIRANJE

Dinamičko sondiranje je u geotehničkom istraživanju prisutno od samog početka u cijelom svijetu, vjerojatno je najstariji i najjednostavniji oblik ispitivanje tla [5]. U osnovi se sastoji od zabijanja metalnog vrha u tlo koristeći padajući uteg poznate mase i visine pada. Do današnjeg vremena dinamičko sondiranje je dodatno unaprijeđeno, te je postalo dijelom niza suvremenih geotehničkih standarda. Kontinuirano dinamičko sondiranje na odlagalištu provedeno je sukladno normi HRN EN ISO 22476-2:2008 [13,14], za tešku udarnu sondu (DPH -Dynamic Probing Heavy) koja osim broja udaraca potrebnih za penetraciju šiljka bilježi i momente rotacije za svladavanje sila koje pridržavaju udarne šipke u tlu iznad konusa. Moment torzijskog otpora šipki bilježi se na kraju svakog intervala, odnosno za dužinu šipke 1,0 m, a svrha mu je razlikovanje otpora penetraciji konusu od otpora koji se pojavljuju prilikom prolaska udarnih šipki kroz tlo. Rezultat sondiranja je izmjereni dinamički otpor prodiranju sonde R_d i dobiva se iz izraza (1)[6]:

$$R_d = \frac{g}{A} \cdot \left[\left(\frac{M^2}{M + M'} \right) \cdot \frac{h}{0.1} \cdot N_{10} + (M + M') \right] - \frac{T}{A \cdot r} \quad (1)$$

gdje su :

- R_d – otpor tla prodiranju sonde
- M - masa utega (50 kg)
- M' – masa sonde, šipki (4.8 kg)
- h – visina pada utega (50 cm)
- N_{10} – broj udaraca potrebnih za penetraciju sonde od 10 cm
- T – torzijski moment potreban za rotaciju šipke
- r – radijus šipki (32 mm)
- A – površine sonde (15 cm²)

Na slici 2. prikazan je rezultat dinamičke sonde izvedene na odlagalištu otpada. Izmjereni dinamički otpor R_d je u funkciji izmjerenih torzijskih momenata T , čime se ostvaruje realnija slika o otporima izmjerenim na samom šiljku.

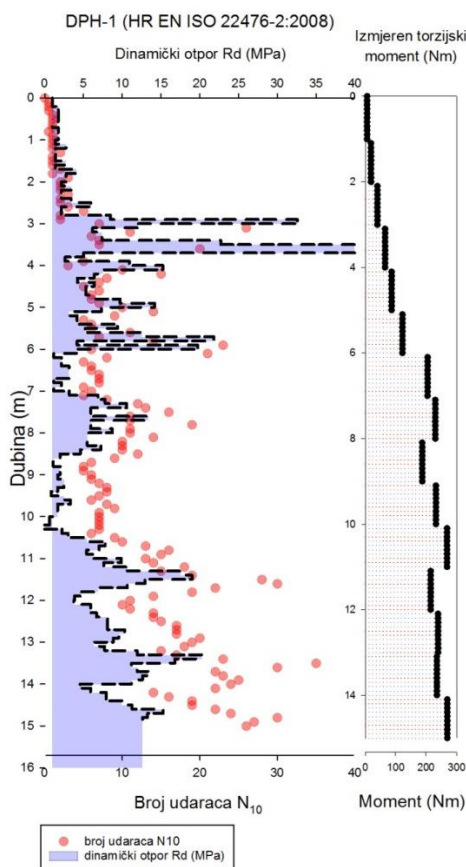
Na osnovi dobivene vrijednosti otpora (R_d) mogu se odrediti i ostali parametri otpada [6]:

- nedrenirana čvrstoća: $c_u = R_d / 22$ (2)

- broj udaraca standardnog penetracijskog testa: $(N_1)_{60} \approx 2.4 \cdot R_d$ (3)

- indeks relativne zbijenosti [23]: $D_R = 100 \cdot \sqrt{(N_1)_{60} / 60}$ (4)

U nekoherentnom zrnatom tlu, broj udaraca za penetraciju šiljka manji je ispod razine podzemne vode i to posebno u uvjetima s izmjerenim malim brojem udaraca. Iz tog razloga sukaldno Normi [13] provodi se korekcija za RPV u nevezanom tlu.



Slika 2. DPH, dinamički otpor korigiran za izmjerene torzijske momente na udarnim šipkama.

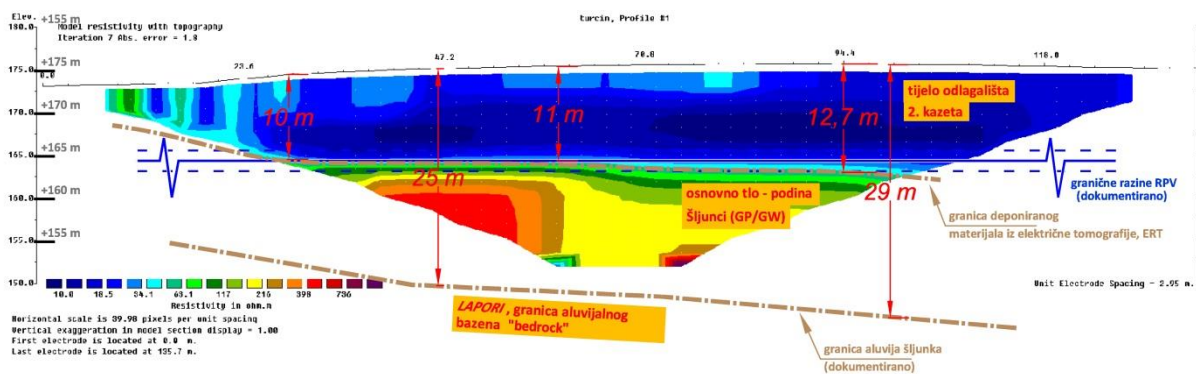
5. PRIMIJENJENA GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA

Kada razmatramo prednosti geofizičkih metoda u istraživanju geotehničkih materijala, naspram konvencionalnom geotehničkom istraživanju, osim stalne potrebe za prikupljanjem što većeg broja podataka, potrebno je uzeti u obzir i značajne uštede vremena i ekonomskih resursa. Navedeno proizlazi iz činjenice da je geofizička oprema jeftinija, a provedena istraživanja su brža i jednostavnija. Da bi neka geofizička metoda bila primjenjiva, mora postojati promjena fizikalnog svojstva na kojeg je metoda osjetljiva, a veličina promjene uvjetuje i opseg primjene [17]. Iako većina geofizičkih metoda traži kompleksnu metodologiju i napredne matematičke algoritme interpretacije, dio informacija moguće je procijeniti na samoj lokaciji. Za detaljne interpretacije prikupljenih podataka potrebno je znanje i iskustvo iz razloga što pojedini rezultati ne moraju obavezno ukazivati na specifične karakteristike istraživanog geomedija [15].

6. GEOELEKTRIČNA TOMOGRAFIJA

Mjerenjem električne otpornosti mogu se razlučiti granice promjene materijala i stanja uvjeta u tlu ili tijelu odlagališta. Izmjerene vrijednosti, uključujući identificirane promjene, predstavljaju osnovu za zaključke o strukturi i sastavu. Otpornost je vrlo važno svojstvo tla, stijene ili otpada, a ovisi o sadržaju vode te o količini i vrsti u njoj otopljenih tvari. Zbog različitog stupnja poroznosti geomedija i saturiranosti vodom, taj se otpor može mijenjati u širokim granicama. Do 90.ih godina prošlog stoljeća korištene električne metode davale su jednodimenzionalne rezultate u obliku vertikalnog sondiranja. Kasnije su razvijene 2D i 3D metode električne tomografije [16], koje su danas prihvaćene kao standard za profiliranje mjerenjem električnih otpornosti. Iz ekonomskih razloga i jednostavnije primjene 2D električna tomografija (ERT) još uvijek je najčešće primjenjivani oblik.

Za električno profiliranje na odlagalištu Knežinec primijenjen je Wennerov elektrodni raspored kod kojeg se koriste dvije strujne elektrode (C1 i C2) i dvije potencijalne elektrode (P1 i P2) smještene na pravcu i centrirane na nekoj lokaciji. Elektrode se postavljaju u ravnoj liniji profila, tako da se zabodu sve 24 elektrode (24, 48 ili više), a preklopnik geoelektričnog uređaja za mjerenje automatizirano prebacuje raspored strujnih i potencijalnih elektroda. Mjeri se jakost struje između strujnih elektroda pa se iz razlike potencijala između potencijalnih elektroda, pomoću konstante geometrijskih odnosa elektroda (za Wenner PRF – $K=2\pi CC/3$), određuje prividna otpornost. Interpretacijom se određuju debljine i specifični električni otpor pojedinih geoelektričnih sredina. Interpretirani rezultati prikazuju se kao grafički prikaz profila otpornosti sa dubinom. Na slici 3 prikazana je interpretacija snimljenog geoelektričnog profila. Trapezasti oblik grafičkog prikaza, u kojem se sa udaljenošću od središta profila smanjuje dubina interpretacije, posljedica je postepenog smanjivanja broja prikupljenih podataka kako se razmak strujnih i potencijalnih elektroda povećava. Ako su potrebni i ovi rubni podaci, kompletan profil se može preseliti duž pravca istraživanja, te se grafički prikazi nastavljaju jedan na drugi. Geoelektrična tomografija sve se više koristi kao metoda za istraživanje složenih geoelektričnih sredina (zone kompleksne geologije ili odlagališta).



Slika 3. Profil električne tomografije, ERT-1 – odlagalište otpada Knežinec Gornji.

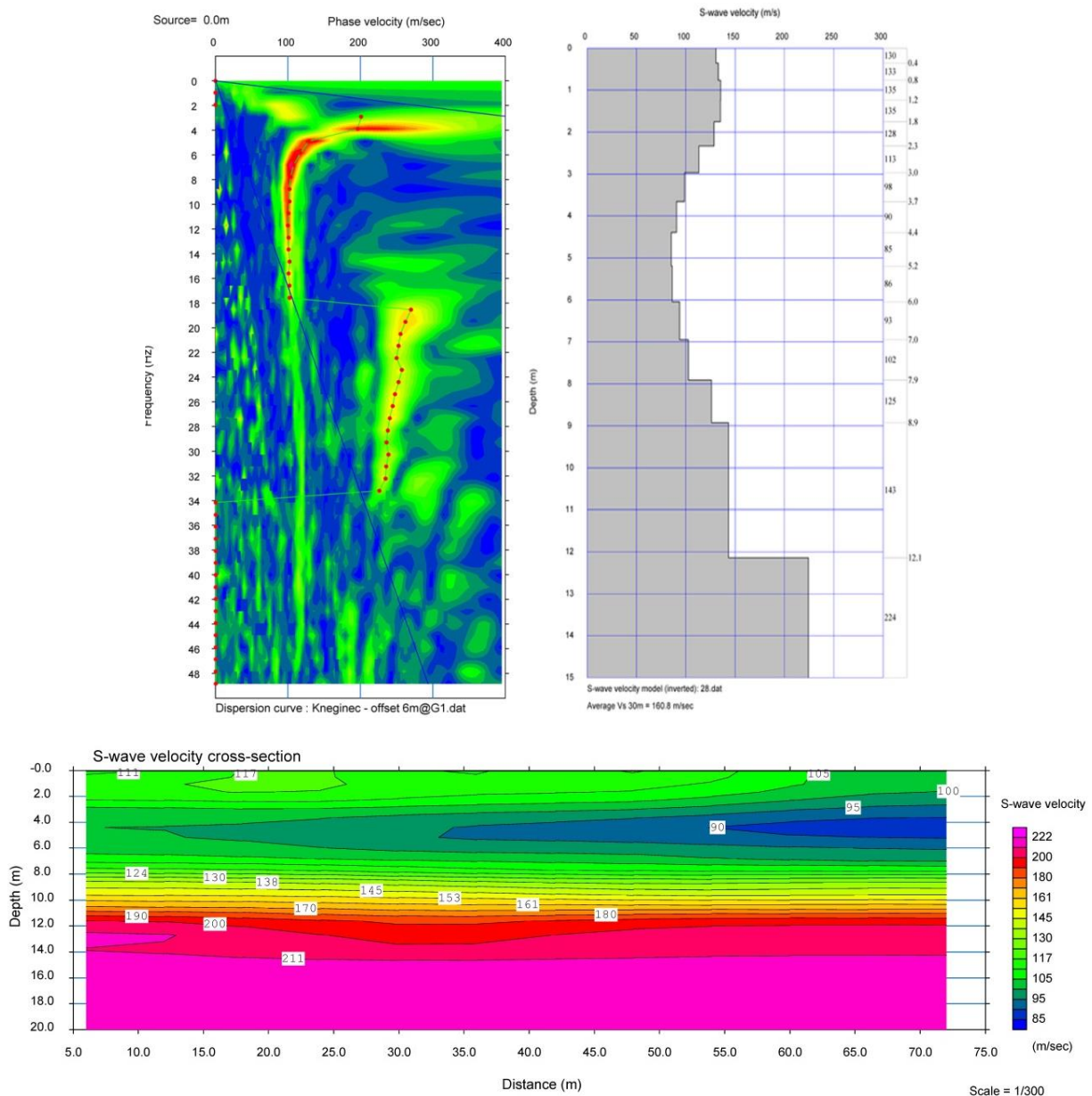
Tablica 1. Kategorije materijala prema električnim otpornostima.

ELEKTRIČNA OTPORNOST	KLASIFIKACIJA MATERIJALA
15 - 30 Ω m	Odlagališni materijal
120 - 400 Ω m	aluvijalni šljunci

7. SEIZMIČKE METODE

Mehaničko ponašanje materijala ovisno je o veličini deformacija. Seizmičke metode u geofizici određuju parametre materijala pri malim posmičnim deformacijama ($\gamma_s < 10^{-5}$). Posmični modul se pri tim deformacijama često naziva dinamički modul posmika (G_{dyn} ili G_{max}) [21]. Razvoj seizmičkih metoda posljednjih desetljeća, osobito višekanalne analize površinskih valova (MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves omogućava određivanje brzine posmičnih valova podpovršinskih materijala [11, 20].

U ovome istraživanju, za procjenu dinamičkih svojstava materijala u tijelu odlagališta, preko brzine posmičnih seizmičkih valova (V_s), korištena je MASW metoda. Kako bi se pokrio širi spektar seizmičkih geofizičkih metoda provedeno je i istraživanje plitkom refrakcijskom seizmikom (RF).

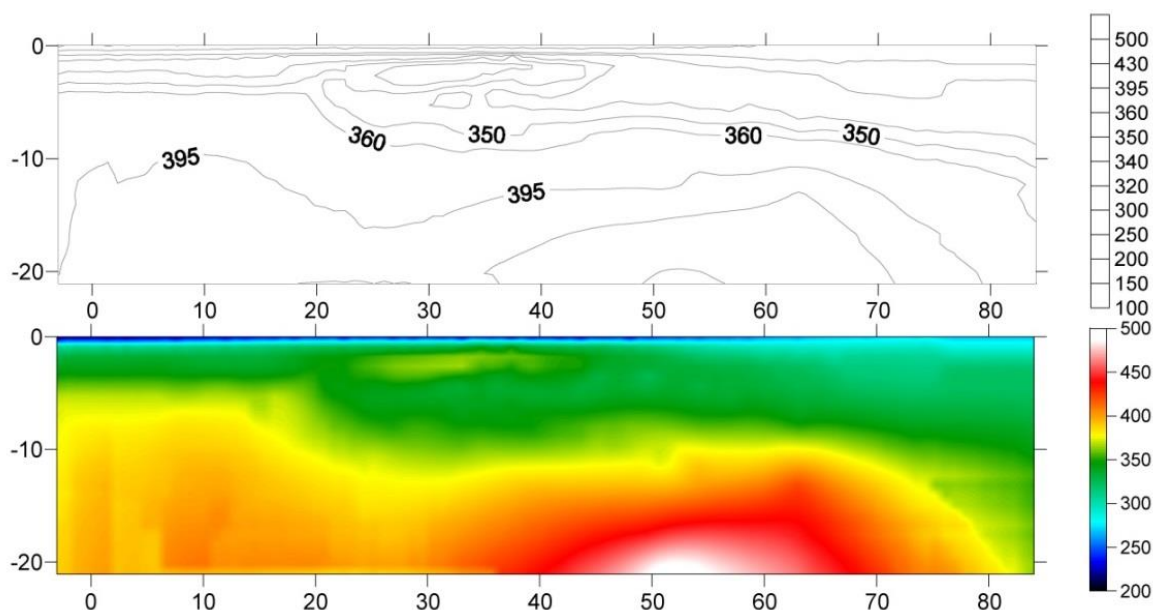


Slika 4. Brzine posmičnih valova na odlagalištu Knežinec dobivene MASW metodom.

Na slici 4 prikazan je model materijala u tijelu odlagališta na temelju interpretiranih vrijednosti brzina širenja posmičnih seizmičkih valova po dubini. Promjena i distribucija brzina je iz rezultat inverzije snimljene krivulje disperzije MASW metodom. Osim 1D interpretiran je i 2D profil na

kojem se vide lateralne promjene unutar odlagališta. Nešto veća brzina V_s zamjetna je prema rubu odlagališne kazete $V_s=90-105$ m/s, dok u pravcu središta kazete brzine u tijelu odlagališta iznose $V_s=85-95$ m/s. Za dani seizmički presjek brzina širenja posmičnih valova, očekuje se intenzivnije slijeganje središnjeg dijela kazete, zbog čega se može pojaviti problem odvodnje oborinskih voda s pokrovnog sloja odlagališne kazete. Podina odlagališta jasno je indicirana s brzinama S valova $V_s=180-220$ m/s.

Kompresijski P valovi snimljeni refrakcijskom tomografijom prikazani su na slici 5. Također je identificirana visina odlagališne kazete koja iznosi oko 10 m, s refraktorom u podini koji ima brzine $V_p > 360$ m/s. Rubni uvjeti čvršćeg materijala na granici kazete predstavljaju neku vrstu refraktora, te je identificirana debljina prividno manja. Obje metode (MASW i RF) potvrđuju da je odloženi materijal boljih karakteristika u rubnom dijelu kazete, a to odgovara navodima iz dokumentacije o sanaciji odlagališta s izvođenjem bočnih nasipa.



Slika 5. Profil brzina širenja seizmičkih P valova kroz odlagalište Kneginec ostvaren refrakcijskom tomografijom (RF).

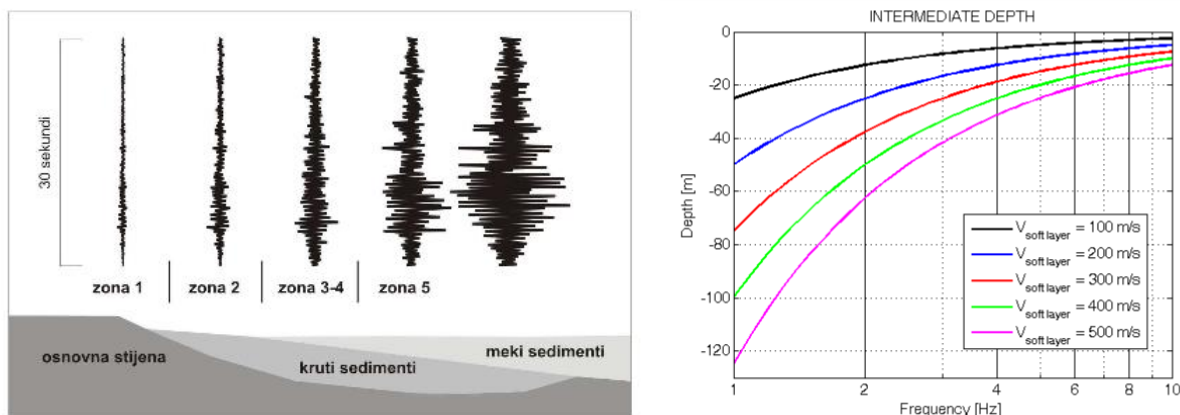
8. MJERENJE MIKROSEIZMIČKOG NEMIRA

Metoda mjerenja mikrosezmičkog nemira, tzv. HVSR metoda (engl. Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio), u posljednja dva desetljeća pokazala se kao brza i jednostavna metoda za istraživanje odziva tla, tj. za određivanje rezonantne vlastite (osnovne) frekvencije tla i faktora amplifikacije. HVSR metoda pogodna je za procjenu odziva tla u seizmički neaktivnim područjima.

Mikroseizmički nemir može se definirati kao stalno podrhtavanje uzrokovano prirodnim (vjetar, oceanski valovi, daleki potresi, ciklone i anticiklone) i umjetnim (promet, industrijski strojevi) izvorima. Relativno niske frekvencije (0.1 do < 1 Hz) prirodnog su porijekla (engl. microseism) – tzv. daleki izvori, dok više frekvencije (0.5 do > 10 Hz) imaju svoje porijeklo od ljudske aktivnosti (engl. microtremor) – tzv. bliski izvori. Valno polje koje uzrokuje pojavu mikrosezmičkog nemira (prirodni ili umjetni) može se objasniti pomoću prostornih (P-longitudinalni i S-transverzalni) i površinskih (R-Rayleigh i L-Love) valova. Nakamura [19] objašnjava mikrosezmički nemir rezonancijom prostornih valova S valova, dok Bard [2] i Bonnefoy-Claudet et.al [3] objašnjavaju to pomoću površinskih valova, tj. da je frekventnom ovisnošću eliptičnosti Rayleighevih valova.

Nakamura [19] definira rezonantni amplitudni HVSR vrh $A(f)$ kao spektralni omjera horizontalnih komponenti (NS i EW) i vertikalne komponente (V) kao:

$$A(f) = HVSR(f) = \frac{\sqrt{F_{NS}(f) \times F_{EW}(f)}}{F_V} \quad (5)$$



Slika 6. Lijevo: amplifikacija seizmičke pobude od osnovne stijene do površinskih slojeva, vidi izraz (6), Desno: procjena dubine mekih sedimenata iznad osnovne stijene, izraz (7).

Amplituda $A(f)$ ovisna je o vlastitoj frekvenciji osciliranja sedimenata tla i pokazuje kolika je amplifikacija amplitude titranja površinskog sloja u odnosu na osnovnu stijenu. Amplituda je ovisna o impedanciji tla između osnovne stijene i površinskih sedimenata tla. Impedancija tla je otpor titranju čestice tla ili stijene [1] i definira se kao umnožak gustoće tla i brzine širenja transverzalnih valova.

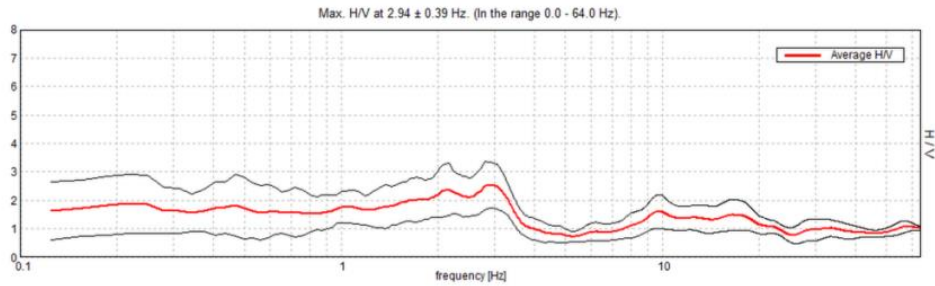
$$A_0 = C = \frac{V_{bedrock} \cdot \rho_{bedrock}}{V_{surface} \cdot \rho_{surface}} \quad (6)$$

Pojava rezonancije događa se prilikom širenja seizmičkog vala u gornje slojeve tla ili stijena pri čemu dolazi do pojave reverberacije seizmičkog vala. Maksimum rezonancije događa za valove čije su valne duljine četiri puta debljine (h) sloja u kojem je seizmički val zarobljen. Za transverzalne valove (V_s), frekvencija koja je najviše amplificirana, tj. vlastita ili rezonantna frekvencija f_0 može se definirati:

$$f_0 = \frac{V_s}{4h} \quad (7)$$

Osnovna priprema podataka i računanje HVSR – spektara napravljeni su računalnim programom Grilla (Micromed S.p.A., Mogliano veneto, Italija). Najprije su izmjereni vremenski nizovi brzine osciliranja tla razdijeljeni u prozore trajanja 20 sekundi, te su uklonjeni oni prozori koji su tijekom mjerenja bili kontaminirani jakim tranzijentima. Zatim su za svaki prozor izračunati HVSR spektri kao omjer srednjaka Fourierovih spektara dvije horizontalne komponente, te Fourierovog spektra vertikalne komponente. Ti su spektri usrednjeni, te naknadno izgladnjeni Konno-Ohmachi filtrom. Spektralne karakteristike mikrosezmičkog nemira se mijenjaju blizu, uzduž i poprijeko rasjednih zona, lateralnih geoloških promjena, utjecaja šupljina i anomalija površinskih slojeva.

REZULTATI MJERENJA – ODLAGALIŠTE KNEGINEC GORNJI

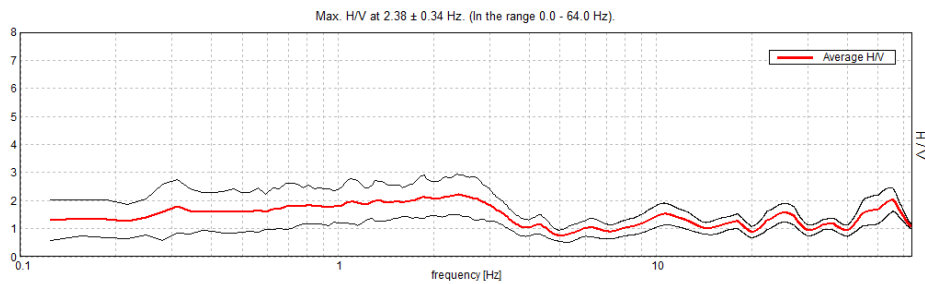


Slika 7. MT1 – mjerjenje HVSR-a izvan tijela odlagališta (položaj MT-1)

$F_0 = 2.94$ Hz (osnovna frekvencija tla iznad laporovite podine aluvijalnog bazena, "bedrock")

$A_0 = 2.75$ (amplifikacija tla)

$H \approx 17 - 26$ m (dubina sedimenata iznad bedrocka) uz $V_s \approx 200 - 300$ m/s



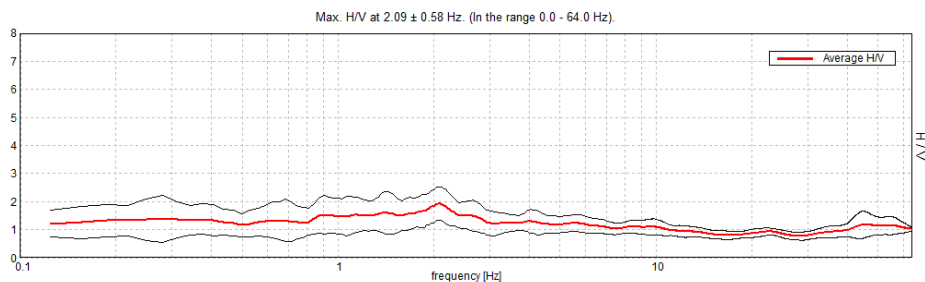
Slika 8. MT2 – mjerjenje HVSR-a na tijelu odlagališta – (položaj MT-2)

$F_0 = 2.38$ Hz (osnovna frekvencija tijelo odlagališta + sedimenti iznad bedrocka)

$A_0 = 2.2$ (tijelo odlagališta deamplificira – prigušuje seizmički val)

$H \approx 21 - 32$ m (dubina do bedrocka – tijelo odlagališta + sedimenti) uz $V_s \approx 200 - 300$ m/s

Usporedbom sa MT-1, dubina do bedrocka je povećana za debljinu tijela odlagališta.



Slika 9. MT3 – mjerjenje HVSR-a na tijelu odlagališta – (položaj MT-3)

$F_0 = 2.09$ Hz (osnovna frekvencija tijelo odlagališta + sedimenti iznad bedrocka)

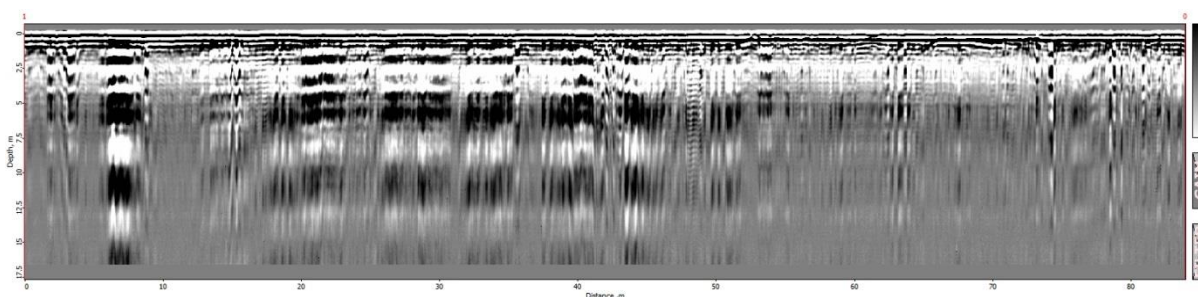
$A_0 = 2.0$ (tijelo odlagališta deamplificira – prigušuje seizmički val)

$H \approx 23 - 36$ m (dubina do bedrocka – tijelo odlagališta + sedimenti) uz $V_s \approx 200 - 300$ m/s

Zaključak: Može se uočiti kako se mijenja frekvencija i amplifikacija tla u odnosu na frekvenciju i amplifikaciju tijela odlagališta otpada. Tijelo odlagališta otpada deamplificira (prigušuje) seizmičku pobudu.

9. GEORADARSKO PROFILIRANJE

Osnovni princip georadarskog profiliranja je identificiranje geofizičkih anomalija, odnosno utvrđivanje prostora s promijenjenim fizikalnim svojstvima (različite vrste materijala). Pri tome anomalija može biti bilo kakvog oblika. I georadarska mjerenja imaju problem višeznačnosti kao i druge geofizičke metode. Iz tog razloga se ponovo ističe potreba za iskustvom i poznavanjem mjerne opreme [4]. Ukratko, metoda se temelji na penetraciji kratkih visoko frekventnih elektromagnetskih (radio, EM) valova frekvencije 10 do 1000 MHz koji se odašilju u tlo, šire do anomalije gdje se djelomično reflektiraju i vraćaju na prijemnu antenu. Način interpretacije i obrade podataka sličan je seizmičkoj refleksiji, s razlikom u izvoru, fizikalnoj prirodi i frekvenciji uzorkovanja. Reflektirani EM val na radiogramu se vidi kao refleks.



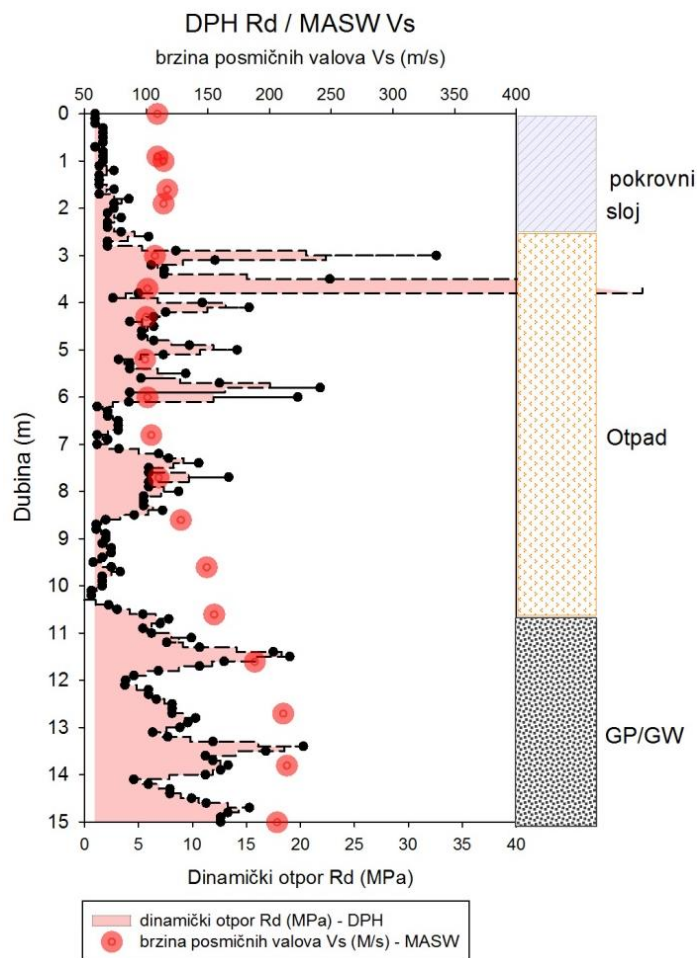
Slika 10. Georadarski radiogram snimljen usporedno s ostalim geofizičkim profilima.

Iz priloženog radiograma na slici 10 jasno je vidljivo da otpadni materijal izaziva jako prigušenje radiovalova, s nešto jasnije razlučivom granicom pokrovnog sloja i tijela odlagališta.

10. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Ostvareni rezultati geofizičkih istraživanja na prostoru odlagališta podudarni su s dostupnom arhivskom dokumentacijom. Geofizičkim mjerenjima ostvaren je uvid u građu odlagališne kazete s visokom rezolucijom. Geoelektrični profil prikazan na slici 3 izvrsno ocrtava profil odlagališne kazete.

Slika 11 prikazuje 1D profil krutosti odlagališta, te služi za proračune slijeganja, a može se koristiti i u svrhu određivanja konsolidacije odlagališta ukoliko se mjerenja provode u vremenskim razmacima u kojim se mogu bilježiti konsolidacijske promjene [7, 9, 10].



Slika 11. Litološki profil ostvaren MASW i DPH ispitivanjem.

Određivanje deformacijskih modula iz podataka geofizičkih mjerenja i rezultata dinamičkog sondiranja zahtijeva posebnu elaboraciju i izvan je opsega ovog rada.

11. ZAKLJUČAK

Značaj primjene geofizičkih metoda usmjeren je određivanju fizikalno-mehaničkih parametara ispitivanih materijala. Ti su parametri vrlo važni za kvalitetno funkcioniranje građevina odlagališta. Izložena primjena istraživanja geofizičkim metodama u inženjerskoj praksi nastavak je serije stručnih i znanstvenih radova iz svijeta na temu istraživanja odlagališta otpada [18].

Rezultati ostvareni električnom tomografijom (ERT) daju uvid u geometriju odlagališta. Zaključuje se da se odlagališni materijal po otpornosti bitno razlikuje od prirodnih materijala u ležištu, a metoda ocjenjuje kao podesna za istraživanje odlagališta. Seizmičkim mjerenjima također su dobiveni rezultati koji odgovaraju dokumentiranim podacima o odlagalištu. Brzina širenja posmičnih seizmičkih valova izravna je slika deformacijskih karakteristika materijala. Izmjereni profil odgovara dubinskom zalijeganju tijela odlagališta. Zaključuje se da je MASW seizmička metoda podesna za istraživanja odlagališta. Rezultati mjerenja mikroseizmičkog nemira relativno dobro ocrtavaju granice osnovne podloge, odnosno podinu aluvijalnog bazena koja se naglo produbljuje u smjeru sjevera.

Precizna predviđanja slijeganja odlagališta omogućuju upravi kontrolu i po potrebi prevenciju potencijalnih oštećenja na odlagališnim objektima i infrastrukturi, te karakterizaciju dugoročne namjene površina zatvorenog odlagališta. Kao nastavak istraživanja ističe se potreba za prikupljanjem što većeg broja prikazanih mjerenja sa što više dokumentiranih lokacija, a radi uspostave korelacijskih odnosa s mjerenjima stvarnih in-situ deformacijskih karakteristika deponiranog materijala.

12. LITERATURA

- [1] Aki, K., Richards, P.G., 2009. Quantitative Seismology. University Science Book, California.
- [2] Bard, P.-Y., 1998. Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? Proceeding of the Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion. Yokohama, Japan, 3. pp. 1251-1279.
- [3] Bonnefoy-Claudet, S., Cornou, C., Bard, P.-Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek, J., Fäh, D., 2006. H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations, Geophysical Journal International., vol. 167, pp. 827–837
- [4] Brezigar, A., Tomšić, B., Štern, J., Georadar - visokoločljiva geofizikalna elektromagnetna naprava, Geologija 37, 38, Ljubljana (1994/95), 437-458.
- [5] Butcher, A. P., McElmeel, K., Powell J.J.M., Dynamic probing and its use in clay soils, Conference proceedings, Craig, C., "Advances in site investigation practice", Thomas Telford Publishing, London (1996), 383 - 393.
- [6] Cope, M., Dynamic probe theory revisited – effective interpretation of dynamic test results, Formerly of Geotek Services Limited, Auckland New Zeland
- [7] Coumoulos, D.G., and Koryalos, T.P. (1997). Prediction of attenuation of landfill settlement rates with time. Proc. 14th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ISSMFE, Hamburg, Vol. 3, 1807-1811.
- [8] Đorđević, R., Studija o utjecaju na okoliš odlagališta otpada u Knežincu Gornjem, Dvokut ECRO, Zagreb (2002).
- [9] Edgers, L., Noble, J.J., and Williams, E. (1992). A biologic model for long-term settlement in landfills. Environmental Geotechnology, M.A. Usmen and Y.B. Acar, eds., Balkema, 177-184.
- [10] Edil, T.B., Ranguette, V.J., and Wuellner, W.W. (1990). Settlement of municipal refuse, Geotechnics of waste fills - Theory and practice. A. Landva and D. Knowles, eds., ASTM STP 1070, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 225-239.
- [11] Foti, S., 2000, Multistation methods for geotechnical characterization using surface waves: PhD thesis, Politecnico di Torino, Italy.
- [12] Grisolia, M., Napoleoni, Q. (1996). Geotechnical characterization of municipal solid waste: Choice of design parameters, Environmental Geotechnics, Kamon (ed.), Balkema, 641-646.
- [13] HRN EN ISO 22476-2:2008, Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Terensko ispitivanje - 2. dio: Dinamička penetracija.
- [14] HRN EN ISO 22476-2:2005/A1:2011, Geotehničko istraživanje i ispitivanje - Terensko ispitivanje - 2. dio: Dinamička penetracija - amandman.
- [15] Kovačević, M.S., Maričić, D. Gazdek, M., Application of geophysical investigations in underground engineering, Tehnički vjesnik 20, 6(2013), 1111-1117.
- [16] Loke, M.H., Barker, R.D., Least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi Newton method, Geophysical Prospecting. 44, (1996) 131-152.

- [17] McDowell, P. W. et al. Geophysics in engineering investigation. CIRIA C562, Westminster, London, 2002.
- [18] Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B., and Ivanov, J., Multichannel analysis of surface waves to map bedrock: The Leading Edge, v. 18, no. 12, 1999.
- [19] Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst., vol. 30-1, pp. 25-30.
- [20] Park, C.B.; Miller, R.D.; Xia, J.: Multichannel analysis of surface waves, Geophysics 64 (1999) 3, 800-808.
- [21] Puech, A.; Rivoallan, X.; Cherel, L.: The use of surface waves in the characterisation of seabed sediments: development of a MASW system for offshore applications, Brest, France.
>http://www.ifremer.fr/dtmsi/colloques/seatech04/xlurton/B3_Geotechnics/Puech_2.pdf>, 30.08.2010.
- [22] Sowers, G.F. (1968)., Foundation problems in sanitary land fills, Journal of Sanitary Engineering Division, Proc. ASCE, Vol. 94. SA1, 103-116.
- [23] Terzaghi, K., Peck, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, 1st Edition, John Wiley and Sons, New York, 1948.
- [24] The Council of the European Union, Council directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste.

GOSPODARENJE OTPADOM U RH (2014. GOD)

WASTE MANAGEMENT IN THE REPUBLIC OF CROATIA (2014)

Danko Fundurulja, dipl. ing. građ.*¹; Jakov Burazin, mag. ing. aedif.*¹;

Sanja Grabar, mr. sc. dipl. ing. kem.*¹

¹ IPZ Uniprojekt TERRA, Babonićeva 32, Zagreb, Hrvatska

*e-mail kontakt: funda@ipz-uniprojekt.hr, jakov@ipz-uniprojekt.hr, grabar.sanja@gmail.com

SAŽETAK

U radu se je prikazano stanje gospodarenja otpadom u RH s naglaskom na izgradnju centara za gospodarenje otpadom do sredine 2014. godine te osvrtom na gospodarenje opasnim otpadom. Pregovorima između RH i EU o pristupu Uniji, 2013. godine svi zakonski akti koji se odnose na gospodarenje otpadom usklađeni su s Direktivama Europske unije. Donesena je Strategija gospodarenja otpadom i Plan gospodarenja otpadom za razdoblje 2007. – 2015. god.

Strategija i Plan gospodarenja otpadom predviđaju sanaciju i zatvaranje postojećih odlagališta te izgradnju Županijskih i Regionalnih centara za gospodarenje otpadom, te izgradnju jednog ili dva Centra za gospodarenje opasnim otpadom, od 2018. godine više se niti na jedno neuređeno odlagalište neće moći odlagati otpad.

Ključne riječi: *gospodarenje otpadom u Hrvatskoj/ waste management in Croatia*

ABSTRACT

This paper presents the status of waste management in Croatia with emphasis on the construction of waste management by the mid-2014th and review on the management of hazardous waste. Negotiations between Croatia and the EU's approach to the EU, 2013th year, the legislation relating to waste management are in line with EU Directives. The strategy for waste management and waste management plan for the period of 2007th-2015th years.

Strategy and Waste Management Plan provide for the remediation of the landfill and the construction of county and regional waste management centers, and construction of one or two hazardous waste management centers, the 2018th year or more on a single unregulated landfill will not be able to dispose of waste.

Keywords: waste management in Croatia / waste management in Greece

1. UVOD

Gospodarenje otpadom u Hrvatskoj počelo je davno pa tako prvi pisani dokument o problemu rješavanja smeća (otpadaka) u gradu Zagrebu datira odredbom iz najstarijeg i do danas sačuvanog gradskog propisa (Statuta) vezanog za brigu o urednosti i čistoći gradskih ulica iz 1425. godine. Nadalje način zbrinjavanja otpada određen je odlukom od 01.12.1611. godine kada je Gradska uprava donijela odluku da se "trula zemlja, otpaci i smeće mogu slobodno bacati u kut s istočne strane iza kapele Blažene Djevice Marije uz gradski bedem". Takva odluka je donijeta u Zagrebu za ondašnjih približno četiri tisuće stanovnika.

Prvi Zakon o otpadu u RH donesen je tek 1995. godine dok je zakonska regulativa u razvijenim zemljama donošena od 1970. godine. Nakon 2005. godine intenzivira se briga za cjelokupno gospodarenje otpadom u Hrvatskoj. Tadašnje Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva imalo je u ustroju upravu za gospodarenje okolišem i upravu za strateške i integracijske procese u zaštiti okoliša. Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost sufinancira sanaciju svih odlagališta i smetlišta te crnih točaka kao i izgradnju centara za gospodarenje otpadom (CGO). Otvaranjem pregovora između RH i EU o pristupu Uniji, a koji su završili 2013. godine svi zakonski i podzakonski akti koji se odnose na gospodarenje otpadom usklađeni su s Direktivama Europske unije. Donesena je Strategija gospodarenja otpadom i Plan gospodarenja otpadom za razdoblje 2007. – 2015. god. Strategija i Plan gospodarenja otpadom predviđaju sanaciju i zatvaranje postojećih odlagališta do kraja 2011. godine, te izgradnju Županijskih i regionalnih centara za gospodarenje otpadom, dok je pregovorima s EU rok za rad neusklađenih odlagališta produžen do kraja 2017. godine uz uvjet plaćanja naknade za odlaganje otpada, a što je definirano Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13). Za opasan otpad Strategija i Plan gospodarenja otpadom predviđaju uspostavu mreže organiziranih sabirališta opasnog otpada, kroz reciklažna dvorišta te korištenje postojećih skladišta ovlaštenika za skupljanje i skladištenje opasnog otpada te izgradnju jednog Centra za gospodarenje opasnim otpadom kapaciteta 60.000 t/godišnje sa linijama za fizikalno kemijsku obradu otpada, kondicioniranje/stabiliziranje, spaljivanje te odlaganje opasnog otpada.

U srpnju 2013. godine proglašen je Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) koji je usklađen s EU Direktivom o otpadu kao i potpisanim obvezama Republike Hrvatske tijekom pregovora o ulasku RH u EU (poglavlje – zaštita okoliša – otpad). Na ovaj zakon dijelom se odnosi i Zakon o zaštiti okoliša (NN 80/13). U pripremi je izrada četrdesetak podzakonskih akata koje treba proglasiti u roku od 12 mjeseci tj. do srpnja 2014. godine. Vlada će do 31.12.2014. donijeti novi Plan gospodarenja otpadom, dok će izvješće o provedbi postojećeg plana donijeti do kraja 2013. godine.

Novi Zakon postavlja bitno oštrije uvjete za sve koji proizvode i/ili se bave nekom od djelatnosti gospodarenja otpadom u RH te nameće stroge kriterije jedinicama lokalne uprave i samouprave uz uvjet plaćanja naknade za odlaganje otpada, a što je definirano Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13). Za opasan otpad Zakon je odredio da je obrada opasnog otpada postupkom spaljivanja i postupkom odlaganja od interesa za Republiku Hrvatsku, koje se mogu realizirati kroz osnivanje trgovačkog društva od strane Vlade/odnosno jedinica područne (regionalne) samouprave ili se isto može realizirati sukladno zakonu kojim se uređuju koncesije, odnosno zakonom kojim se uređuje javno privatno partnerstvo.

2. PREGLED POSTOJEĆEG STANJA

Prema podacima AZO (Agencija za zaštitu okoliša) za Republiku Hrvatsku u 2012. godini nastalo je 1.670.005 t komunalnog otpada koje je skupljalo 206 tvrtki s obuhvatnošću skupljanja od 99%. Izdvojeno je skupljeno 382.078 t odnosno 23% međutim dio izdvojeno skupljenog otpada (glomazni otpad, divlja odlagališta...) odložen je na odlagališta. Korištenjem metode izračuna br.2. iz Odluke Komisije 2011/753/EU, stopa recikliranja kućnog i sličnog otpada (metal, staklo, plastika, papir) za RH za 2012. godinu iznosi 26,2%, odnosno nešto više od polovice ciljanog udjela propisanog za 2020. godinu.

Od ukupno proizvedenog biorazgradivog komunalnog otpada (1.078.295 t), 14,71% upućeno je na uporabu. Prema izračunima i procjenama Agencije za zaštitu okoliša, odloženo je 892 049 t biorazgradivog komunalnog otpada u 2012., što znači da je zadani cilj iz čl.24. Zakona o održivom gospodarenju otpadom (NN br.94/13) kojeg je trebalo ispuniti do kraja 2013. godine

(567.131 t) premašen za oko 325.000 t, dok je cilj kojeg treba ispuniti do 2016 godine (378.088 t) premašen za 513.961 t. Na kompostiranje je upućeno 25.956 t biootpada iz komunalnog otpada.

Gradska/općinska reciklažna dvorišta prijavila su ukupno 10.322 t skupljenog komunalnog otpada. Prijava je izvršena za 35 reciklažnih dvorišta i 13 posebnih sabirnih mjesta.

Do kraja 2012. godine ukupno je bilo aktivno 140 odlagališta na koja se odlagao komunalni otpad, dok su zatvorena bila 162 odlagališta na koja se odlagao komunalni otpad. Odloženo je ukupno 1.382.283 t komunalnog otpada.

Od procijenjenih oko 3.000 divljih/neslužbenih odlagališta, Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost je do kraja 2012. godine zaključio ugovore za ukupno 1 007 lokacija, od čega je ukupno sanirano 750 lokacija, uglavnom metodom uklanjanja otpada.

Za usporedbu u 2000. godini nastalo je 1.172.534 t komunalnog otpada, dok je u 1995. godini nastalo 978.542 t. Organiziranim skupljanjem i odvozom otpada na odlagališta tada je bilo obuhvaćeno 80% stanovništva, što je znatan porast u odnosu na 1995. g. kada je obuhvatnost stanovništva iznosila 57%. Specifična količina nastalog komunalnog otpada po stalnom stanovniku u prosjeku je iznosila 0,69 kg/dan, a kreće se u rasponu 0,40 – 0,95 kg/stan/dan (bez otpada iz turizma). Promatrano s aspekta čitave Hrvatske, količina izdvojeno sakupljenog otpada iznosila je 50.565t. U odnosu na ukupno stvoreni komunalni otpad sustavom izdvojeno skupljenog otpada, na odlagališta se ne odvozi 4,5% težinski komunalnog otpada. Za usporedbu s 2000. godinom, u 1999. g skupljeno je cca 49.000 t, u 1998. g. cca 43.000 t te u 1997. g. cca 42.000 t. U ovom razdoblju nije se vraćao ambalažni otpad.

Iz navedenog izvješća vidljivo je da je i dalje odlaganje otpada na odlagalište najzastupljeniji način zbrinjavanja otpada. Zakon ovdje dijeli odlagališta na odlagališta otpada (ona koja zadovoljavaju uvjete iz EU Direktive o otpadu odnosno postojećeg Pravilnika) i neusklađena odlagališta (ne zadovoljavaju tražene uvjete). Neusklađena odlagališta će plaćati naknadu za odlaganje komunalnog otpada. Kako će članke 24 (odlaganje biorazgradivog komunalnog otpada) i 25 (ograničenje odlaganja otpada na neusklađenim odlagalištima) iz novog zakona biti vrlo teško ispuniti kao rješenje ostaje što hitnija izgradnja centara za gospodarenje otpadom.

Komunalni otpad je otpad iz kućanstava, te otpad iz proizvodne i/ili uslužne djelatnosti ako je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstava. On je smjesa raznih vrsta materijala kojima se iskoristila njihova prvobitna svrha, a koji nastaje prilikom obavljanja svakodnevnih ljudskih aktivnosti. Otpad koji je po količinama, svojstvima i sastavu sličan komunalnom, pa se stoga često obrađuje na isti način, je i otpad iz gospodarstva, ustanova i uslužnih djelatnosti. Količine nastalog komunalnog otpada po županijama prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Količina proizvedenoga komunalnog otpada u 2012. po županijama

ŽUPANIJA	Broj stanovnika (DZS, popis 2011.)	Proizvedeni komunalni otpad u 2011. g./tone
1. Zagrebačka	317.606	76.256
2. Krapinsko-zagorska	132.892	28.050
3. Sisačko-moslavačka	172.439	55.514
4. Karlovačka	128.899	45.572
5. Varaždinska	175.951	35.406

6. Koprivničko-križevačka	115.584	19.844
7. Bjelovarsko-bilogorska	119.764	30.560
8. Primorsko-goranska	296.195	119.301
9. Ličko-senjska	50.927	23.117
10. Virovitičko-podravska	84.836	26.326
11. Požeško-slavonska	78.034	13.686
12. Brodsko-posavska	158.575	43.501
13. Zadarska	170.017	86.954
14. Osječko-baranjska	305.032	80.388
15. Šibensko-kninska	109.375	50.976
16. Vukovarsko-srijemska	179.521	41.193
17. Splitsko-dalmatinska	454.798	205.092
18. Istarska	208.055	107.627
19. Dubrovačko-neretvanska	122.568	67.955
20. Međimurska	113.804	18.081
21. Grad Zagreb	790.017	295.293
UKUPNO	4.284.889	1.670.005

Izvor: AZO (izvješće za 2012.) i Državni zavod za statistiku (2011.)

Budući da se radi o otpadu čije stvaranje određuje ljudski faktor svojim ponašanjem, lokalne promjene količina i sastava otpada su vrlo izražene za svaki od dijelova RH (gradska, seoska, poljoprivredna, turistička, brdska područja i sl.). Također, bitno je uočiti i promjene uslijed sezonskih kretanja (turizam, poljoprivreda, šumarstvo i dr.). U Republici Hrvatskoj se ispitivanja sastava miješanog komunalnog otpada provodi još od 1972. godine pri čemu su se koristile razne tehnike skupljanja uzoraka i prosijavanja, a u posljednjih 13 godina postoje mjerenja korištenjem tehnike prosijavanja miješanog komunalnog otpada pomoću bubnjastog sita s kružnim otvorima veličine 40 mm, uz ručno sortiranje obje frakcije pri čemu su određivani maseni udjeli 25 praćenih komponenti otpada. Ispitivanje sastava otpada obavlja se na stroju za sortiranje otpada ("sortirka"). Nakon što se iz kamiona uzme reprezentativni uzorak, sortiranje otpada nastavlja se na način da se otpad ubacuje u sortirku, tj. elektromotorom pokretani bubanj, sito s otvorima promjera 40 mm. Kroz te otvore propada otpad manji od 40 mm, tzv. "sitnica", dok se na posebnom stolu ručno sortira otpad krupniji od 40 mm. Sav otpad krupniji od 40 mm koji pada na stol, kao i uzorak prosijanog dijela - sitnice, ručno se sortiraju i važu, čime se utvrđuje sastav obje granulometrijske frakcije. Prilikom sortiranja posebna pažnja pridaje se na čistoću materijala koji se ručno sortira. Najčešća moguća onečišćenja komponenti otpada su vlaga, prašina i organski kuhinjski otpad, a sve tri navedene nečistoće najčešće pomiješane onečišćuju neke komponente, kao npr. papir, plastične vrećice, plastični ambalažni otpad, tekstil i dr.

Sortiranja miješanog komunalnog otpada su se izvodila u svim godišnjim dobima, na kontinentu i priobalju, urbanim, suburbanim i ruralnim područjima, turističkim objektima, uredima i industriji.

Službeni prosječni godišnji sastav komunalnog otpada reprezentativan za Republiku Hrvatsku prikazan je u Planu gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015.

godine. Ovaj sastav otpada je bitan jer se njime određuje referentna godina za količinu proizvedenog i odloženog biorazgradivog otpada u Republici Hrvatskoj, a na koju se oslanjaju i kvantitativni ciljevi o postupnom smanjenju odlaganja biorazgradivog otpada na odlagalištima.

S obzirom da se sastav otpada mijenja ovdje se koriste podatci o sastavu otpada dobiveni sortiranjem za područje Slavonije u 2013toj godini. Na temelju provedenih sortiranja na području Osječko-baranjske županije (*izvor: Osnovna karakterizacija otpada – Komunalni otpad koji se odlaže na Gradsko odlagalište – Beli Manastir, IPZ Uniprojekt TERRA, prosinac 2009. i svibanj 2012.; Elaborat o količini i sastavu miješanog komunalnog otpada koji se stvara na području Grada Osijeka u zimskom periodu 2013. g., IPZ Uniprojekt MCF, prosinac 2013.*), te na području Grada Bjelovara (*izvor: Elaborat o količini i sastavu komunalnog opada koji se stvara na području Grada Bjelovara u zimskom periodu 2013. g., IPZ Uniprojekt TERRA, prosinac 2013.*) te podataka o sastavu komunalnog otpada s dijelova područja RH (*izvor: Elaborat o količini i sastavu otpada na području Grada Karlovca, 2010.; Osnovna karakterizacija otpada Grada Vinkovaca, 2009.; Utvrđivanje količina i sastava otpadaka grada Velike Gorice - zimski period, 2007.; Utvrđivanje količina i sastava otpadaka grada Velika Gorica - proljetni period, 2006.; Utvrđivanje količina i sastava otpadaka grada Zadra, 2009. IPZ Uniprojekt TERRA*), pretpostavljen je sastav 7 županija u Slavoniji kao reprezentativni sastav miješanog komunalnog otpada na temelju dužeg razdoblja praćenja sastava. Radi usporedbe u tablici 2. daje se prikaz procijenjenog sastava otpada.

Tablica 2. – Usporedba procijenjenog sastava panonske Hrvatske sa zadnjim ispitivanjima koja su provedena na području gradova u sklopu panonske Hrvatske

#	Komponenta mKO	RH-PH	BM-12-p	BJ-13-j	OS-13-j
1.	guma	0,1	0,2	0,0	0,0
2.	akumulatori	0,0	0,0	0,0	0,0
3.	papir (novine i časopisi)	13,6	4,9	10,8	9,3
4.	karton	7,3	4,5	7,6	4,5
5.	staklo	2,8	2,0	2,1	3,0
6.	sitna plastika, meka	13,8	10,9	10,7	11,6
7.	ostala plastika, tvrda	6,3	5,5	6,9	5,8
8.	sitni metalni predmeti (Al-limen.)	0,6	0,8	1,1	0,0
9.	ostali metali	0,8	0,9	0,0	1,8
10.	drvo	1,0	1,0	0,0	0,2
11.	organski otpad iz kuhinja	12,5	8,0	6,9	18,2
12.	odjeća i obuća	2,0	2,0	2,2	1,2
13.	tekstil	1,8	3,2	2,5	1,8
14.	boje, tinta, ljepila i smole	0,1	0,1	0,0	0,0
15.	lijekovi	0,0	0,0	0,0	0,0
16.	baterije	0,0	0,0	0,0	0,0
17.	elektronska oprema	0,5	0,3	0,2	0,4
18.	biootpad	3,9	10,6	6,7	4,8
19.	zemlja i kamenje	0,8	1,2	0,6	0,7
20.	bijela tehnika i olupine b. tehn.	0,1	0,4	0,0	0,0

21.	koža i kosti	0,3	1,1	0,2	2,1
22.	PET	0,3	1,7	0,0	0,2
23.	pelene	5,2	4,8	5,3	4,3
24.	složenci (slično Tetra Pak)	2,2	1,8	2,0	2,4
25.	sitnica do 40 mm	24,2	34,2	34,0	27,8
Ukupno:		100,0	100,0	100,0	100,0

Iz usporedne tablice sastava miješanog komunalnog otpada moguće je primijetiti učinak izdvojenog skupljanja određenih komponenti otpada između dužeg za PH reprezentativnog razdoblja (cca 5 godina) i zadnjih rezultata ispitivanja u 2012. i 2013. godini.

Na temelju pretpostavljenih prosječnih vlažnosti ispitivanih komponenti miješanog komunalnog otpada te sastava miješanog komunalnog otpada, prosječna vlažnost miješanog komunalnog otpada procjenjuje se na oko 40%.

Prosječna nasipna gustoća, temeljeno na navedenom sastavu miješanog komunalnog otpada iznosi oko 206 kg/m³. Na temelju sastava i vlažnosti miješanog komunalnog otpada te prosječne ogrjevne vrijednosti zastupljenih komponenti otpada, prosječna ogrjevna vrijednost svježeg miješanog komunalnog otpada procjenjuje se iznosom od oko 13.451 kJ/kg.

S obzirom da se sastav miješanog otpada mijenja kako se mijenjaju proizvodi i ambalaža na tržištu, stoga je potrebno periodički, barem svake 3 godine, u dva karakteristična razdoblja tijekom godine, provoditi ispitivanja o sastavu miješanog komunalnog otpada, tj. ostatnog otpada koji preostaje za uporabu nakon izdvajanja reciklirajućih materijala iz ukupnog toka otpada. Na ovaj način se provjerava se i sukladnost rezultata osnovne karakterizacije otpada s otpadom koji se redovito dostavlja na odlagalište.

Na kraju zaključno, ubrzano se mora pristupiti uvođenju naplate usluga gospodarenja otpadom po količini te organizaciji izdvojenog skupljanja barem papira, plastike, stakla i metala na mjestu nastanka, tj. od kućanstava. Ukoliko ne budu izgrađeni objekti za uporabu biorazgradivog otpada, kvantitativni cilj o smanjenju udjela na odlagalištima odloženog biorazgradivog otpada bit će sve dalji.

3. ODLAGALIŠTA

Najčešći prisutni način zbrinjavanja otpada u RH je odlaganje na sanirana odlagališta (po odloženoj količini otpada) ili na odlagališta koja su u fazi sanacije. Odlaganje otpada na smetlišta je zanemarivo. Fond je sklopio ugovor o sanaciji 300 odlagališta otpada, a jedno odlagalište je sanirano svojim sredstvima (Zagreb).

Početkom 2013. Godine bilo je aktivno 140 odlagališta dok su zatvorena 162 odlagališta. Završena je sanacija 107 odlagališta, u tijeku je sanacija 48 lokacija, a u pripremi sanacije je 146 lokacija odlagališta. Od procijenjenih oko 3000 divljih/neslužbenih odlagališta, sufinanciranjem od strane Fonda sanirano je 750 lokacija, uglavnom metodom uklanjanja otpada.

Odlaganje samo građevinskog i proizvodnog otpada u bazu Registar onečišćavanja okoliša za 2010. godinu prijavilo je 6 operatera odnosno 6 odlagališta sa područja 5 županija. Ukupno je odloženo 80 975 t otpada, od čega 67 821 t građevinskog otpada.

Prema podacima FZOEU, do kraja 2011. godine u 12 županija i u Gradu Zagrebu izgrađeno je ukupno 15 kazeta za zbrinjavanje građevinskog otpada koji sadrži čvrsto vezani azbest (izgradnja još dvije kazete je u tijeku). U Dubrovačko-neretvanskoj i Ličko-senjskoj županiji izgrađene su po dvije, a u Splitsko-dalmatinskoj tri kazete. U 8 županija kazete nisu izgrađene, od čega u njih 7 nije definirana lokacija na kojoj kazeta treba biti izgrađena. Ukupno je do kraja 2011. godine na postojeće kazete odloženo 4 598 t građevinskog otpada koji sadrži čvrsto vezani azbest.

Od navedenih 140 odlagališta koja nastavljaju raditi 20 odlagališta (14%) su sanirana i nastavljaju raditi kao odlagališta neopasnog otpada, a još 26 su u fazi sanacije (18%). Od navedenih 162 odlagališta koja se zatvaraju 69 ih je sanirano i zatvoreno (45%), dok ih je još 16 u fazi sanacije (11%).

Sve lokacije odlagališta otpada određene se prostorno planskim dokumentima. Način sanacije određen je procjenom utjecaja na okoliš i najviše odlagališta sanirano je na mjestu nastanka na način da je daljnje zagađenje spriječeno ugradnjom završnog brtvenog sloja koji se sastoji iz izravnavajućeg sloja, plinodrenaže, brtvenog sloja gline (ili bentonitni tepih - GCL), drenaže za vanjske vode i rekultivirajućeg sloja koji se ozelenjava. Kad se ugrađuje donji brtveni sloj isti se sastoji se od gline debljine 1 m ($k=10^{-9}$ m/s) i HDPE folije koja se štiti geotekstilom na koji se postavlja drenažni sloj. Procjedne vode se skupljaju i uglavnom recirkuliraju (uređaje imaju samo Zagreb i Velika Gorica). Odlagališni plinovi se skupljaju i uglavnom pasivnim sustavom odvođe u atmosferu, dok je na nekoliko odlagališta ugrađena baklja (Zagreb, Velika Gorica, Karlovac, Sisak, Samobor, Poreč). Odlagališta se ograđuju ogradom visine 2 m. Uređuje se infrastruktura (prilazna cesta, vodovod, kanalizacija, električna), a na ulaznoj zoni se postavljaju objekti za zaposlene, garaža i reciklažno dvorište. Nekoliko odlagališta sanirano je na način da je cijeli otpad iskopan, izrađen je donji brtveni sloj, te je otpad vraćen na uređenu plohu (Zagreb, Koprivnica, D. Miholjac), dok se na dva odlagališta otpad i predobradio (Čakovec, Labin).

Sva odlagališta površine oko 1 ha i kojih ima 66 (45%) trebala bi se sanirati na način da se zatvore nakon popunjavanja prihvatnih kapaciteta za otpad. Ukupno odlagališta zauzimaju površinu od oko 590 ha (navedena površina odnosi se na odloženi otpad, a ne na površinu unutar ograde odlagališta koja je u pravilu 50% veća).

Ukupna investicija u sanaciju svih odlagališta u RH procijenjena je na 2.838.000.000,00 kn od čega Fond dodjeljuje 55% (1.570.000.000,00 kn), i do sada je već isplatio 480.000.000,00 kn (nije uključena sanacija odlagališta Jakuševac – Prudinec).

4. OPASAN OTPAD

Prema podacima AZO (Agencija za zaštitu okoliša) za Republiku Hrvatsku u 2012. godini proizvedeno je 66.343,72 t opasnog proizvodnog otpada. Od ukupne količine proizvedenog opasnog otpada najveći udio činio je otpad grupe 16 00 00 – i to otpad od rastavljanja istrošenih vozila i održavanja vozila, baterije i akumulatori, potom slijede otpadna ulja grupe 13 00 00 - otpadna ulja i otpad od tekućih goriva (osim jestivog ulja i ulja iz poglavlja 05, 12 i 19), te otpad iz grupe 19 00 00 - otpad iz uređaja za postupanje s otpadom, uređaja za pročišćavanje gradskih otpadnih voda i pripremu pitke vode i vode za industrijsku uporabu.

Najveće količine prijavljenog proizvedenog opasnog otpada su u Primorsko-goranskoj županiji, 9.357 t i u Gradu Zagrebu, 7.411,57 t. Sumiranjem podataka o količinama opasnog otpada po regijama, i dalje se najveće količine opasnog otpada proizvode u središnjem dijelu RH, preko 65% opasnog otpada.

Opasan otpad, proizvođači otpada prvenstveno predaju ovlaštenim skupljačima na daljnje postupke obrade, 49.121,46 t (u Republici Hrvatskoj u 2012. godini bilo je 95 ovlaštenih skupljača opasnog otpada), a vezno uz postupke obrade opasnog otpada, prema prijavljenim podacima ukupno je predano na postupke zbrinjavanja (D) 21.052,93 t, na postupke uporabe (R) 25.000,22 t, a 17.759,64 t opasnog proizvodnog otpada je izvezeno iz RH. Od ukupno proizvedene i prijavljene količine opasnog otpada, 17.221,26 tona ostaje i dalje kod proizvođača otpada. Od postupaka zbrinjavanja opasnog otpada najzastupljeniji je postupka odlaganja, koji se odnosi na odlaganje azbesta na posebno izgrađene plohe, 62,73%, potom fizikalno kemijska obrada otpada postupcima solidifikacije- stabilizacije otpada. Najzastupljeniji postupka uporabe opasnog otpada u RH je postupka R1 – korištenje otpada uglavnom kao goriva ili drugog načina dobivanja energije u postojećim industrijskim postrojenjima, 33%.

Za opasan otpad, u Republici Hrvatskoj, i dalje se samo na načelima tržišta, razvijaju određeni tehničko tehnološki kapaciteti za skupljanje, skladištenje i obrađivanje opasnog otpada. Situacija sa izgrađenim i specijaliziranim objektima za obradu je ista kao i prije deset godina, iako količine opasnog otpada rastu, odnosno, gospodarski subjekti temeljm vlastitih kapaciteta organiziraju i provode obradu opasnog otpada, dok su neki specijalizirani objekti, kao što je bila spalionica opasnog otpada- ambalaže onečišćene opasnim tvarima unutar pogona HERBOS, ugašena. Trenutno, postoji samo nekoliko manjih specijaliziranih objekata izgrađenih za potrebe uporabe/obrade opasnog otpada (prvenstveno zauljenih voda, muljeva, te zauljenih filtra i zauljene ambalaže) te postoje raspoloživi kapaciteti unutar pojedinih industrijskih postrojenja, koji se koriste za uporabu/ obradu neke vrste opasnog otpada i to prvenstveno za suspaljivanje otpada, otpadna ulja ili otpada onečišćenog opasnim tvarima kao što je zemlja ili drvo – tvornica za proizvodnju vapna. Usporedbom podataka u 2006. godini bilo je 16 važećih dozvola za sakupljanje opasnog otpada, a u 2013. godini 91 važeća dozvola. Za obradu/uporabu opasnog otpada u 2006. godini blo je 10 važećih dozvola, dok 2013.godine bilo je 49 važećih dozvola. Iako je jasno vidljiv porast važećih dozvola za gospodarenje opasnim otpadom, potrebno je istaknuti da broj važećih dozvola za gospodarenje opasnim otpadom, od 2011. godine se smanjuje.

5. STANJE REALIZACIJE CENTARA ZA GOSPODARENJE OTPADOM (CGO)

Ostvarivanje prvog regionalnog centra počelo je još davne 1997. godine u Slavoniji u skladu s tada važećim zakonima, a kao početak trebalo je izgraditi regionalno odlagalište za Osječko-baranjsku i Vukovarsko-srijemsku županiju. Donošenjem Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (2007.god.) kao prioritet postavlja se izgradnja Centara za gospodarenje otpadom, ali nažalost do danas još nije izgrađen niti jedan cjeloviti centar.

Nakon donošenja Plana gospodarenja otpadom RH pokrenuta je izrada dokumentacije za deset Centara (CGO/RCGO), međutim u prvoj polovici 2012. godine dolazi do zastoja u izradi dokumentacije za Centre za gospodarenje otpadom. Izrada dokumentacije je intenzivirana početkom 2013. godine. Na dva CGO dokumentacija je završena i radovi su u visokoj fazi realizacije dok je na jednom CGO dio radova već i završen.

Zakon predviđa da će se otpad koji nastaje u Županijama obrađivati na centrima za gospodarenje otpadom, a na području Županija s radom će do kraja 2017. godine prestati sva neusklađena odlagališta te će takva Županija ispuniti svoje zakonske obveze jer će sav komunalni otpad biti obrađen. Prema Planu gospodarenja otpadom RH dozvoljeno je da svaka Županija ima svoj Centar (CGO), ali je dozvoljeno i udruživanje Županija. U nastavku se iznosi stanje realizacije Centara po Županijama. Kratak pregled postojećeg stanja prikazan je u tablici 3.

Tablica 3 – Pregled Regionalnih i Županijskih centara za gospodarenje otpadom

R. BR. ŽUPANIJE	PREGLED PODATAKA
1. Zagrebačka županija	Na području Zagrebačke županije određena je lokacija Centra. Dokumentacija se ne izrađuje. Prije je postojao ugovor o zajedničkom Centru s gradom Zagrebom, ali je Županija odustala od Ugovora.
2. Krapinsko-zagorska županija	Usvojenim Planom gospodarenja otpadom predviđeno je odlaganje i obrada otpada na Regionalnom centru u Piškornici. Usvojenim planom gospodarenja otpadom kod Konjščine je predviđen Županijski centar na kojem će se obrađivati samo građevinski otpad u sklopu kojeg je predviđeno odlagalište inertnog otpada. Lokacija je određena prostornim planom, ali nema druge dokumentacije.
3. Sisačko-moslavačka županija	U usvojenom Planu gospodarenja otpadom županije dan je i prijedlog potencijalnih lokacija za županijski centar za gospodarenje otpadom, ali nema druge dokumentacije. Izrađena je predstudija izvodljivosti za Panonsku Hrvatsku koja je predložila da se problem Županije riješi objedinjeno s Zagrebačkom županijom i Gradom Zagrebom.
4. Karlovačka županija	Prema usvojenom Planu gospodarenja otpadom kao regionalni centar predviđena je lokacija na području grada Karlovca, a izabrana je lokacija Babina gora. Izrađen je Idejni projekt i ishođena je lokacijske dozvole. Izabran je izizvođač Studije izvodljivosti i prijave projekta.
5. Varaždinska županija	Usvojenim Planom gospodarenja otpadom predviđeno je odlaganje i obrada otpada na Regionalnom centru u Piškornici.
6. Koprivničko-križevačka županija	Prema odredbama Prostornog plana županije i usvojenog Plana gospodarenja otpadom na lokaciji Koprivnički Ivanec (Piškornica) predviđeno je uspostavljanje jednog Županijskog centra za gospodarenje otpadom (reciklažni centar s pratećim objektima) u kojem bi uz odlagalište otpada bili smješteni i svi ostali sadržaji. Za postojeću lokaciju izrađen je Idejni projekt i ishođena je lokacijska dozvola. Za dio lokacije postoji građevinska dozvola za sanaciju i nastavak rada do realizacije Centra. U tijeku su radovi na izradi studije izvedivosti i prijavu projekta.
7. Bjelovarsko-bilogorska županija	Prostornim planom županije i usvojenim Planom gospodarenja otpadom predviđena je izgradnja Županijskog centra s MBO na lokaciji postojećeg odlagališta Doline (Bjelovar). Za postojeću lokaciju odlagališta ishođena je građevinska i uporabna dozvola za odlagalište otpada. Izrađena je predstudija izvodljivosti za Panonsku Hrvatsku koja je predložila da se ova lokacija odabere kao Regionalni centar za Virovitičko-podravsku i Bjelovarsko-bilogorsku županiju.
8. Primorsko-goranska županija	Za centralnu zonu za gospodarenje otpadom Mariščina izdana je građevinska dozvola i radovi na izgradnji su u tijeku. Završeno je više od 90% radova na izgradnji Centra.
9. Ličko-senjska županija	Prostornim planom županije načelno je određena lokacija županijskog središta za gospodarenje otpadom u Ličkom Osiku. Završena je izrada predstudije izvedivosti koja treba pokazati opravdanost ovakvog rješenja, odnosno ponuditi optimalno rješenje na regionalnom nivou.
10. Virovitičko-podravska županija	Izrađena je predstudija izvodljivosti za Panonsku Hrvatsku koja je predložila da se lokacija Doline odabere kao Regionalni centar za Virovitičko-podravsku i Bjelovarsko-bilogorsku županiju.

11. Požeško-slavonska županija	Izrađena je predstudija izvodljivosti za Panonsku Hrvatsku koja je predložila izgradnju Regionalnog centra za Požeško-slavonsku, Brodsko-posavsku i dio Sisačko-moslavačke županije na lokaciji Šagolje kod Nove Gradiške.
12. Brodsko-posavska županija	Kao lokacija Brodsko-posavske županije određena je lokacija uz postojeće odlagalište Šagolje-Ivik u Novoj Gradiški. Izrađena je predstudija izvodljivosti za Panonsku Hrvatsku koja je predložila izgradnju Regionalnog centra za Požeško-slavonsku, Brodsko-posavsku i dio Sisačko-moslavačke županije na lokaciji Šagolje kod Nove Gradiške.
13. Zadarska županija	Usvojen je Plan gospodarenja otpadom za županiju kojim je predložena lokacija Biljane Donje za županijski centar za gospodarenje otpadom. Izvode se završni radovi na izradi Idejnog projekta i studiji izvodivosti s prijavom projekta. Izrađuje se tender za izvođenje radova.
14. Osječko-baranjska županija	Prostornim planom uređenja općine Antunovac kao i usvojenim Planom gospodarenja otpadom određena je lokacija budućeg regionalnog centra na području Orlovnjak koje je zasad zajedničko za više jedinica lokalne samouprave. Izrađena je predstudija izvodljivosti za Panonsku Hrvatsku koja je predložila izgradnju Regionalnog centra za Osječko-baranjsku i Vukovarsko-srijemsku županiju na lokaciji Orlovnjak kod Osijeka.
15. Šibensko-kninska županija	Prema Prostornom planu županije i usvojenom Planu gospodarenja otpadom, za županijsko središte za gospodarenje otpadom predviđen je Bikarac. Na lokaciji su izvedeni radovi na ulazno-izlaznoj zoni s reciklažnim dvorištem, sanirano je i zatvoreno postojeće odlagalište i izgrađena je nova ploha za odlaganje otpada. U tijeku su radovi na izradi studije izvodljivosti i tender za mehaničko-biološku obradu.
16. Vukovarsko-srijemska županija	Prostornim planom Županije i usvojenim Planom gospodarenja otpadom predviđeno je zbrinjavanje otpada na Regionalnom centru u Antunovcu, a u općini Stari Jankovci predviđeno je formiranje Županijskog centra. Izrađena je predstudija izvodljivosti za Panonsku Hrvatsku koja je predložila izgradnju Regionalnog centra za Osječko-baranjsku i Vukovarsko-srijemsku županiju na lokaciji Orlovnjak kod Osijeka.
17. Splitsko-dalmatinska županija	U Prostornom planu županije kao i usvojenim Planom gospodarenja otpadom, određena je mikrozona na području općine Lećevica kao Županijski centar za gospodarenje otpadom. U tijeku je izrada kompletne dokumentacije .
18. Istarska županija	Prema Prostornom planu Istarske županije kao i usvojenim Planom gospodarenja otpadom lokacija središnje zone za gospodarenje otpadom je na lokaciji Kaštijun (Pula). Planirani sadržaji središnje zone za gospodarenje otpadom su: centralno skladištenje, obrađivanje i trajno odlaganje komunalnog otpada, centralno skladištenje, obrađivanje i trajno odlaganje neopasnog tehnološkog otpada i prateći sadržaji. Za centralnu zonu za gospodarenje otpadom izdana je građevinska dozvola i radovi na izgradnji su u tijeku. Za sanaciju odlagališta Kaštijun izdana je lokacijska i građevinska dozvola. Završeno je više od 35% radova na izgradnji Centra i u tijeku je ishođenje okolišne dozvole.
19. Dubrovačko-neretvanska županija	Prostornim planom županije određene su tri potencijalne makrolokacije za županijski centar za gospodarenje otpadom, a Planom gospodarenja otpadom usvojena je makrolokacija oko Točionika (sjeverno od Čepikiča). Kao najpovoljnija lokacija izabrana je Lučino razdolje. Izabran je izrađivač studije izvodljivosti s prijavom projekta za EU fondove.
20. Međimurska županija	Prema odredbama prostornog plana županije kao i usvojenim Planom gospodarenja otpadom predviđeno je zbrinjavanje otpada na Regionalnom

	centru u Piškornici.
21. Grad Zagreb	Prostornim planom Grada Zagreba i Studijom Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom, uz već realizirane sadržaje, planirana je i termička obrada komunalnog otpada. Za potrebe izmjene prostornog plana i usvajanje Plana gospodarenja otpadom izrađena je strateška procjena utjecaja na okoliš koja je usvojena kao i Plan gospodarenja otpadom koji je usvojen na Gradskoj Skupštini.

Predviđeni Centar za gospodarenje opasnim otpadom nije ušao niti u realizaciju pripreme dokumentacije, definiranja potencijalne lokacije. Trenutno se sustav gospodarenja opasnim otpadom u Republici Hrvatskoj razvija kroz privatne investicije, razvoj tehnologija obrade opasnog otpada sukladno zahtjevima tržišta te time postavlja temelj za budući razvoj javno privatnog partnerstva kako je Zakonom i predviđeno.

6. ZAKLJUČAK

Na području RH u posljednjih 15 godina situacija se bitno popravila. Naročito se situacija poboljšala nakon 2005. godine što se može obrazložiti stvarnim početkom rada Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost koji dodjeljuje bezpovratna sredstva za sanaciju odlagališta, za jačanje komunalne infrastrukture sa ciljem odvojenog sakupljanja otpada, ali i naknade za organizaciju prijevoza i sakupljanja posebnih kategorija otpada, među kojima je i opasan otpad.

Pri rješavanju problema (sanacija i zatvaranje odlagališta), treba imati u vidu da postoji opredjeljenje regionalnom/županijskom pristupu koji se bazira na udruživanju većeg broja jedinica lokalne samouprave na zbrinjavanju otpada. Isto je vezano uz mogućnost stanovništva koje će plaćati naknadu za zbrinjavanje otpada. Osnovni pristup kreće se od saniranja i zatvaranja malih odlagališta, preko srednjih pa sve do realizacije regionalnog/županijskog centra za gospodarenje otpadom.

Donošenjem novog Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) postavljeni su bitno oštriji uvjeti za djelatnost gospodarenja otpadom u RH te postavljaju stroge kriterije jedinicama lokalne uprave i samouprave. Za opasan otpad također su postavljeni oštri kriteriji za sve sudionike u sustavu gospodarenja otpadom, od samih proizvođača opasnog otpada sa ciljem dobivanja što preciznijih podataka o količinama i tokovima otpada do ovlaštenika za gospodarenje opasnim otpadom sa ciljem korištenja najboljih raspoloživih tehnologija i sukladno okolišnim uvjetima.

U Republici Hrvatskoj u 2012. godini nastalo je 1.670.005 t komunalnog otpada od čega je izdvojeno skupljeno 382.078 t odnosno 23%. Izdvajanje stakla, papira, plastike i metala iznosi oko 26,2%. Najzastupljeniji način zbrinjavanja otpada je odlaganje otpada na odlagališta koja su podijeljena na odlagališta otpada koja zadovoljavaju uvjete iz EU Direktive o otpadu i neusklađena odlagališta. Registrirano je 302 odlagališta od kojih aktivno radi oko 140 odlagališta, dok su manja 162 odlagališta u fazi zatvaranja. Oko 1,5 % birazgradivog otpada se kompostira (25.956 t).

Za opasan otpada podatci su dostupni za 2012.godinu, kada je proizvedeno 66 343,72 tone opasnog otpada, od čega je 17.759,64 t izvezeno na obradu izvan Republike Hrvatske, dok se sve veći dio opasnog otpada obrađuje u RH kroz postojeća industrijska postrojenja.

Kako Zakon o održivom gospodarenju otpadom propisuje smanjivanje odlaganja biorazgradivog komunalnog otpada kao i ukupno odlaganja komunalnog otpada na odlagalištima do 2018.

godine kao rješenje ostaje što hitnija izgradnja centara za gospodarenje otpadom jer se u protivnom zakonski uvjeti neće moći ispuniti. Opređeljenje za regionalni/županijski pristup koji se bazira na udruživanju većeg broja jedinica lokalne samouprave na zbrinjavanju otpada vezano je i uz mogućnost stanovništva koje će plaćati naknadu za zbrinjavanje otpada. Osnovni pristup sustava kreće se od saniranja i zatvaranja odlagališta, pa do realizacije regionalnog/županijskog centra za gospodarenje otpadom.

U tijeku je realizacija dva centra za gospodarenje otpadom u Hrvatskoj na kojima se izvode radovi i to su Mariščina (Rijeka) i Kaštijun (Pula), dok su na jednom Centru već izgrađeni prateći sadržaji s odlagalištem (Bikarcu - Šibenik). Na tri Centra radovi na izradi tehničke dokumentacije su u završnoj fazi Piškornica (Koprivnički Ivanac), Babina gora (Karlovac) i Biljane Donje (Zadar) i za ove lokacije mogli bi završiti u 2014oj godini s početkom radova na izgradnji u 2015oj godini. U istu grupu mogu se svrstati i Lučino razdolje (Dubrovnik) i Lećevecica (Split) odnosno na ovim projektima izrada dokumentacije se može produžiti za jednu godinu. Svi ovi Centri trebali bi početi raditi u 2018oj godini. Upitna je izgradnja Centara u sjeveroistočnoj Hrvatskoj gdje izrada dokumentacije još nije počela, a problem predstavlja i Grad Zagreb gdje još nije usvojen ni plan gospodarenja otpadom. U ovih pet županija, a ako se hitno ne krene s radovima, doći će do kašnjenja s izgradnjom, a time i početkom rada. Najveći problem predstavlja grad Zagreb (kao najveći proizvođač otpada) koji problem mora riješiti do kraja 2018te godine kada će popuniti odlagalište Prudinec i više neće imati mogućnost za bilo kakvo zbrinjavanje otpada osim izvoza.

7. LITERATURA:

- [1] Fond za zaštitu okoliša, Podatci o sanaciji odlagališta, Zagreb, 2011.
- [2] IPZ Uniprojekt MCF, Pregled postojećeg stanja u postupanju s komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj, Zagreb, 1996
- [3] Fundurulja D., Stanje sanacije odlagališta u Republici Hrvatskoj u 2012toj godini, XI međunarodni simpozij "Gospodarenje otpadom", Zagreb, studeni 2010
- [4] [www.azo](http://www.azo.hr) – Izvješće o otpadu
- [5] [www.azo](http://www.azo.hr) - Pregled podataka iz Registra dozvola i potvrda za gospodarenje otpadom 2013.

GOSPODARENJE KRUTIM KOMUNALNIM OTPADOM U ZEMLJAMA EUROPSKE UNIJE

MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT IN EU COUNTRIES

Doc. dr. sc. Anita Ptiček Siročić; dipl. ing.kem.teh^{1*}; Ana Dundović, dipl. ing. geoteh. univ. spec. oecoing²; prof. dr. sc. Zlata Hrnjak-Murgić, dipl. ing. kem. teh. ³; dr. sc. Jelena Loborec, dipl. ing. geoteh. ¹

¹ Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, Varaždin, Hrvatska

² Zagrebački holding d.o.o., Podružnica Čistoća, Radnička cesta 82, Zagreb, Hrvatska

³ Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska

*e-mail kontakt: anitaps@gfv.hr

SAŽETAK

Tijekom proteklih razdoblja povećanje industrijalizacije i populacije uzrokovalo je nastajanje većih količina različitih vrsta otpada pa tako i komunalnog otpada. Kvalitativni sastav otpada ovisi o ekonomskoj, socijalnoj i kulturnoj razvijenosti države pa se upravljanje otpadom razlikuje između pojedinih država i mijenja se tijekom vremena. Suvremeno gospodarenje otpadom obuhvaća različite tehnološke postupke obrade i iskorištavanja otpada s ciljem njegovog smanjivanja. Odlaganje je najjednostavniji postupak zbrinjavanja otpada, ali i najnepovoljniji za okoliš. U velikom dijelu zemalja članica Europske Unije (EU), *odlaganje neobrađenog otpada* još je uvijek primarni način zbrinjavanja otpada pa tako i u Republici Hrvatskoj.

U ovom radu prikazani su podaci o sastavu komunalnog otpada te pregled gospodarenja krutim komunalnim otpadom u zemljama Europske unije. Cilj je upoznavanje tokova krutog komunalnog otpada te postupaka razvoja cjelovitog sustava gospodarenja otpadom koji podrazumijeva smanjenje količine otpada, razdvajanje i recikliranje materijala.

Ključne riječi: *kruti komunalni otpad, sastav komunalnog otpada, cjeloviti sustav gospodarenja otpadom*

ABSTRACT

During the last period, increase of industrialization and population caused the formation of large quantities of different types of waste including municipal solid waste. Qualitative composition of waste depends on the economic, social and cultural development of a given country; therefore, waste management varies between different countries and it changes over the time. Modern waste management systems include various technological procedures of processing and utilisation of waste in order to reduce its amount. Waste disposal is the simplest waste management procedure, but at the same time the most unfavourable for environment. Unfortunately, in most of the EU countries it is the prime waste management procedure, also in Republic of Croatia.

In this paper will be presented data of municipal solid waste composition in European Union countries as well as an overview of solid waste management in the EU. The goal is introduction with municipal solid waste streams as well as a

necessity of development of integrated waste management system that includes reduction waste reduction, separation and recycling.

Keywords: *municipal solid waste, composition of municipal waste, integrated waste*

1. UVOD

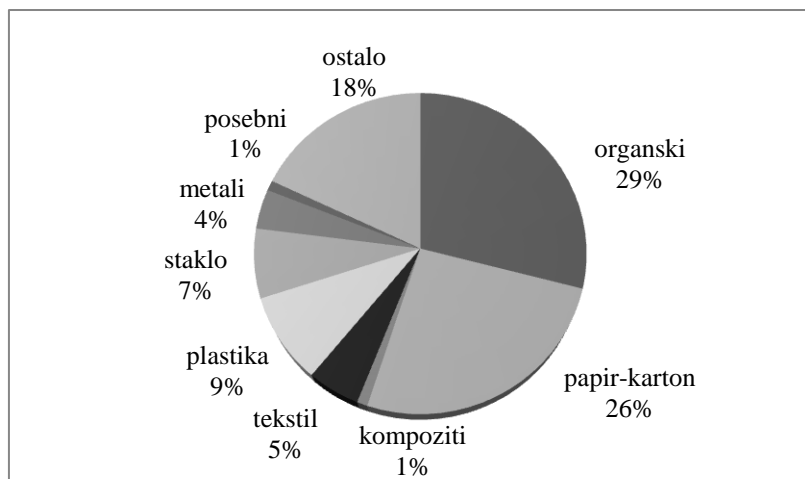
Razvojem ljudskog društva došlo je do eksponencijalnog rasta količine otpada, ali i bitnih promjena njegovih svojstava. Stvaranjem sve većih količina otpada čovjek znatno narušava prirodnu ravnotežu pa rješavanje problema otpada predstavlja jedan od prioriteta smanjenju negativnog utjecaja na okoliš. Otpad predstavlja najveću opasnost kad se nekontrolirano odbacuje u okoliš ili odlaže na neuređena odlagališta, ugrožavajući okoliš (naročito površinske i podzemne vode), a samim time i ljudsko zdravlje. Upravljanje otpadom uključuje različite aktivnosti koje se provode tijekom cjeloživotnog ciklusa nekog proizvoda ili procesa što podrazumijeva smanjenje njegovog nastajanja i nadzor tijekom postupka zbrinjavanja. Uvođenjem cjelovitog sustava gospodarenja krutim otpadom nastoji se smanjiti njegova ukupna količina ponovnom uporabom i recikliranjem te zbrinjavanjem preostalog otpada na način siguran po okoliš [5].

Uobičajeni sastav komunalnog otpada je kuhinjski otpad (biljnog i životinjskog porijekla), pepeo, papir, karton, staklo, koža, predmeti od gume, drveta, porculana, bijela tehnika itd. Količina i sastav otpada mogu značajno varirati i ovisi o mnogim čimbenicima: tipu naselja u kojem otpad nastaje, životnom standardu, godišnjem dobu, sezoni praznika, podneblju, vrsti djelatnosti i industrije neke zajednice, kao i o stupanju osviještenosti stanovništva o potrebi razvrstavanja otpada i stvaranju što manjih količina otpada. Precizni i pouzdani podaci o sastavu otpada pomažu u donošenju odgovarajućih odluka u gospodarenju otpadom, stoga je neophodno provoditi redovitu karakterizaciju komunalnog otpada. To podrazumijeva procjenu udjela pojedinih vrsta otpada pomoću različitih metoda, kao i određivanje fizičkih i kemijskih svojstava komunalnog otpada preko empirijskih formula i laboratorijskih ispitivanja.

U ovom radu bit će prikazan primjer analize sastava komunalnog otpada i gospodarenja otpadom u zemljama Europske unije. Cilj je ukazati na ključne razlike u pristupu gospodarenja otpadom u pojedinim zemljama Europske unije kako bi se mogle usvojiti smjernice budućeg učinkovitijeg razvoja sustava gospodarenja komunalnim otpadom.

2. SASTAV KRUTOG KOMUNALNOG OTPADA U ZEMLJAMA EU

Prosječni sastav komunalnog otpada razlikuje se u zemljama EU te se mijenja s razvojem i napretkom društva. Sastav komunalnog otpada u visoko razvijenim zemljama EU znatno se razlikuje po sastavu otpada u zemljama u razvoju. Procjenjuje se da količina krutog otpada koji nastaje u nerazvijenim zemljama iznosi od 0.15 do 0.3 Mg/osobi/god., u državama u razvoju to su količine od 0.3 do 0.7 Mg/osobi/god., dok u visoko razvijenim zemljama te vrijednosti iznose od 0.7 do 1.5 Mg/osobi/god [10].

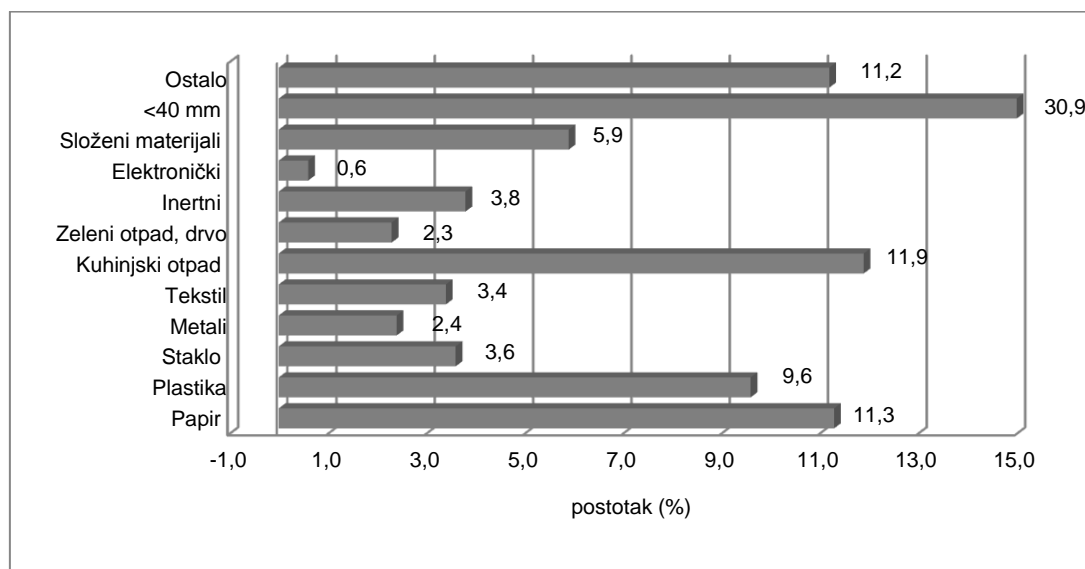


Slika 1. Prosječni sastav komunalnog krutog otpada u Europi [7]

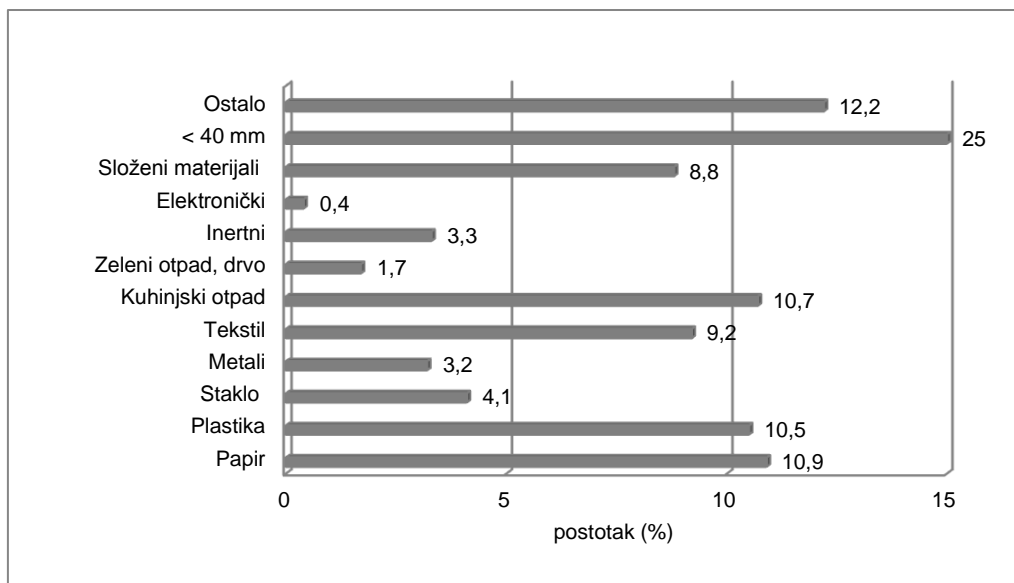
Količina nastalog komunalnog krutog otpada također može varirati unutar godine s obzirom na godišnja doba, praznike i godišnje odmore. Na slici 1 prikazan je prosječan sastav komunalnog krutog otpada u Europi za 2005. godinu.

Iz slike je vidljivo je da je udio organskog otpada u ukupnom komunalnom otpadu najveći i iznosi 29 %. Slijede papir i karton - 26 %, plastika - 9 %, a u manjim udjelima zastupljeni su metal, staklo, tekstil i ostale komponente otpada. Papir i plastika su materijali koji se mogu reciklirati, a ujedno su i poželjan otpad ukoliko se spaljuju.

Na slikama 2 i 3 vidljiva je promjena količine komunalnog otpada po vrstama materijala s promjenom godišnjeg doba (ljet/zima) za Austriju. Vidljivo je da je u ljetnom periodu povećana potrošnja plastike, stakla i metala te se pretpostavlja da je to uslijed povećane potrošnje različitih vrsta napitaka.



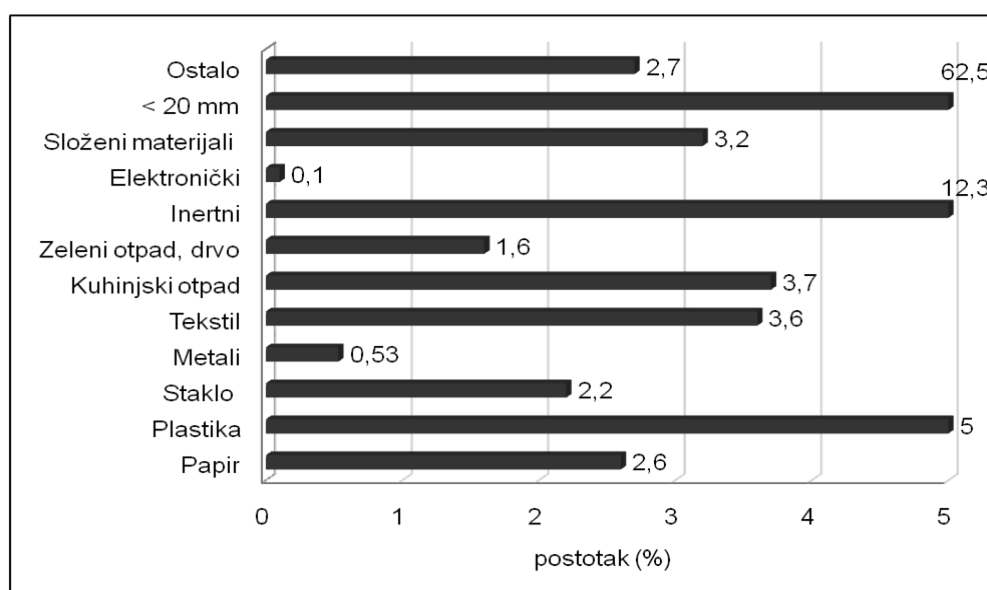
Slika 2. Tipični sastav komunalnog otpada iz domaćinstava u Srednjoj Europi u zimskom periodu (Styria/Austria, 2003) [7]



Slika 3. Tipični sastav komunalnog otpada iz domaćinstava u Srednjoj Europi u ljetnom periodu (Styria/Austria, 2003) [7]

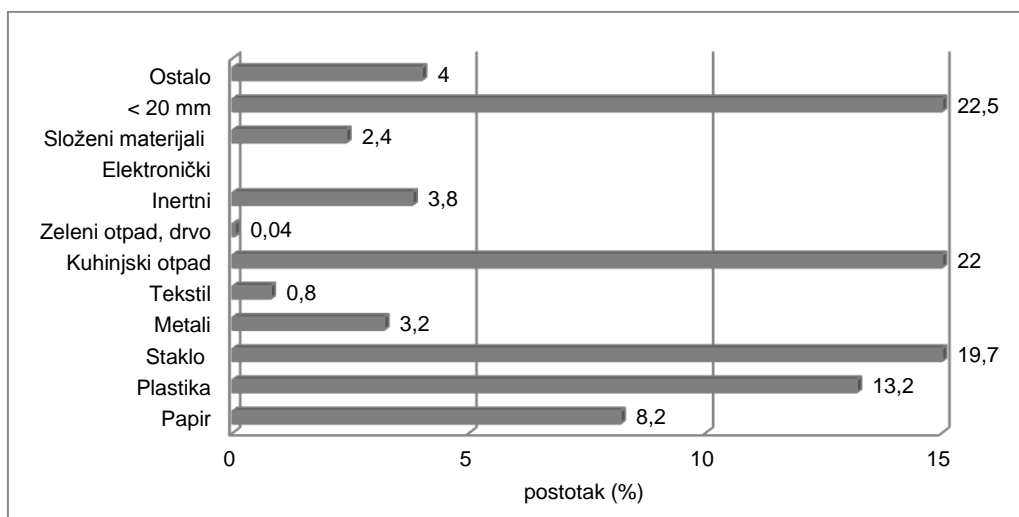
Također je u ljetnom periodu vidljiv i povećan udio otpadnog tekstila što ukazuje na odlaganje tekstila i odjeće iz kućanstava zbog preraspodjele garderobe. S druge strane, udio kuhinjskog otpada u ukupnom komunalnom otpadu veći je tijekom zimskih mjeseci što upućuje na dulji boravak u kućanstvima i pripremu većih količina hrane. Tijekom ljeta, turistička mjesta imaju znatno (i do deseterostruko) povećani udio komunalnog otpada u odnosu na ostatak godine.

Sastav i količine otpada mogu se razlikovati i unutar istog godišnjeg doba od mjesta do mjesta, čak i u različitim okruzima unutar istog grada. To je vidljivo na slikama 4 i 5 koje prikazuju sastav otpada u predgrađu i u turističkom dijelu grada tijekom zimskog perioda u Istočnoj Europi 2006. godine.



Slika 4. Tipični sastav komunalnog otpada iz domaćinstava u Istočnoj Europi u zimskom periodu, prigradsko područje (bez centralnog grijanja) [7]

Vidljivo je da je u turističkom dijelu znatno veći udio papira, stakla, plastike, metala i kuhinjskog otpada što se može objasniti boljom kupovnom moći stanovnika iz razvijenijeg dijela grada, s dolascima turista kao i povećanom potrošnjom. U prigradskom području, bez centralnog grijanja, velik udio u komunalnom otpadu zauzima komponenta otpada manja od 20 mm koja čak iznosi 62.5 %. Naime, budući da u nerazvijenom, ujedno i siromašnijem dijelu grada nema centralnog grijanja, stanovništvo koristi kruta goriva za zagrijavanje prostora, ali i razne komponente otpada (papir i plastika), pri čemu nastaje velika količina pepela.



Slika 5. Tipični sastav komunalnog otpada iz domaćinstava u Istočnoj Europi u zimskom periodu, turistički dio grada [7]

Ako se izneseni podaci usporede s podacima iz Srednje Europe (slike 2 i 3), vidljive su velike razlike u sastavu komunalnog otpada, ovisno o razvijenosti i načinu života u pojedinim zemljama. Značajne razlike u sastavu komunalnog otpada između Republike Austrije (slike 2 i 3) i zemalja Istočne Europe (slike 4 i 5) nisu objašnjive razlikama u životnim standardima i kulturnim okvirima, već ih objašnjava razina dostupnosti informacija o sustavu odvojenog sakupljanja otpada. Informacije dobivene iz analize sastava komunalnog otpada omogućuju lokalnim vlastima razvijanje učinkovitog sustava gospodarenja otpadom, osobito strategije recikliranja i kompostiranja.

Ukoliko se promotri osnovni sastav komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj, moguća je usporedba s prethodno iznesenim podacima o sastavu komunalnog otpada u pojedinim dijelovima EU. Tablica 1 prikazuje prosječni godišnji sastav komunalnog otpada u Hrvatskoj.

Tablica 1. Prikaz prosječnoga godišnjeg sastava komunalnog otpada [2, 6]

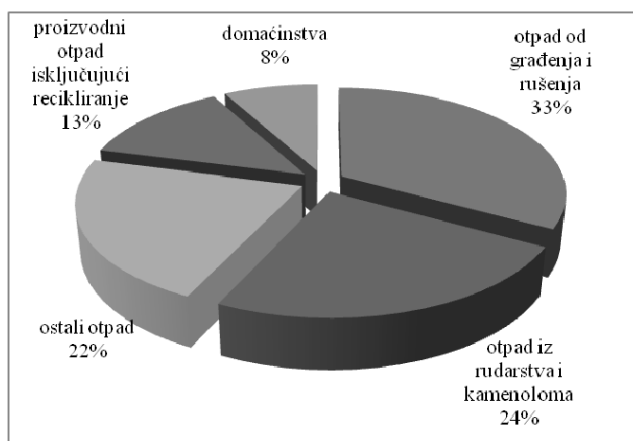
Komponenta otpada	kontinentalni dio	priobalje	sr.vrijednost	biorazgradivi dio
	mas %			
Kuhinjski i biootpad	43,1	41,0	42,1	74,5
Papir i karton	19,6	20,3	20,0	
Koža i kosti	3,0	3,1	3,1	
Drvo	1,3	1,2	1,3	
Tekstil	7,8	8,2	8,0	

Staklo	6,6	7,0	6,8
Metali	4,1	4,0	4,1
Inertni	1,5	2,2	1,9
Plastika	11,6	12,3	12,0
Guma	0,9	0,5	0,7
Posebni	0,4	0,2	0,3

Iz tablice 1 vidljivo je da je u komunalnom otpadu Republike Hrvatske najzastupljenija komponenta kuhinjskog i biootpada s udjelom od 42.1 %, što ukazuje na veću pripremu svježije hrane, a manje korištenje gotove ili polugotove hrane čime bi se znatno povećao udio ambalažnih materijala. Sljedeća najzastupljenija komponenta komunalnog otpada su papir i karton (udio oko 20 %) te plastika s udjelom od 12 %. Podatak o udjelu papira dodatno potvrđuje manju potrošnju ambalažnih materijala kao i kupnju gotovih proizvoda. Udio plastičnih materijala u komunalnom otpadu približno je jednak udjelu u visoko razvijenim zemljama EU. Za povećani udio plastike u komunalnom otpadu zaslužan je turizam odnosno potrošnja ambalažnih plastičnih materijala tijekom turističke sezone. Zanimljivo je primijetiti da su papir, staklo i plastika prisutni u većem udjelu komunalnog otpada u priobalnom dijelu zemlje, što se može objasniti većom potrošnjom tijekom turističke sezone. Usporedba prosječnih godišnjih vrijednosti sastava komunalnog otpada kontinentalnog i priobalnog dijela Republike Hrvatske ne pokazuje značajnija odstupanja. Iz navedenog, može se zaključiti da bi se odvojenim prikupljanjem kuhinjskog i biootpada te papira i kartona, čak 60 % otpada manje odlagalo na odlagališta. Dobiveni podaci ukazuju na neophodnost unapređenja sustava gospodarenja komunalnim otpadom u RH čime se otvara mogućnost dobivanja energije iz alternativnih izvora.

3. GOSPODARENJE OTPADOM U EU

U visoko razvijenim i razvijenim zemljama Europske Unije gospodarenje otpadom definirano je zakonima, direktivama i strategijama u kojima se zahtijeva smanjenje nastajanja otpada, njegova uporaba i recikliranje. U zemljama Europske unije nastajanje otpada je u kontinuiranom porastu zbog konstantnog razvoja i povećanja potrošnje. U 2006. godini zemlje EU proizvele su otprilike tri milijarde tona otpada, u prosjeku šest tona po osobi [8]. Od 6 tona ukupno proizvedenog otpada po glavi stanovnika godišnje, oko 33 % nastalo je u aktivnostima gradnje i rušenja, oko 25 % u rudnicima i kamenolomima, 13 % u proizvodnji, a 8 % u kućanstvima (slika 6).



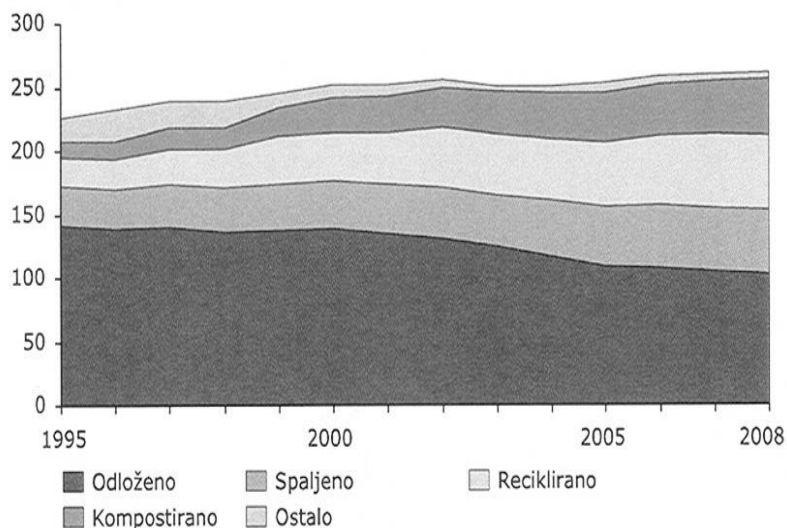
Slika 6. Ukupno nastali otpad u EU u 2006. godini [9]

Zbog različite industrijske i društveno gospodarske strukture postoje značajne razlike u stvaranju otpada, a samim time i velika različitost u gospodarenju otpadom među zemljama članicama Europske unije, čak i do 39 puta, što prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Prikaz udjela postupaka zbrinjavanja otpada i odlaganja, energetske uporabe i recikliranja u pojedinim zemljama EU u 2008. godini [4]

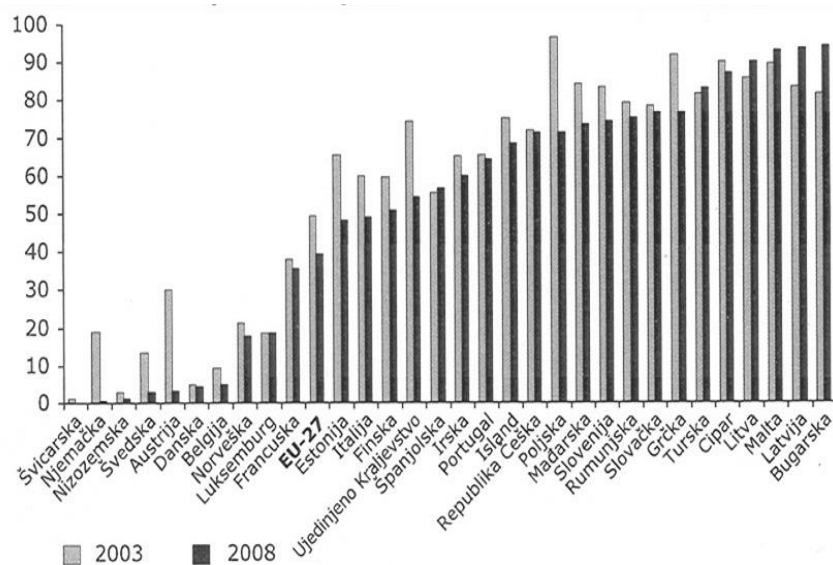
Zemlja	Odlaganje	Energetska uporaba	Reciklaža
Njemačka	1% (0,7)	32%	67%
Nizozemska	2%	34%	64%
Belgija	5%	33%	62%
Danska	5%	40%	55%
Švedska	5%	47%	48%
Austrija	10%	29%	61%
Luksemburg	19%	38%	43%
Francuska	35%	33%	32%
Španjolska	50%	7%	43%
Italija	52%	12%	36%
Finska	58%	9%	33%
UK	60%	9%	31%
Portugal	63%	22%	15%
Češka	79%	10%	11%
Mađarska	81%	8%	11%
Grčka	87%	0%	13%
Poljska	91%	0,37%	9%

Iz podataka u tablici 2 vidljivo je da visoko razvijene zemlje odlažu iznimno mali udio neobrađenog otpada (od 2 do 5 %), veći dio recikliraju (oko 60 %), a dio energetske uporabe. Nadalje, može se primijetiti da neke visoko razvijene zemlje, kao što su Danska i Švedska imaju manji postotak reciklaže, a veći udio energetske uporabe dok UK, Italija, Španjolska pa i Francuska odlažu najviše otpada (i do 60 %). Slabije razvijene zemlje EU veći dio otpada odlažu, (primjerice Poljska odlaže čak 91 %), a vrlo mali dio otpada recikliraju/spaljuju. Udio odlaganja otpada unutar EU kreće se od 0.7 % (Njemačka) do 91 % (Poljska). Najviše otpada energetske se uporabi u Švedskoj (47 %), dok se u Njemačkoj najviše otpada reciklira (67 %). Usprkos tome, polovica od 3 milijarde tona ukupno nastalog otpada 2006. godine u zemljama EU se deponira. Ostatak otpada se oporabljuje, reciklira i ponovno koristi ili spaljuje. U zemljama EU, od 1995. do 2008. godine, znatno se mijenjaju postupci zbrinjavanja komunalnog otpada što je vidljivo na slici 7. Značajniji pad odlaganja na odlagališta zabilježen je nakon 2000. godine, a sve više komunalnog otpada se oporabljuje.



Slika 7. Gospodarenje komunalnim otpadom u EU od 1995. do 2008. godine [8]

Nadalje, iz slike 7 vidljivo je da se u istom periodu povećava udio kompostiranog, recikliranog i energetski oporabljene otpada. U zemljama EU prosječno se zbrinjava oko 504 kg komunalnog otpada po osobi godišnje. Komunalni otpad zbrinjava se na različite načine: 38 % se odlaže, 20 % spaljuje, 24 % reciklira te 18 % kompostira [3].



Slika 8. Postotak komunalnog otpada odloženog na odlagališta u zemljama EU [8]

Slika 8 pokazuje postotak odlaganja neobrađenog komunalnog otpada u zemljama članicama EU u periodu od 2003. do 2008. godine. U Švicarskoj se otpad nije odlagao na odlagališta od 2008. godine, a u Njemačkoj, Nizozemskoj i Švedskoj vidljiv je izuzetno mali postotak odlaganja. Nadalje, u Švedskoj, Austriji, Danskoj i Belgiji u 2008. godini na odlagališta se odložilo svega 2 do 5 % komunalnog otpada. U Njemačkoj, Švedskoj i Austriji vidljiv je najveći postotak smanjenja odloženih količina otpada na odlagališta. Litva, Malta, Latvija i Bugarska odložile su više komunalnog otpada u 2008. godini (preko 90%), u odnosu na 2003. godinu. S druge strane, značajan pad odlaganja otpada u 2008. godini u odnosu na 2003. godinu, primijećen je u Češkoj, Poljskoj, Slovačkoj i Finskoj.

Kako je od 2013. godine Republika Hrvatska punopravna članica Europske Unije, zanimljiva je usporedba postupaka zbrinjavanja otpada s ostalim zemljama članicama. Naime, količina proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku u Republici Hrvatskoj (393 kg/stanovniku u 2009. godini) [1] još je uvijek znatno niža od prosjeka zemalja Europske unije (514 kg/stanovniku u 2009. godini). Nažalost, najčešći način zbrinjavanja otpada u RH još je uvijek odlaganje na sanirana odlagališta ili na odlagališta koja su u fazi sanacije. Od 2006. godine u Republici Hrvatskoj uspostavljaju se sustavi gospodarenja za posebne kategorije otpada (tablica 3), a odvojeno sakupljanje otpada u posljednjih nekoliko godina ojačano je uvođenjem velikog broja zakonskih propisa.

Udio miješanog komunalnog otpada u ukupno proizvedenom komunalnom otpadu u 2010. godini iznosio je 86 % dok je odvojeno sakupljeno oko 14 %.

Tablica 3. Količine skupljenih posebnih kategorija otpada u Republici Hrvatskoj [1]

Posebna kategorija	Skupljeno (t)				
	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.
Ambalažni otpad	198 225	248 144	267 944	248 411	187 631
Otpadna vozila	-	6 737	7 887	16 617	22 756
Otpadne baterije/akumulatori	-	6 484	10 737	7 180	8 290
Elektronički i elektronski otpad	-	-	5 719	13 522	17 748
Otpadna ulja	maziva	6 115	7 068	6 784	6 640
	jestiva	1 132	1 606	2 145	1 260
Otpadne gume	15 139	22 265	21 126	20 233	20 028

Uspostavom sustava za gospodarenje posebnim kategorijama otpada ostvaren je napredak u povećanju odvojeno sakupljenih količina otpada, pušteni su u rad novi kapaciteti za uporabu otpada te je smanjen pritisak na okoliš.

4. ZAKLJUČCI

Značajni čimbenici koji utječu na krajnju potrošnju društva i o kojima ovisi sastav i količina komunalnog otpada su: gospodarski razvitak neke zemlje, vrsta industrijskih djelatnosti, gustoća naseljenosti, podneblje i godišnja doba.

Sastav i količine komunalnog krutog otpada u zemljama Europske Unije znatno variraju zbog promjenjivih društvenih, gospodarskih i infrastrukturnih uvjeta, kao i zbog različite razine osviještenosti o potrebi zaštite okoliša.

Podaci iz 2009. godine pokazuju da se u zemljama EU još uvijek 38 % neobrađenog otpada odlaže, 20 % spaljuje, 24 % reciklira te 18% kompostira.

Rezultati gospodarenja krutim komunalnim otpadom u RH pokazuju da se 94 % komunalnog otpada odlaže što ukazuje na nedovoljno razvijeni sustav gospodarenja otpadom. Udio miješanog komunalnog otpada u ukupno proizvedenom otpadu u 2010. godini je 86 %, a svega 14 % se prikupi odvojeno.

Značajniji pad odlaganja komunalnog otpada na odlagališta zabilježen je nakon 2000. godine, a sve se više komunalnog otpada oporabljuje.

Iz ukupnog pregleda podataka o količini komunalnog otpada u zemljama EU, vidljivo je da visoko razvijene zemlje proizvode najviše otpada, ali i zadovoljavajuće njime gospodare budući da vrlo malo otpada odlažu, veći dio recikliraju, a dio energetski oporabljuju dok slabije razvijene zemlje veći dio otpada odlažu.

5. LITERATURA

- [1] Agencija za zaštitu okoliša, (2012). Odabrani pokazatelji stanja okoliša u Republici Hrvatskoj 2011, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb. Dostupno na: <http://www.azo.hr/lgs.axd?t=16&id=4215> (19. siječnja 2012.)
- [2] Domanovac T., Orašanić R.: Sastav komunalnog otpada kontinentalnog i priobalnog dijela Republike Hrvatske, Zbornik radova, VII Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom, Zagreb, 2002.
- [3] Eurostat Commission – STAT/11/37, (2009). Recycling accounted for a quarter of total municipal waste treated in 2009. Dostupno na: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-08032011-AP/EN/8-08032011-AP-EN.PDF (03. lipnja 2012.)
- [4] Milanović Z., Novosel M., Hojnik Vukojević A., Pehnek M.: Odlagalište komunalnog otpada: grobnica sirovina i energije opasna za okoliš i zdravlje ljudi, Zbornik radova, XI Međunarodni simpozij gospodarenje otpadom, Zagreb, 2010.
- [5] Narodne novine, (2005). Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske, Narodne novine, 130. Dostupno na: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/289920.html> (02. veljače 2012.)
- [6] Narodne novine, (2007). Plan Gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007-2015. Narodne novine, 85 (2007), 126 (2010), 31 (2011). Dostupno na: <http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/299087.html> (20. siječnja 2012.)
- [7] Preda, C. (2007). Management of municipal solid waste in Europe, Council of Europe <http://assembly.coe.int/Documents/WorkingDocs/Doc07/EDOC11173.pdf> (06.02.2012.)
- [8] The European Environment Agency, (2010). Europsko izvješće o okolišu-stanje i izgledi 2010. EEA, Copenhagen. Dostupno na: <http://www.azo.hr/Europskolzvjesce> (10. siječnja 2012.)
- [9] The European Environment Agency, (2012). Material resources and waste, State and outlook 2010. EEA, Copenhagen. Dostupno na: www.eea.europa.eu/soer/europe/material-resources-and-waste (15. veljače 2012.)
- [10] Zimmerman J.B., Mihelcic J.R.: Environmental Engineering: fundamentals, sustainability, design. John Wiley & Sons, Hoboken, 2009 (576-626)

GOSPODARENJE MATERIJALOM OD ISKOPA

MANAGEMENT OF EXCAVATED MATERIAL

Dražen Lovrić dipl. ing.^{1*}, univ. spec. oecoling.; mr. sc. Kažimir Vrankić¹

¹ Hrvatska elektroprivreda d.d., Ulica grada Vukovara 37, Zagreb

*e-mail kontakt: drazen.lovric@hep.hr

SAŽETAK

U još uvijek važećoj Strategiji gospodarenja otpadom (NN, br. 130/05), u dijelu koji obrađuje postojeće stanje, vezano uz građevinski otpad i otpad od rušenja navodi se da gotovo polovica građevinskog otpada završi na odlagalištima otpada, što višestruko povećava troškove sanacije, zauzima korisni volumen odlagališta i nove površine te povećava potrebu za korištenjem novih prirodnih mineralnih materijala. Iako se ponovno može reciklirati više od 80% građevinskog otpada, postotak oporabe građevinskog otpada u RH još uvijek je nedovoljan. Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN, br. 94/13), Republika Hrvatska obvezala se do 1. siječnja 2020. godine osigurati pripremu za ponovnu uporabu, recikliranje i druge načine materijalne oporabe neopasnog građevinskog otpada, u minimalnom udjelu od 70% mase otpada. Iako je Pravilnik o gospodarenju građevnim otpadom (NN, br. 38/08) donesen pred više od 6 godina, još uvijek je nedostatna infrastruktura za recikliranje građevinskog otpada.

Uvažavajući pozitivne zakonske odredbe o potrebi recikliranja građevinskog otpada i stvarnog stanja na terenu, analizirane su mogućnosti ponovne uporabe materijala od iskopa planirane HE Dubrovnik II na području Općine Župa Dubrovačka. Procijenjeno je da će prilikom gradnje HE Dubrovnik II nastati višak od oko 750.000 m³ materijala, od čega će oko 150.000 m³ materijala nastati na području Republike Hrvatske. U svrhu pronalaska okolišno najprihvatljivijeg načina ponovnog korištenja ovog materijala, analizirano je nekoliko mogućnosti s analizom prednosti i nedostataka svakog od predloženih postupaka, uvažavajući specifična prostorna i infrastrukturna ograničenja. Slijedom provedenih razmatranja predloženo je ponovno korištenja iskopanog materijala u neposrednoj blizini lokacije zahvata.

Ključne riječi: materijal od iskopa, građevni otpad, recikliranje

ABSTRACT

According the Croatian Waste Management Strategy (OG 130/05) nearly half of construction waste is being deposited every year what multiplies the cost of remediation and increase the need for new mineral materials. Although more than 80% of construction waste can be recycled, the ratio of recovery of construction waste in Croatia is still insufficient. Through the provisions of Law on Sustainable Waste Management (OG 94/13), Croatia has committed to provide reuse, recycling and other ways of material recovery of non-hazardous construction waste. Although the By-law on management of construction waste (OG 38/08) was adopted before 6 years, there is still lack of infrastructure for recycling of construction waste.

Taking into account law regulation on management of construction waste, paper considers and analyzes possibilities of reuse and recycling of excavated materials

from construction of Dubrovnik II hydropower. It is estimated that during the construction of Dubrovnik II hydropower there will be a surplus of about 750.000 m³ of material, of which about 150.000 m³ will be formed on the Croatian territory. In the aim of finding environmentally friendly ways, paper analyzes several options of reusing the material. Analysis has taken into account advantages and disadvantages of each of the proposed methods considering the specific spatial and infrastructure limitations. Based on performed analysis, authors have suggested reuse of excavated material in the vicinity of the project location.

Keywords: *excavated material, construction waste, recycling*

1. UVOD

Izgradnja ili rekonstrukcija prometnica, stambenih, infrastrukturnih, energetskih ili drugih proizvodnih objekata, u manjoj ili većoj mjeri, uključuje i iskop materijala. Ukoliko iskopani materijal nije moguće razdvojiti po frakcijama i ugraditi u građevinu koja se gradi, izvođači građevinskih radova se suočavaju s problemom budući još uvijek nisu određene lokacije za odlaganje viška materijala. Česta je bila praksa da se materijal od iskopa ostavlja u neposrednoj blizini zahvata, na brigu i skrb nekom drugom koji bi taj materijal trebao zbrinuti. Također, učestala je praksa da se materijal od iskopa, odlukom vlasnika proglašavao otpadom te odlagao na odlagalištima neopasnog otpada čime se gubio potencijal uporabe materijala i nepotrebno zauzima ograničeni prostor na odlagalištima.

Materijal od iskopa je komponenta s najvećim udjelom u ukupnoj količini građevinskog otpada. Prosječni sastav građevinskog otpada utvrđen je Strategijom gospodarenja otpadom (NN, br. 130/05), kada je procijenjeno da čak 75% građevinskog otpada potječe od iskopa. U Strategiji je procijenjena godišnja količina građevinskog i otpada od rušenja u iznosu od oko 2.600.000 t/godišnje.

Zbog drastičnog smanjenja građevinskih radova i gospodarske krize, stvarne količine otpada su manje od onih procijenjenih za vrijeme izrade Strategije. Tako je analizom zadnje dostupnih podataka iz Registra onečišćivača okoliša (Izvešće o podacima iz registra onečišćavanja okoliša, AZO, 2012. g.), utvrđeno je da je 2012.g. proizvedeno 326.356 t građevinskog otpada, odnosno oko 24% od ukupne količine proizvodnog otpada.(1) Od toga je 317.311 t, odnosno 97%, neopasnog građevinskog otpada, a ostatak je opasni građevinski otpad. Analizirajući vrste i količine proizvedenog građevinskog otpada (Tablica 1), utvrđeno je da je proizvedeno nešto manje od 90.000 t otpada koje potječe iz iskopa, odnosno iz podgrupe Kataloga otpada 17 05 (zemlja, kamenje i iskop od rada bagera).

Tablica 1. Količine prijavljenog građevinskog otpada iz podgrupe 17 05 (prijavljene u Registar onečišćivača okoliša 2012.g.)

Ključni broj	Naziv	Količina (t)	Udio (%)
17 05 03*	zemlja i kamenje koji sadrže opasne tvari	1.989	2,2
17 05 04	zemlja i kamenje koji nisu navedeni pod 17 05 03	68.089	75,9
17 05 05*	iskopana zemlja od rada bagera koja sadrži opasne tvari	528	0,6
17 05 06	iskopana zemlja koja nije navedena pod 17 05 05	19.109	21,3
UKUPNO:		89.715	100

Izvor: Izvešće o podacima iz registra onečišćavanja okoliša za 2012. g., AZO.

Od ukupno proizvedene količine građevinskog otpada oporabljeno je 121.333 t, odnosno oko 37%. Za pretpostaviti je da se, osim količina građevinskog otpada koje se prijavljuju u registar onečišćivača okoliša, značajan dio građevinskog otpada i materijala od iskopa odlaže na neuređene površine i divlja odlagališta otpada. Navedenu tezu potvrđuje činjenica da je upravo građevinski otpad najčešća i najzastupljenija vrsta otpada na divljim odlagalištima. Postotak uporabe građevinskog otpada je, zbog nedovoljne primarne selekcije i nedostatka postrojenja za obradu građevnog otpada, još uvijek nizak i daleko ispod postotka predviđenog Strategijom gospodarenja otpadom (NN, br. 130/05). Naime Strategijom gospodarenja otpadom (NN, br. 130/05) planirao se uvesti sustav uporabe svih vrsta građevinskog otpada do 80% ukupnih količina do kraja 2015.g. Vrlo je vjerojatno da se ovaj cilj neće ostvariti do kraja 2015.g.

2. RAZRADA TEME

U radu je analiziran zakonodavni okvir o postupanju s materijalom od iskopa te je slijedom zakonskih odredbi i prostornih ograničenja analizirana mogućnost postupanja na konkretnom zahvatu koji je predmet budućih upravnih postupaka - izgradnja hidroelektrane Dubrovnik II.

2.1. Opis planiranog zahvata HE Dubrovnik II

Investitor Hrvatska elektroprivreda analizira mogućnost izgradnje druge faze postojeće hidroelektrane (HE) Dubrovnik sadašnje instalirane snage 216 MW i srednje godišnje proizvodnje oko 1.300 GWh.(2) Osnovna zamisao projekta II faze HE Dubrovnik je da se instalirani protok HE Dubrovnik s današnjih 90 m³/s poveća na 210 m³/s, instalirana snaga poveća na 520 MW, a prosječna godišnja proizvodnja poveća na oko 1.600 GWh. Na taj način bolje bi se iskoristile postojeće vode rijeke Trebišnjice i pritoka koje se povremeno prelijevaju. Time bi HE Dubrovnik postala vršno energetska postrojenje. Da bi se ostvarila planirana nova proizvodnja i promijenio režim rada potrebno je izgraditi novi dovodni tunel, vodnu komoru, zatvaračnice tlačnih cjevovoda, dva tlačna cjevovoda, u postojeću strojarnicu ugraditi dvije proizvodne grupe instaliranog protoka 60 m³/s svaka te izgraditi novi odvodni tunel. Osim povećanja proizvodnje električne energije poboljšava se i njena kvaliteta. Naime sa sadašnjeg udjela vršne energije od oko 6 % ugradnjom nova dva bloka u HE Dubrovnik on se penje na oko 36%.

Za potrebe izgradnje HE Dubrovnik II planira se izgraditi, odnosno iskopati, novi dovodni tunel koji se predviđa izvesti usporedno s postojećim na razmaku od 45,0 m. Tunel je predviđen kružnog presjeka, unutrašnjeg promjera 6,8 m i protočnog kapaciteta od 120 m³/s. Tunel će na dijelu koji prolazi kroz Mokro polje, u dužini od 1.165 m, biti izveden kao poluukopani armirano betonski cjevovod promjera 6,2 m. Ukupna dužina dovodnog tunela uključujući cjevovod iznosi 16.570 m. Procjenjuje se da će, samo zbog iskopa dovodnog tunela, biti iskopano oko 670.000 m³ materijala, a zbog lokaliteta i tehnologije građenja dio materijala će se zbrinuti na području BiH a dio na prostoru RH. Obzirom da je tema ovog rada analiza mogućnosti postupanja s materijalom od iskopa uvažavajući važeće zakonodavstvo RH, nije napravljena detaljnija materijalna bilanca materijala od iskopa već je pretpostavljeno da će se najmanje polovica materijala od iskopa dovodnog tunela zbrinuti u RH.

Hidroelektrana Dubrovnik nalazi se na području Općine Župa dubrovačka u mjestu Plat. Svi postojeći i planirani objekti HE Dubrovnik smješteni su u podzemlju, dok se neposredno uz pristupni tunel do strojarnice nalaze prateći objekti vezani uz smještaj i rad zaposlenika HE Dubrovnik. Iz slike okruženja u nastavku, vidljive su karakteristike prostora na kojem se nalazi strojarnica HE Dubrovnik. Riječ je o iznimno uskom području između mora i brdskog masiva, a na kojem je granica s BiH udaljena tek nešto više od 1 km. Jedina prometnica koja prolazi ovim

područjem i povezuje Grad Dubrovnik s Zračnom lukom Dubrovnik je jadranska magistrala (D-8). Riječ je o iznimno važnoj prometnici, jedinjoj koja povezuje sjevero-zapadne i jugo-istočne dijelove Dubrovačko-neretvanske županije, s velikom gustoćom prometa i bez alternativnog pravca.



Slika 1. Prikaz područja neposredno uz izlaznu građevinu HE Dubrovnik II

Izvor: Google Earth

2.2. Zakonodavni okvir

U nastavku je dan kratak pregled zakonodavnog okvira važnog za postupanje s materijalom nastalim prilikom izvođenja iskopa.

2.2.1. Zakon o rudarstvu

Zakonom o rudarstvu (NN, br. 56/13 i 14/14) regulira se područje istraživanja i eksploatacije mineralnih sirovina. Mineralnim sirovinama smatraju se:

- energetske mineralne sirovine (ugljikovodici i fosilne gorive tvari);
- mineralne sirovine za industrijsku preradbu;
- mineralne sirovine za proizvodnju građevnog materijala;
- arhitektonsko-građevni kamen;
- mineralne sirovine kovina.

Gospodarenje mineralnim sirovinama utvrđuje se i planira Strategijom gospodarenja mineralnim sirovinama. U smislu postupanja s mineralnim sirovinama prilikom građenja građevina Zakon o rudarstvu (NN, br. 56/13 i 14/14) obvezuje investitora da višak iskopa koji se ne ugrađuje u obuhvat te građevine, a sadrži mineralnu sirovinu, stavi na raspolaganje Republici Hrvatskoj kao vlasniku. O nastalim količinama mineralne sirovine mora se trajno voditi evidencija, te kontrola i to od preuzimanja pa do krajnjeg raspolaganja (prodaja, ugrađivanje u obuhvat neke druge građevine itd.). Postupak, način utvrđivanja i prodaje, odnosno raspolaganja u druge svrhe mineralnim sirovinama propisano je Pravilnikom o postupanju s viškom iskopa koji predstavlja mineralnu sirovinu kod izvođenja građevinskih radova (NN, br. 79/14).

2.2.2. *Pravilnik o postupanju s viškom iskopa koji predstavlja mineralnu sirovinu kod izvođenja građevinskih radova*

Pravilnikom o postupanju s viškom iskopa koji predstavlja mineralnu sirovinu kod izvođenja građevinskih radova (NN, br. 79/14) određuje se postupak, način utvrđivanja i prodaje, odnosno raspolaganja u druge svrhe mineralnim sirovinama iz viška iskopa nastalog prilikom građenja građevina. Pod pojmom višak iskopa podrazumijeva se materijal iz iskopa nastao prilikom građenja građevina, koji se prema projektnoj dokumentaciji ne ugrađuje u obuhvatu te građevine, a koji sukladno Zakonu o rudarstvu (NN, br. 56/13 i 14/14) predstavlja mineralnu sirovinu.

Jedinice područne samouprave dužne su do siječnja 2015.g., uz suglasnost jedinica lokalne samouprave, odrediti lokacije za odlaganje viška iskopa. U slučaju da jedinice područne samouprave u navedenom roku ne odrede lokacije za odlaganje viška iskopa, to su dužne učiniti jedinice lokalne samouprave u roku od daljnja 3 mjeseca. U slučaju da jedinice lokalne samouprave ne odrede lokacije, isto će se odrediti odlukom Vlade Republike Hrvatske na prijedlog Nadležnog tijela za upravljanje državnom imovinom i uz suglasnost ministarstva nadležnog za prostorno uređenje.

Sukladno Pravilniku, Investitori građevina za koje je propisima o gradnji određena obvezna kontrola glavnog projekta glede mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcija i temeljnog tla dužni su u roku od 8 dana prije početka radova obavijestiti Nadležno tijelo za upravljanje državnom imovinom, rudarsku inspekciju, jedinicu područne (regionalne) samouprave i jedinicu lokalne samouprave o višku iskopa koji sadrži mineralnu sirovinu koji će preostati prilikom gradnje, a sukladno glavnom projektu građenja i troškovniku. Uz obavijest, Investitor građenja građevina koje se grade sukladno propisima o gradnji, dužan je uz obavijest o višku iskopa, dostaviti Nadležnom tijelu i rudarskoj inspekciji i sljedeće:

- preslik akta na temelju kojeg se gradi građevina;
- izvedbeni projekt prema kojem se obavlja iskop;
- dokaze o količini i kakvoći mineralne sirovine u skladu s hrvatskim normama i standardima;
- ponudu za otkup i cijenu ukoliko je investitor zainteresiran za otkup viška iskopa.

Republika Hrvatska putem Nadležnog tijela za upravljanje državnom imovinom u roku od 30 dana od primitka obavijesti može, o postupanju s viškom iskopa, donijeti jednu od slijedećih odluka:

- iskazati namjeru o raspolaganju s mineralnim sirovinama te Investitoru naložiti da ih preveze na mjesto odlaganja viška iskopa;
- odrediti da se mineralna sirovina iz viška iskopa ugradi u objekte od državnog interesa i druge objekte od javnog interesa, bez provođenja javnog natječaja;
- odlučiti prodati mineralnu sirovinu iz viška iskopa Investitoru neposrednom pogodbom; provesti postupak javnog natječaja za prodaju viška iskopa;
- odlučiti da neće raspolagati s mineralnim sirovinama stavljenim joj na raspolaganje, u kojem slučaju mineralnim sirovinama ima pravo raspolagati jedinica lokalne samouprave.

Do određivanja lokacija za odlaganje viška iskopa, a u slučaju primitka obavijesti o višku iskopa koji sadrži mineralnu sirovinu, jedinice područne samouprave dužne su u roku od 15 dana od dana zaprimanja obavijesti odrediti lokaciju za odlaganje.

2.2.3. *Zakon o održivom gospodarenju otpadom*

Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN, br. 94/13) utvrđuju se mjere za sprječavanje ili smanjenje štetnog djelovanja otpada na ljudsko zdravlje i okoliš na način smanjenja količina otpada u nastanku i/ili proizvodnji te se uređuje gospodarenje otpadom bez uporabe rizičnih postupaka po ljudsko zdravlje i okoliš, uz korištenje vrijednih svojstava otpada. Između ostalog, u članku 3. navodi se da se Zakon ne primjenjuje na:

- zemlju/tlo (in situ) uključujući neiskopano onečišćeno tlo i građevine trajno povezane sa zemljištem;
- neonečišćeno tlo i druge materijale iz prirode iskopane tijekom građevinskih aktivnosti ukoliko je nedvojbeno da će se taj materijal za građevinske svrhe koristiti u svojem prirodnom obliku na gradilištu s kojeg je iskopan te na višak iskopa koji sukladno zakonu kojim se uređuje rudarstvo predstavlja mineralnu sirovinu.

Također, Zakon daje definiciju otpada kao svake tvari ili predmeta koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. U svrhu sprječavanja nastanka otpada primjenjuje se slijedeći red prvenstva gospodarenja otpadom:

1. Sprječavanje nastanka otpada
2. Priprema za ponovnu uporabu
3. Recikliranje otpada
4. Drugi postupci uporabe
5. Zbrinjavanje otpada

Zakonom se utvrđuju da se, između ostalih vrsta otpada, građevni otpad smatra posebnom kategorijom otpada. Otpad koji je određen posebnom kategorijom otpada mora se odvajati na mjestu nastanka, odvojeno sakupljati i skladištiti u skladu s načinom propisanim propisom kojim se uređuje gospodarenje posebnom kategorijom otpada. Do 1. siječnja 2020. godine RH se obvezala osigurati pripremu za ponovnu uporabu, recikliranje i druge načine materijalne uporabe, uključujući postupke zatrpavanja i nasipavanja, u kojima se otpad koristi kao zamjena za druge materijale, neopasnog građevnog otpada, isključujući materijal iz prirode utvrđen ključnim brojem 17 05 04 – zemlja i kamenje koji nisu navedeni pod 17 05 03, u minimalnom udjelu od 70% mase otpada.

Vežano za postupanje s građevnim otpadom, Zakon propisuje slijedeće:

- osoba koja odlaže građevni otpad dužna je plaćati naknadu za odlaganje građevnog otpada;
- osnovica za obračun naknade za odlaganje građevnog otpada je masa odloženog građevnog otpada;
- naknada za odlaganje građevnog otpada uplaćuje se u korist Fonda radi sufinanciranja izgradnje reciklažnih dvorišta za građevni otpad i troškova sustava gospodarenja građevnim otpadom koji sadrži azbest.

2.2.4. *Strategija gospodarenja otpadom*

Strategijom gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN, br. 130/05) uspostavljen je okvir unutar kojeg se planira smanjiti količina proizvedenog otpada, a s nastalim otpadom održivo gospodariti. Vežano za postupanje s građevinskim otpadom, Strategija navodi slijedeće smjernice:

- educirati i informirati sve sudionike u procesu gospodarenja građevinskim otpadom;
- sprečavati nekontrolirano odlaganje građevinskog otpada na komunalnim odlagalištima i drugdje;

- potpuno kontrolirati tokove građevinskog otpada od mjesta nastanka do konačnog rješavanja, uz unapređivanje informacijskog sustava;
- uvoditi sustave oporabe svih vrsta građevinskog otpada do 80% ukupnih količina;
- poticati uporabu građevinskog materijala prihvatljivoga za okoliš;
- provedbenim propisom urediti gospodarenje građevinskim otpadom;
- na županijskoj razini pregledati sva odlagališta na kojima se odlaže građevinski otpad; na temelju analiza podataka o svim odlagalištima, odlagališta koristiti za inertni građevinski otpad, a druga sanirati i zatvoriti;
- osigurati da se maksimalne količine građevinskog otpada oporabe i/ili recikliraju kao novi građevinski materijal koji je ravnopravan s drugim građevinskim materijalom;
- unapređivati sustav odvojenog skupljanja i recikliranja pojedinih vrsta građevinskog otpada i uspostaviti centre za oporabu i zbrinjavanje građevinskog otpada.

2.2.5. *Pravilnik o gospodarenju građevnim otpadom*

Pravilnikom o gospodarenju građevnim otpadom (NN, br. 38/08) utvrđuje se način gospodarenja građevnim otpadom, a odredbe Pravilnika se ne primjenjuje na iskope kojima se gospodari prema posebnim propisima koji uređuju gospodarenje mineralnim sirovinama.

Građevni otpad ne smije se odložiti na mjestu nastanka kao niti na lokacijama koje nisu za to predviđene. Posjednik građevnog otpada dužan je osigurati uvjete za odvojeno skupljanje i privremeno skladištenje građevnog otpada te snosi sve troškove gospodarenja građevnim otpadom. Odlaganje građevnog otpada može se obavljati samo u slučajevima kada ga nije moguće materijalno i/ili energetski oporabiti i ponovno uporabiti u uređajima za materijalnu i/ili energetsku oporabu otpada.

Sve Županije i Grad Zagreb bile su dužne u roku od 6 mjeseci od dana stupanja na snagu Pravilnika odrediti lokacije za gospodarenje građevnim otpadom na svojem području.

2.3. **Mogućnosti postupanja s iskopenim materijalom**

Pri razmatranju o mogućnostima postupanja s materijalom od iskopa, potrebno je u obzir uzeti slijedeće postavke:

- datuma početka izgradnje HE Dubrovnik II nije poznat, već ovisi o nizu upravnih postupaka i međudržavnim dogovorima koji prethode početku radova;
- iskop materijala trajat će, zbog duljine tunela, oko 3 godine, ovisno o odabranoj tehnologiji iskopa i dinamici izvedbe radova;
- uz pretpostavku da će se radovi izvoditi 3 godine te da će se polovica materijala iz dovodnog tunela zbrinuti na području RH, svaki dan će biti minimalno 30-tak kamionskih odvoza materijala;
- utjecaj na državnu prometnicu D-8 (Jadranska turistička cesta) ne smije biti značajan, odnosno promet se ne smije usporiti ili otežati, jer na ovom području nema alternativnih prometnica;
- najbliži kamenolom koji bi mogao koristiti materijal od iskopa iskoristiti za sanaciju nalazi se u Dubcu, a udaljen je oko 7,5 km zračne linije;
- najbliži objekt koji ima potrebu za ovim materijalom je Zračna luka Dubrovnik na kojoj je u tijeku izrada projektne dokumentacije za izgradnju nove poletno-uzletne piste, čija je udaljenost oko 4,5 km zračne linije;
- neovisno o činjenici da se višak materijala od iskopa koji sadrži mineralnu sirovinu, sukladno Zakonu o rudarstvu (NN, br. 56/13 i 14/14) i Pravilniku o postupanju s viškom iskopa koji predstavlja mineralnu sirovinu kod izvođenja građevinskih radova (NN, br.

79/14) mora staviti na raspolaganje Republici Hrvatskoj kao vlasniku, potrebno je pronaći najbolje okolišno rješenje od koje će korist prvenstveno imati lokalna zajednica.

Autori su, uvažavajući infrastrukturno-prostorna ograničenja šireg područja predložili slijedeće mogućnosti/opcije iskorištavanja materijala od iskopa:

1. Ugradnja materijala u kamenolom u Dubcu za potrebe sanacije eksploatiranih površina.
2. Ugradnja materijala za potrebe nove uzletno-sletne piste u Zračnoj luci Dubrovnik.
3. Ugradnja materijala za potrebe sanacije odlagališta Grabovica koje će biti u funkciji do izgradnje Županijskog Centra za gospodarenje otpadom.
4. Ugradnja materijala za potrebe izgradnje poduzetničke zone na području Općine Župa dubrovačka i/ili Općine Konavle.
5. Korištenje materijala za potrebe uređenja šetnica i izgradnje marina, pristaništa, lukobrana i sl.
6. Korištenje materijala na aktivnim odlagalištima neopasnog otpada za potrebe dnevnog prekrivanja odloženog komunalnog otpada u svrhu smanjivanja širenja neugodnih mirisa.
7. Ugradnja materijala za potrebe izgradnje županijskog centra za gospodarenje otpadom.
8. Korištenje materijala za potrebe cestogradnje i izgradnje parkirališta.
9. Korištenje materijala u svrhu izrade "kocki" fiksnih dimenzija za potrebe nasipa, potpornih zidova, burobrana i sl.

Neovisno o odabranom rješenju, za implementaciju bilo kojeg od predloženih rješenja, biti će potrebno uskladiti interese Investitora, lokalne i područne samouprave te građana. Ključni parametri koji uvjetuju odabir najpovoljnije mogućnosti su:

- a. potreba koordiniranja/usklađivanja između različitih zahvata i različitih Investitora;
- b. prostorna udaljenost do mjesta iskorištavanja materijala;
- c. utjecaji odabrane opcije na okoliš
- d. utjecaji odabrane opcije na stanovništvo;
- e. utjecaji odabrane opcije na prometnice;

Slijedom navedenih parametara, u nastavku je dana usporedna analiza provedbe pojedinih opcija. Ocjene u Tablici su dane u rasponu od 0 do 2, gdje ocjena 2 znači da je opcija usklađena, tj. sukladna s parametrom, ocjena 1 znači da je opcija neutralna obzirom na parametar, a ocjena 0 znači da opcija nije usklađena s parametrom odnosno da ima negativni utjecaj obzirom na parametar.

Tablica 2. Analiza predloženih opcija postupanja s materijalom od iskopa

Parametri	Opcije postupanja s materijalom od iskopa								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a) međusobno koordiniranje	2	0	0	1	0	1	0	0	1
b) prostorna udaljenost	1	1	0	2	0	0	0	0	0
c) utjecaj na okoliš	2	2	2	2	1	2	2	2	1
d) utjecaj na stanovništvo	1	2	1	2	1	1	1	1	1
e) utjecaj na prometnice	1	1	0	1	0	0	0	0	0
UKUPNO:	7	6	3	8	2	4	3	3	3

IZVOR: vlastiti rad autora

Temeljem provedene analize, kao okolišno najprihvatljivije opcije iskorištavanja materijala iz iskopa dovodnog tunela do strojarnice HE Dubrovnik II, autori najboljima smatraju slijedeće tri opcije: korištenje materijala za izgradnju poduzetničke zone, ugradnja u kamenolomu u Dubcu te ugradnja u proširenje Zračne luke Dubrovnik. Za pretpostaviti je da će se, zbog velike količine materijala iz iskopa, trebati primijeniti više opcija. Ovisno o potrebama gospodarstva na području Dubrovačko-neretvanske županije, moguća su i nova rješenja za korištenjem materijala iz iskopa dovodnog tunela. Preduvjet za daljnja razmatranja i razradu predloženih opcija je odluka Investitora o provedbi svih aktivnosti sve do početka gradnje HE Dubrovnik II.

3. ZAKLJUČAK

U radu je analizirana zakonska regulativa relevantna za postupanje s materijalom iz iskopa te je slijedom njih provedena analiza mogućnosti postupanja s materijalom iz iskopa na konkretnom primjeru. Pozitivnim zakonskim propisima Republike Hrvatske obvezuju se investitori da sav višak iz iskopa, a koji se smatra mineralnom sirovinom, stavi državi na raspolaganje. Jedinice područne samouprave dužne su do siječnja 2015.g., uz suglasnost jedinica lokalne samouprave, odrediti lokacije za odlaganje viška iskopa. Svrha ovih zakonodavnih rješenja je pronalazak mogućnosti ponovnog korištenja materijala, odnosno izbjegavanje klasificiranja ovog materijala kao otpadnog, tj. primjene zakonske regulative iz područja gospodarenja otpadom. Niz je primjera, prvenstveno od izgradnje cestovne infrastrukture, kada se materijal od iskopa odlagao u okolišu te potom sanirao tj. uklanjao uz pomoć sredstava Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost. U svrhu pronalaska rješenja prihvatljivog za Investitora, lokalne i područne samouprave i stanovnika šireg područja, provedena je analiza mogućnosti postupanja s materijalom od iskopa dovodnog tunela do strojarnice HE Dubrovnik II. Prema autorima, najprihvatljivije opcije iskorištavanja materijala su: korištenje materijala za izgradnju poduzetničke zone, ugradnja u kamenolomu u Dubcu te ugradnja u proširenje Zračne luke Dubrovnik. Nakon provedbe neophodnih upravnih postupaka koje prethode gradnji i odabira tehnologije gradnje, potrebno je ponovno provesti analizu postupanja s materijalom od iskopa dovodnog tunela do strojarnice HE Dubrovnik II.

4. REFERENCE

- [1] Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o podacima iz Registra onečišćavanja okoliša za 2012. g., Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 2013.
- [2] Elektroprojekt d.d., Elaborat prethodne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu HE Dubrovnik II faza, Elektroprojekt d.d., Zagreb, 2012.

ISKUSTVA U PRIMJENI IED (IPPC) DIREKTIVE U HRVATSKOJ NA POSTROJENJIMA ZA OBRADU OTPADA

THE LAST EXPERIENCES IN IMPLEMENTATION OF IED (IPPC) DIRECTIVE IN CROATIA ON EXAMPLES OF WASTE TREATMENT INDUSTRIES

mr. sc. Siniša Štambuk^{1*}, dr. sc. Damir Rumenjak¹

¹Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Radnička cesta 80, Zagreb

*e-mail kontakt: sinis.stambuk@mzoip.hr

SAŽETAK

Promjenom propisa kojima se implementira IED (IPPC) direktiva, Zakonom o zaštiti okoliša i uredba o okolišnoj dozvoli, stvoren je novi administrativno - tehnički okvir za izdavanje okolišnih dozvola za sva postrojenja koja imaju takvu obavezu. Primjena novih propisa predstavlja izazov za sve sudionike u postupku: operatere, ovlaštenike, nadležna tijela za sastavnice okoliša i zainteresiranu javnost, zbog potrebe prihvaćanja novih pravila u složenom postupku, kakav postupak izdavanja okolišne dozvole jeste, ali još uvijek i nedovoljnog razumijevanja što se zapravo njime želi postići.

Na primjerima izdavanja okolišnih dozvola za postrojenja za obradu otpada, pokazuje se kako postupak izdavanja okolišne dozvole teče, s kritičkim osvrtom na dijelove postupka u kojima još postoje znatne slabosti.

Ključne riječi: IED (IPPC) direktiva, najbolje raspoložive tehnike (NRT), postupak izdavanja okolišne dozvole, obrada otpada

ABSTRACT

By changes in legislation in Croatia for implementation of IED (IPPC) directive: Act on environmental protection and Ordinance on environmental permitting, new administrative and technical frame of procedure is founded for installations with such obligations. The implementation of new legislation is a challenge for all stakeholders in procedure: operators, authorized legal persons, authorities and interested public, because of necessity of adopting new rules in complex procedures, as IPPC permitting is, but not less because of still present lack of understanding what the IPPC permits should be.

Using examples from waste treatments industries, it will be shown how the procedure is going on, stressing the critical points where the weaknesses exist.

Key words: IED (IPPC) directive, best available techniques (BAT), integrated permitting, waste treatment industries

1. UVOD

Nova zakonska rješenja, Zakon o zaštiti okoliša (NN 80/13) i Uredba o okolišnoj dozvoli (NN 8/14), stvorila su potpuni provedbeni okvir za implementaciju Direktive o industrijskim emisijama 2010/75/EU (IED), među kojima je najvažnija dio koji se tiče postrojenja prema članku 10. Direktive za koje je obvezna okolišna dozvola (IPPC dozvola), tj. integrirana okolišna

dozvola. Postupci prema novoj direktivi započeli su efektivno nakon stupanja na snagu Zakona o zaštiti okoliša (NN 80/13), početkom srpnja 2013., ali još uz prilagođenu primjenu Uredbe o postupku utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša.

Jedno od najvećih postignuća novog Zakona je osiguranje autonomnosti postupka, posebice od postupaka iz područja građenja, kojima je do tada, zakonski bila podređena. Nakon stupanja na snagu nove Uredbe o okolišnoj dozvoli (NN 8/14), u siječnju 2014., implementacija IED je znatno olakšana, jer su sve situacije koje mogu nastupiti u tako složenom postupku kao što je izdavanje integrirane (cjelovite) okolišne dozvole, zakonski definirane barem do dubine koju traži Direktiva o industrijskim emisijama. Također, u Uredbu je ugrađena već znatna količina pozitivne administrativne prakse iz prethodno vođenih postupaka utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša temeljenih na IPPC direktivi.

Od stupanja na snagu Zakona o zaštiti okoliša, srpanj 2013., u postupku dobivanja okolišne dozvole je velik broj postojećih postrojenja- obveznika, od kojih je znatan broj postrojenja koja industrijski obrađuju otpad te se već može relevantno govoriti o praksi izdavanja dozvola koja se u tim postupcima primjenjuje. Zbog toga se ovaj rad bavi stečenim iskustvima u postupcima, a ciljano na postrojenja za obradu otpada (oporaba i zbrinjavanje).

2. CJELINE POSTUPKA OKOLIŠNE DOZVOLE

Postupak dobivanja (izdavanja) okolišne dozvole može se podijeliti na nekoliko cjelina, o kojima se može govoriti temeljem do sada stečenih iskustava. To su: dionici u postupku- operatere, ovlaštenike, nadležna tijela za sastavnice okoliša i zainteresirana javnost te naravno, Ministarstvo zaštite okoliša, administrativni dio postupka s obveznim (provedbenim) radnjama u postupku te, na koncu, upravni akt-rješenje o okolišnoj dozvoli kojim se propisuju obvezujući uvjeti okolišne dozvole. O svakoj od ovih cjelina i dijelova cjeline govorit će se temeljem stečenih iskustava u primjeni.

2.1. Dionici u postupku-ovlaštenici

Ovlaštenici (ili pravne osobe za obavljanje stručnih poslova zaštite okoliša u ranijim propisima) su relativno stara institucija u zaštiti okoliša u Hrvatskoj (Uredba o uvjetima za ovlaštenike iz 1997.), razvijena prije svega za postupak procjene utjecaja na okoliš, a onda k tome i za ostale instrumente zaštite okoliša. Temeljem takve tradicije može se reći da je izgrađen sustav obavljanja stručnih poslova zaštite okoliša, čija bi zamjena s nečim drugim bila preskupa i presložena. Taj je sustav 2007. primijenjen i na okolišnu dozvolu prema IPPC direktivi (tada objedinjene uvjete zaštite okoliša), kada je uvedena u zakon. Ovlaštenike se je u praksi tretiralo kao udruživanje eksperata, koji samostalno rade svoj posao, bez potrebe da se ulazi u organizacijske zahtjeve takvog udruživanja. Međutim, kako je praksa već u procjeni utjecaja pokazala, to nije bila dobra podloga za kvalitetu izrađene dokumentacije, ali i ispunjavanje i ostalih zadaća koja se od ovlaštenika mogu tražiti u postupcima.

Pitanje ovlaštenika za obavljanje stručnih poslova zaštite okoliša u Hrvatskoj sustavno je i analitički razrađivano, kao važno pitanje u okviru opće politike zaštite okoliša, s obzirom na instrumente provedbe, tek u [1] i [2]. Rasprava o ulozi ovlaštenika vodi se već od stupanja na snagu IED (2010.) kada se uobličuje mišljenje da ovlaštenici moraju nositi i javne odgovornosti u postupku.

Uloga ovlaštenika u postupcima primjene zakonskih instrumenata kao što je okolišna, prvi puta je jasno određena Uredbom o okolišnoj dozvoli (NN 8/14), kroz III. poglavlje (Osiguranje pouzdanosti i provjere stručne podloge zahtjeva i ostale dokumentacije koje izrađuje ovlaštenik,

Članak 19.). Pristup, koji je ovdje primijenjen se temelji na teoriji organizacije, a posebice definiciji organizacije, koji uzima u obzir singerijski efekt organizacije na njezine članove, kako je prikazano u [3]. Taj pristup se primjenjuje:

- kod davanja ovlaštenja za obavljanje poslova izrade dokumentacije za okolišnu dozvolu,
- kod praćenja rada i odgovornosti ovlaštenika, kroz provjeru kvalitete izrađene dokumentacije, ali i provjeru načina na koji je ta dokumentacija izrađena.

U pogledu obveza i odgovornosti ovlaštenika usmjerenost se smješta na organizaciji kao ovlašteniku, a ne (ili ne samo) na pojedince koji čine organizaciju. Također, u istom članku, naglašena je i javna odgovornost ovlaštenika.

Navedene promjene izazvale su i određeni otpor ovlaštenika, posebice u pogledu provjere načina izrade dokumentacije temeljenog na organizacijskom principu, ali i traženja javne odgovornosti ovlaštenika. Na te primjedbe (kroz javnu raspravu o prijedlogu Uredbe o okolišnoj dozvoli), Ministarstvo je odgovorilo argumentiranim razlozima o potrebi povećanja kvalitete dokumentacije, osiguranju kvalitete i definiranju javne odgovornosti ovlaštenika. Sljedeći koraka s kojim se također treba baviti stoga je izgradnja sustava povjerenja između ovlaštenika i ministarstva i ostalih nadležnih tijela, ne više kao neobavezne već kao institucionalne kategorije, što bi trebalo smanjiti administrativnu provjeru, sukladno [4].

Novim propisom o ovlaštenicima, koji se planira donijeti, moraju se tek anticipirati odredbe koje je Uredba o okolišnoj dozvoli jasno definirala.

2.2. Dionici u postupku-operateri

Uloga operatera, kao ključnog aktera, povezana je s nizom odgovornosti i interesa u postupku. Ono što se konačno prihvaća novim propisima je da operateri imaju legitiman interes za provođenje djelatnosti na ekonomičan ekonomsko isplativ način te da u okviru toga i pitanjima uvjeta zaštite okoliša mogu pristupati racionalno, vodeći računa o svojim interesima. Operateri, preko ovlaštenika čija je zadaća da uobliče prijedloge, (te također odmah operatera obavijest da neki njihovi prijedlozi nisu osnovani), Ono što se u postupku treba očekivati od operatera je da jasno prepozna i definira svoj interes, da uz pomoć ovlaštenika formiraju svoj prijedlog uvjeta dozvole, te da prate postupak izdavanja dozvole te intervenira u pojedinim radnjama u postupku, u kojima ocjenjuje da mogu biti ugroženi.

2.3. Dionici u postupku-nadležna tijela

Nadležna tijela (ministarstva i druga tijela javne uprave te ustrojstvene jedinice ministarstava), prema zakonu, sudjeluju u postupku prema nadležnostima za pojedine sastavnice okoliša koje pokrivaju prema posebnim propisima (npr. propisi o vodama, zaštita prirode, zaštita zraka). To su najčešće Ministarstvo poljoprivrede, Ministarstvo zdravlja te druge ustrojstvene jedinice Ministarstva zaštite okoliša i prirode koje su nadležne za posebne sastavnice okoliša. To rješenje je u načelu dobro, ali ga ipak treba modificirati u skladu s odredbama IPPC direktive. Nadležna tijela osiguravaju administrativne kapacitete za provedbu postupka okolišne dozvole, a uloga tih kapaciteta bitno je drugačija od kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i prirode-jedinice za okolišnu dozvolu. Oni sudjeluju u postupku izdavanja cjelovite okolišne dozvole ocjenom dijela zahtjeva, koji se tiče nadležnosti tijela u kojem rade.

Novim propisima, od nadležnih se tijela traži da svoja mišljenja daju na propisanim obrascima, čime se sprječava arbitrarno postavljanje uvjeta mimo prijedloga ovlaštenika (operatera) i čime se nadležna tijela usmjeravaju na ocjenu (mišljenje) o prijedlogu operatera.

Nadležna tijela također određuju način provedbe procjene (kao i potrebu za njome) za svoju sastavnicu okoliša, ukoliko ista nije provedena prema propisima o procjeni utjecaja na okoliš.

2.4. Dionici u postupku- zainteresirana javnost

Uloga javnosti u postupku je složena i zahtijeva posebnu elaboraciju, a tom se pitanju također već pristupilo u [5]. Dosadašnja iskustva pokazala su slab interes javnosti za postojeća postrojenja u postupcima okolišnih dozvola, (iako je nešto povećan kod postupaka koji su povezani s procjenom utjecaja na okoliš).

Iskustva u primjeni pokazuju da javnost još uvijek doživljava postupak okolišne dozvole kao postupak kojim se provodi referendum o radu postrojenja, slično kao u procjeni utjecaja na okoliš, koji je mnogo stariji instrument zaštite okoliša. To kao rezultat ima da se u primjedbama javnosti iz javne rasprave, kada ih ima, vrlo često iznose razlozi za prestanaka rada ili ne dozvoljavane rada postrojenja, a manje predlažu uvjete kojima bi se postrojenje obvezalo.

Međutim, prepoznata je već korektivna uloga javnosti (u nekim postupcima koji nisu predmet ovog rada), u kojima zainteresirana javnost otkriva neke aspekte provođenja djelatnosti, koji nisu bili navedeni u zahtjevu za dozvolom te već samim time bitno utječe na rezultat postupka.

Novi način sudjelovanja javnosti je uvid u nacrt dozvole, čime se proširuje mogućnost sudjelovanja javnosti i nakon izjašnjavanja javnosti u javnoj raspravi, odnosno pred samim izdavanjem upravnog akta-okolišne dozvole.

Novim propisom o sudjelovanju javnosti Uredbom o informiranju i sudjelovanju javnosti i zainteresirane javnosti u pitanjima zaštite okoliša („Narodne novine“ broj 64/08), moraju se tek anticipirati odredbe koje je Uredba o okolišnoj dozvoli jasno definirala

2.5. Ministarstvo o zaštite okoliša i prirode - ustrojstvena jedinica za okolišnu dozvolu

Od prvog propisa koji je uveo postupke prema IPPC direktivi, Zakon o zaštiti okoliša (NN 110/07), Ministarstvo, odnosno njegovu ustrojstvenu jedinicu za izdavanje okolišne dozvole (prije: za utvrđivanje objedinjenih uvjeta zaštite okoliša), tretiralo se kao jedinicu koju koordinira postupak u smislu prikupljanja uvjeta nadležnih tijela i ugrađuje ih u rješenje. Međutim, provedbena je praksa i u postupcima vođenim prema tom Zakonu, uskoro pokazala da takva, beskonfliktna uloga ove jedinice, nije moguća.

Uloga Ministarstva zaštite okoliša i prirode (ustrojstvene jedinice za izdavanje okolišnih dozvola) razlikuje se od ostalih nadležnih tijela i ustrojstvenih jedinica Ministarstva. Administrativni kapaciteti koje osigurava Ministarstvo objedinjuju sve cjeline postupka. postupka izdavanja okolišne dozvole. Posebno je važna uloga ustrojstvene jedinice ministarstva, kada se po zahtjevu operatera ide u preispitivanje mišljenja nadležnih tijela, što novi propisi eksplicitno omogućuju. Tada ona mora ocijeniti opravdanost zahtjeva za preispitivanje, te nadležnom tijelu predložiti utemeljenost takvih zahtjeva. U konačnici, a prema novim zakonskim rješenjima, ustrojstvena jedinica ministarstva nadležna za okolišnu dozvolu je ta koja priprema konačnu odluku u pogledu rješenja o okolišnoj dozvoli te se pojavljuje kao arbitar u svim situacijama koje zahtijevaju raspravu tijekom postupka.

Rad ove jedinice najčešće se ocjenjuje kroz trajanja postupaka, što je međutim često posljedica utjecaja ovog čimbenika s ostalim čimbenika, odnosno interakcije s njima, najčešće s ovlaštenicima ili nadležnim tijelima. Međutim, utvrđene su i određene slabosti i kod ove jedinice Ministarstva, u pogledu pravovremenog osiguranja potrebnih administrativnih kapaciteta, kao i njihove stručne osposobljenosti koje mogu utjecati na produženje rokova postupka.

2.6. Administrativni dio postupka i radnje u postupku

Postupak izdavanja okolišne dozvole, kako je postavljen propisima: Zakonom o zaštiti okoliša („Narodne novine“ broj 80/13), Zakonom o općem upravnom postupku („Narodne novine“ broj 47/09), Uredbom o okolišnoj dozvoli („Narodne novine“ broj 8/14) i Uredbom o informiranju i sudjelovanju javnosti i zainteresirane javnosti u pitanjima zaštite okoliša („Narodne novine“ broj 64/08), osigurava fleksibilnost postupka temeljeno na pravima svih dionika. Zahtjev za okolišnu dozvolu, sa stručnom podlogom), a koji je određen obrascima iz Uredbe, je koncipiran tako da predlaže uvjete dozvole, ne ostavljajući nikakvu opciju predlaganja uvjeta za nadležna tijela. Nadležna se tijela tako usmjeravaju na ocjenu dostavljenih prijedloga.

Novosti u propisima su i mogućnost preispitivanja mišljenja nadležnih tijela na zahtjev operatera (ovlaštenika).

Također, rokovi radnji u postupku koje provode nadležna tijela Ministarstava ograničena su provedbenim propisom, Zakonom o zaštiti okoliša i Uredbom.

Nova radnja u postupku je izrada i objava nacrtu dozvole, koji sadrži sve elemente rješenja, ali prije njegovog donošenja. Objavom nacrtu rješenja o dozvoli, omogućava se javnosti (ali samo javnosti) da još jednom da primjedbe na uvjete dozvole, ali i na provedbu samog postupka čime se u većom broju slučajeva može izbjeći vođenje dugotrajnijih sudskih postupaka ukoliko javnost nije zadovoljna rješenjem o okolišnoj dozvoli.

2.7. Upravni akt-rješenje o okolišnoj dozvoli

Rješenje o okolišnoj dozvoli akt je koji sadrži uvjete dozvole, kao i tijek postupka sa svim bitnim momentima za donošenje dozvole. Novina u odnosu na postupak utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša je ukidanje tehničko-tehnološkog rješenja, kao sastavnog dijela rješenja.

Osim temeljenja uvjeta dozvole na najboljim raspoloživim tehnikama (NRT), određenim prema kriterijima iz Zakona, traži se da u uvjeti okolišne dozvole budu potpuno određeni tako da se mogu pratiti u inspekcijskom nadzoru, ali biti provjerljivi i od drugih dionika koji sudjeluju u praćenju primjene okolišne dozvole. Time se izbjegava potreba za naknadnim tumačenja uvjeta dozvole kad uvjeti nisu dovoljno određeni, za što u Ministarstvu, zbog velikog broja izdanih okolišnih dozvola (odnosno, utvrđenih objedinjenih uvjeta) otprije, kod koji postupak u tom smislu nije uvijek konzistentno proveden, postoji također provedbena praksa.

3. PRIMJERI POSTUPAKA ZA POSTROJENJA ZA OBRADU OTPADA I METODOLOGIJA

U ovom radu daju se osvrti na postupke okolišne dozvole za postrojenja koji su započeli nakon stupanja na snagu novog Zakona, dakle prema IED, odgovarajućom primjenom Uredbe o postupku utvrđivanja objedinjenih uvjeta ili potpunom primjenom Uredbe o okolišnoj dozvoli. Radi se o postupcima u različitim fazama, od kojih su neki i završeni ili su u fazi pripreme nacrtu rješenja o okolišnoj dozvoli. Sve informacije o postupcima nalaze se na [6].

Usporedba je rađena na temelju kriterija (cjelina) navedenih u ovom radu, donosno primjene rješenja iz novih zakonskih propisa. U obzir su uzete i njihove najvažnije interakcije za koje se do sada pokazalo da mogu imati utjecaja na postupak:

U ovom radu koristi se o vrjednosna ocjena, te se u ocjenjivanju koristi ista terminologija za sve cjeline: zadovoljavajući, nije zadovoljavajući. Tamo gdje se ne može ocijeniti ili se još uvijek ne može ocijeniti ovim ocjenama stavlja se: ne može se ocijeniti ako je teško dati eksplicitnu ocjenu. (npr. tamo gdje je još u tijeku javna rasprava ili neka druga radnja u postupku ili

uvjetno zadovoljavajući (Zadovoljavajući ?,) npr. ako je prepustio postupak ovlašteniku ili se povremeno informira o postupku, nema primjedbi s javne rasprave itd.,

Kod dionika u postupku (ministarstvo, nadležna tijela, ovlaštenici, operateri, ministarstvo, javnost) ocjenjuje se njihova djelovanje prema propisima, dok se kod cjelina kao što je provedba postupka i izrada rješenja (kao zakonska rješenja) ocjenjuju u kontekstu svrhe i cilja postupka. Kod nekih vrijednosnih ocjena daje se i pojašnjene zašto je dana određena ocjena.

Interakcije, za razliku od ostalih cjelina, ocjenjuju se u smislu postoje li ili ne i to da li otežavaju ili olakšavaju postupak (negativne/pozitivne) interakcije. Interakcije se tumače kao zajedničko djelovanje dviju strana kod koje jedna omogućava djelovanje druge u pozitivnom ili negativnom smjeru ili njihovo pojačano zajedničko djelovanje. Negativne interakcije se mogu pojaviti kod nezadovoljavajućeg djelovanja dviju strana ili negativnog djelovanja jedne i uvjetno zadovoljavajućeg djelovanja druge strane. Kod ocjene interakcija je potrebno posebno oprezno postupati, te je zbog toga i ta ocjena provedena veoma konzervativno.

Rezultati provedene analize daju se u tablici 1a. i tablici 1b.

Tablica 1 a.: Ocjena provedenih postupaka s obzirom na cjeline postupka

	ŽCGO		POSTROJENJA ZA GOSPODARENJE OTPADOM			
	MARIŠČINA	KAŠTIJUN	CE-ZA-R ZAGREB	CIAK ZABOK	CIAK VOJNIC	CIAK ZABOK AKUMULATORI
Dionici u postupku-ovlaštenici	Nije zadovoljavajući (traži se izmjena podataka)	Nije zadovoljavajući i (traži se izmjena podataka)	Zadovoljavajući	Zadovoljavajući	Zadovoljavajući	Zadovoljavajući
Dionici u postupku-operateri	Nije zadovoljavajući	Nije zadovoljavajući	Zadovoljavajući ?	Zadovoljavajući ?	Zadovoljavajući ?	Zadovoljavajući ?
Dionici u postupku-Ministarstvo	Nije zadovoljavajući	Zadovoljavajući ?	Ne može se ocijeniti	Ne može se ocijeniti	Ne može se ocijeniti	Ne može se ocijeniti
Dionici u postupku-nadležna tijela	Zadovoljavajući	Nije zadovoljavajući i –kasni	Nije zadovoljavajući i- kasni se u donošenju mišljenja	Nije zadovoljavajući i- kasni se u donošenju mišljenja	Nije zadovoljavajući i- kasni se u donošenju mišljenja	Zadovoljavajući- (kasni se u donošenju mišljenja)
Dionici u postupku-zainteresirana javnost	Zadovoljavajući - primjedbe usmjerene na predmet postupka)	Zadovoljavajući ? (Nije bilo primjedbi)	Zadovoljavajući - primjedbe usmjerene na predmet	Zadovoljavajući	Zadovoljavajući - primjedbe usmjerene na predmet postupka	Ne može se ocijeniti (još je na javnoj raspravi)
Provedba i radnji u postupku	Zadovoljavajući- Nije otežavalo svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka
Upravni akt-rješenje o okolišnoj dozvoli (ili nacrt dozvole)	Zadovoljavajući- Nije otežavalo svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka- Priprema	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka- Priprema	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući- ne otežava svrhu i cilj postupka
Interakcija Ministarstvo-ovlaštenici	Postoji negativna interakcija (Traži se izmjena rješenja)	Ne postoji interakcija	Postoji negativna interakcija	Postoji negativna interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija
Interakcija ovlaštenici-operateri	Postoji negativna interakcija	Postoji negativna interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija
Interakcija Ministarstvo-nadležna tijela	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija

Tablica 1 a.: Ocjena provedenih postupaka s obzirom na cjeline postupka

	POSTROJENJA ZA GOSPODARENJE OTPADOM			
	DRAVA INTERNATIONAL	KARABAŠ-SOLIN	UNIVERZAL VARAŽDIN	MITROVAC
Dionici u postupku-ovlaštenici	Nije zadovoljavajući	Zadovoljavajući	Nije zadovoljavajući (Površan i nedjelotvoran)	Zadovoljavajući (Aktivan i djelotvoran)
Dionici u postupku-operateri	Zadovoljavajući ?	Zadovoljavajući ?	Zadovoljavajući ?	Zadovoljavajući ?
Dionici u postupku-Ministarstvo	Ne može se ocijeniti	Ne može se ocijeniti	Ne može se ocijeniti	Ne može se ocijeniti
Dionici u postupku-nadležna tijela	Nije zadovoljavajući-(kasni se u donošenju mišljenja)	Zadovoljavajući	Nije zadovoljavajući-(kasni se u donošenju mišljenja)	Zadovoljavajući
Dionici u postupku-zainteresirana javnost	Zadovoljavajući (primjedbe usmjerene na predmet postupka)	Ne može se ocijeniti-(još je na javnoj raspravi)	Zadovoljavajući-(primjedbe usmjerene na predmet postupka)	Ne može se ocijeniti (još je na javnoj raspravi)
Provedba i radnji u postupku	Zadovoljavajući- Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka
Upravni akt-rješenje o okolišnoj dozvoli (ili nacrt dozvole)	Zadovoljavajući-Ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-ne otežava svrhu i cilj postupka	Zadovoljavajući-ne otežava svrhu i cilj postupka
Interakcija Ministarstvo-ovlaštenici	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija
Interakcija ovlaštenici-operateri	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija
Interakcija Ministarstvo-nadležna tijela	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija	Ne postoji interakcija

4. ZAKLJUČAK

Ova analiza provedena je analitičkim metodama javnih politika zaštite okoliša prikazanih u [1]. Iako je broj uzoraka u ovoj analizi (dva centra za gospodarenjem otpada i osam postrojenja za gospodarenjem otpada) relativno malen, kroz ovu se analizu ipak mogu dati određeni zaključci. Nova zakonska rješenja propisa o okolišnoj dozvoli, koja su dobrim dijelom i rezultat određenih analitičkih postupaka prijedloga zakonskih rješenja, pokazuju da zakonska rješenja više nisu prepreka za efikasno vođenje postupka cilja i svrhe ovih postupaka, kao što je bio slučaj sa zakonskim rješenjima Zakona iz 2007.

U tablici 1. izvršeno je vrijednosno ocjenjivanje pojedinih dionika i njihova međusobna interakcija u postupku ishođenja okolišne dozvole za dva centra za gospodarenje otpadom i osam postrojenja za gospodarenje otpadom iz koje su uočene određene slabosti.

Uočene slabosti rezultat su, kako se pretpostavlja, nepripremljenosti pojedinih dionika u postupku, koje onda još mogu biti pojačane njihovom interakcijama.

Uloga operatera u postupcima, prema rezultatima analize u najmanju ruku može se nazvati dvojbenom. Iako se najčešće pretpostavlja da operateri s punim povjerenjem prepuštaju vođenje postupka sa svoje strane ovlaštenicima, ova ocjena pokazuje da se može raditi i o određenoj nezainteresiranosti za samo vođenje postupka kod operatera, koje u određenim slučajevima ima ozbiljan negativan efekt.

Sudjelovanje javnosti u postupcima uvjetno je zadovoljavajuće, ako se uzme u obzir da u dosta slučajevima nije bilo primjedbi na javnoj raspravi. To međutim ne mora uvijek značiti da javnost u potpunosti prihvaća prijedloge iz zahtjeva za dozvolom, nego može značiti da jednostavno nije

dovoljno pripremljena ili zainteresirana za sudjelovanje. To samo pokazuje da idealistički pristup sudjelovanju javnosti, kakav se podržava u [5], treba zamijeniti ozbiljnijom elaboracijom.

Uočene su četiri značajne negativne interakcije i to između ovlaštenika i operater i ovlaštenika i ministarstva. U slučajevima negativnih interakcija ovlaštenik-operater razlog je slaba povezanost operatera i ovlaštenika što dovodi do poteškoća koje u tijeku postupka traže izmjene zahtjeva koje su više u interesu operatera. Također, u dva slučaja utvrđena je nezadovoljavajuće djelovanje ministarstva, koje za rezultat ima negativnu interakciju za vođenje postupka.

Kada se govori o slabostima ministarstva, može se govoriti o dvije osnovne slabosti u postupcima: neosiguravanje potrebnih administrativnih kapaciteta na vrijeme i nedovoljno pripremljeni kapaciteti za provedbu postupka. Nedovoljna pripremljenost također ne znači samo pitanje dovoljnog stručnog poznavanja područja, već i nesnalaženje u primjeni potrebnih administrativnih instrumenata za vođenje tako kompleksnog postupka. Zbog specifičnog položaja ministarstva u postupku može se govoriti o slabostima gdje su one nedvojbeno utvrđene, dok je drugdje teško dati ocjenu, pogotovo kada postupci nisu dovršeni.

- Najlakše je uočiti nepravilnosti u radu ovlaštenika koje su:
- Nedostatak kapaciteta za izvršenje preuzetih obveza
- Nedostatak provjere izrađene dokumentacije prije formalne dostave
- Nepovezanost unutar organizacije ovlaštenika kod izrade različitih zahtjeva
- Prikriivanje bitnih informacija, ako mogu negativno utjecati na prihvaćanje predložene varijante

Nedostatak u davanju konkretnih mjera koje se mogu pratiti i primjenjivati, odnosno napustiti politiku razmišljanja davanja općih odrednica.

Zbog jasne definiranosti ovih uzroka problema, moguće je njihovo efikasno rješavanje.

Problemi u sudjelovanju nadležnih tijela su još uvijek usmjerenost na vlastite propise i emisijske vrijednosti, zanemarivanje ili nepoznavanje načela IPPC direktive te poteškoće kod sagledavanja integriranog pristupa u okviru vlastite nadležnosti. Nedovoljni administrativni kapaciteti, na način kako je to opisano i za Ministarstvo, također su problem povezan s radom ovih tijela.

Problemi specijalizacije kapaciteta, kao i njihova efektivna (i efikasna upotreba) postaje, pogotovo kod ministarstava i nadležnih tijela, jedno od najvažnijih pitanja u provedbi IED (IPPC) direktive. Specifičnost (specijalizacija) posla javne uprave i njegov obuhvat na društvo (transakcijski obujam), dobivenih analizom u [1], može se prikazati modelom, Fukuyama [7]. Ovo pitanje možda je i najsloženije pitanje u okviru problematike okolišnih dozvola i treba ga rješavati dosljednom primjenom analitičkih metoda javnih politika.

Kako se vidi iz rezultata prikazanih u tablici 1a. i 1b., najveći problemi pokazali su se u postupcima koji su započeli odmah nakon stupanja na snagu Zakona, odnosno Uredbe o okolišnoj dozvoli, dok se u postupcima koji su započeti relativno nedavno rezultati znatno bolji. To pokazuje da samo iskustvo u provedbi ima veliku ulogu u kvalitetnoj provedbi postupaka.

5. LITERATURA

- [1] Rumenjak D., Razvoj instrumenta okolišnih dozvola u politici zaštite okoliša, Državna škola za javnu upravu, Zagreb, 2012.
- [2] Rumenjak, D. Štambuk, S., Iskustva u primjeni IPPC direktive u Hrvatskoj, Simpozij gospodarena otpadom Zagreb, 2012.
- [3] Sikavica P., Organizacija, Školska knjiga, Zagreb, 2011 (str. 19)
- [4] Fukuyama, F., Povjerenje- Društvene vrline i stvaranje blagostanja, Izvori, Zagreb, 2000 (str.47)
- [5] Hrvatski poslovni savjet za održivi razvoj, Priručnik o sudjelovanju javnosti u postupcima, Zagreb, 2014.
- [6] Internetska stranica ministarstva: www.mzoip.hr, s linkovima, ULR: <http://www.mzoip.hr/default.aspx?id=8140>
- [7] Fukuyama, F., Izgradnja države – vlade i svjetski poredak u 21. stoljeću, Izvori, Zagreb, 2005 (str. 25)

ISTRAŽIVANJE NAVIKA I SPOZNAJA O ODVOJENOM PRIKUPLJANJU OTPADA

ANALYSIS OF THE HABITS AND KNOWLEDGE ABOUT THE SEPARATE WASTE COLLECTION

dr. sc. Sanja Kalambura¹; Marko Toth, prof.¹; Nives Jovičić, struč. spec. ing. admin. chris.*

¹Veleučilište Velika Gorica, Zagrebačka cesta 5, Velika Gorica

*e-mail kontakt: nives.jovicic@vvg.hr

SAŽETAK

Jedan od najvećih problema, na što utječe niz faktora kao što je i povećana potrošnja, svakako je problem zbrinjavanja otpada. Količine otpada iz godine u godinu sve više rastu, a javljaju se i nove tehnologije koje reproduciraju nove vrste otpada. Problemi s odlagalištima, zagađenjem okoliša, troškovi održavanja i saniranja odlagališta toliko su narasli da je stari način ponašanja i odnosa prema otpadu jednostavno neprihvatljiv. Cjelovit sustav gospodarenja otpadom temelji se na principu hijerarhijskog koncepta u kojem se na vrhu nalazi izbjegavanje otpada, potom slijedi vrednovanje, a tek na kraju odlaganje. Procjenjuje se kako tek vrlo mali udio od ukupnih količina otpada nastalog u RH tijekom jedne godine nađe put k uporabi. Sve se ostalo, mjereno milijunima tona godišnje, odlaže. Samo mali dio stanovništva RH shvaća da je otpad najznačajniji problem zaštite okoliša u RH, a velik broj nema svijesti o potrebi odvojenog prikupljanja i recikliranju. Metodom anketiranja populacije studenata Veleučilišta Velika Gorica provedeno je istraživanje o razini svijesti o važnosti odvojenog prikupljanja otpada te gospodarenju otpadom. Istraživanje je imalo za cilj doći do aktualnih saznanja o percepciji odvojenog prikupljanja otpada, a rezultati istraživanja te statistička obrada podataka prikazani su u radu. Rezultati su pokazali da više od pola ispitanika od ukupnog uzorka razvrstava otpad u vlastitom kućanstvu, a oni koji ne razvrstavaju kao razlog većinom navode nepostojanje infrastrukture za odvojeno prikupljanje otpada u blizini mjesta stanovanja. Pokazalo se da najviše ispitanika (46.1 %) smatra da je potrebna bolja infrastruktura za zbrinjavanje otpada, no i da tek nešto manje njih (42.7%) smatra da je potrebna temeljita promjena sustava.

Ključne riječi: *otpad, odvojeno prikupljanje, recikliranje, anketiranje.*

ABSTRACT

One of the biggest problems, as influenced by a number of factors such as the increased consumption, is certainly a problem of waste disposal. Quantity of waste each year is increasing, and there are also new technologies that reproduce new types of waste. Problems with landfills, environmental pollution, maintenance and rehabilitation of landfill sites have grown so much that the old ways of behavior and attitude towards waste are simply unacceptable. Integrated waste management system is based on the principle of hierarchical concept where the top is the avoidance of waste, followed by evaluation, and only then disposal. It is estimated that only a very small proportion of the total quantity of waste generated in Croatia during the year finds the path to recovery. Everything else, as measured by millions of tons per year, is disposed. Only a small part of the population of Croatia realizes that waste is the most important environmental issue in Croatia, a large number of no awareness of the need for separate collection and recycling. The study was

aimed to reach the current knowledge about the perception of waste collection among the population of the students, and the results of research and statistical analysis of the data presented in this paper. The results showed that more than half of the respondents of the total sample classified waste in their own households, and those who are not classified as the reason most cited lack of infrastructure for separate collection of waste close to home. It turned out that most of the respondents (46.1%) believe that the need for better infrastructure of waste disposal, but only slightly fewer (42.7%) believed that require radical changes in the system.

Key words: *waste, separate collection, recycling, survey.*

1. UVOD

Jedan od ključnih ekoloških problema današnjice je otpad, odnosno njegovo zbrinjavanje. Povećanje količina otpada koji nastaje i njegovo gomilanje rezultat je masovne proizvodnje i potrošnje. Potrošački mentalitet sve je izraženiji, a prekomjerna eksploatacija prirodnih resursa, gomilanje otpadnih tvari i uništavanje prirode i okoliša pridonose poremećaju biološke ravnoteže na Zemlji. Stvaranjem sve većih količina otpada čovjek znatno narušava prirodnu ravnotežu, pa pristup rješavanju problema otpada čini jedan od prioriteta u smanjenju zagađenja okoliša [4].

Količina otpada koji nastaje ovisi od razvijenosti pojedine zemlje, pa su tako količine komunalnog otpada razvijenih zemalja daleko veće nego u zemljama u razvoju. Tome u prilog govore i podaci prema kojima su Sjedinjene Američke Države na prvom mjestu po proizvodnji otpada u Svijetu. Njezini stanovnici sudjeluju u svjetskoj populaciji s 3%, a stvaraju 30% ukupnog otpada u Svijetu [5]. U Republici Hrvatskoj se, sukladno gospodarskom razvoju i povećanju potrošnje, također bilježi stalni rast proizvedenog komunalnog otpada. U odnosu na prethodne dvije godine, u 2012. godini ukupna količina proizvedenog komunalnog otpada porasla je za 2,5%. Prema podacima Agencije za zaštitu okoliša ukupno je u 2012. godini proizvedeno 1 670 005 t komunalnog otpada. Godišnja količina komunalnog otpada po stanovniku iznosila je 390 kg, odnosno dnevna količina 1,1 kg proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku [1].

Zbrinjavanje otpada ovisi i od pojedinca koji se u svakodnevnom životu može odlučiti između ekološkog ili neekološkog ponašanja, stoga se sve veći naglasak stavlja na individualna ponašanja i prakse kućanstava [3,6] kao i na strategije koje promoviraju individualna i društvena ponašanja s ciljem recikliranja [7], ili na „socijalizaciju protiv otpada“ [2].

Budući da društvena svijest i osobna motivacija stanovništva, uz postojanje odgovarajuće infrastrukture imaju veliki utjecaj na učinkovitost sustava gospodarenja otpadom provedeno je istraživanje o percepciji problema vezanih uz mogućnost odvojenog prikupljanja otpada i navikama među studentima Veleučilišta Velika Gorica [4].

2. CILJ I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

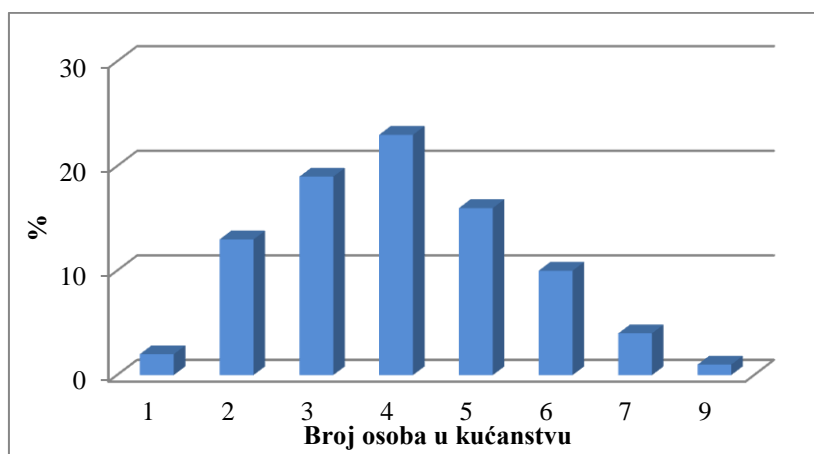
Temeljni cilj istraživanja bio je ispitati percepciju studenata o problemu otpada te ispitati osobne navike o odvojenom prikupljanju otpada. Istraživanje je provedeno u mjesecu lipnju 2013. godine na trećoj godini stručnog studija Upravljanje u kriznim uvjetima na Veleučilištu Velika Gorica. Izabrana je znanstveno istraživačka metoda ankete. Kao instrument ankete korišten je anketni obrazac: „Odvojeno prikupljanje otpada – navike i spoznaja“, koji se sastojao od dvadeset i dva (22) pitanja, dijelom otvorenog tipa, a dijelom višestrukog izbora. Ukupan broj anketiranih studenata iznosio je osamdeset i devet (89). Statističke metode korištene pri obradi

podataka su deskriptivna statistika kao i metoda analitičke statistike. Podaci i rezultati obrade podataka prikazani su tablično i grafički te se za obradu i prikaz rezultata istraživanja po pojedinim pitanjima koristiti frekvencija (f) i postotak (%).

3. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

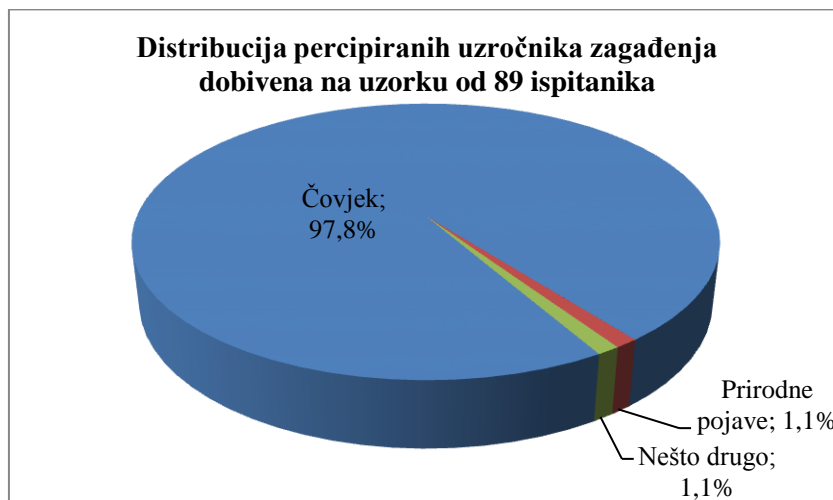
3.1. Obilježja uzorka

Metodom anketiranja provedeno je istraživanje o razini svijesti o važnosti odvojenog prikupljanja otpada te gospodarenju otpadom među populacijom studenata Veleučilišta Velika Gorica. Anketom je ispitano 89 slučajno odabranih studenata, od toga 37 ženskih (41.6 %) i 51 muška osoba (57.3 %) (jedna osoba nije naznačila spol). Od ukupnog broja ispitanika 30 osoba (33.7 %) živi u stanu a 59 (67.3 %) u obiteljskoj kući. Prosječna veličina kućanstva je 4.02 osobe (SD =1.54). Distribucija uzorka s obzirom na broj osoba u kućanstvu (veličinu kućanstva) prikazana je na Slici 1.



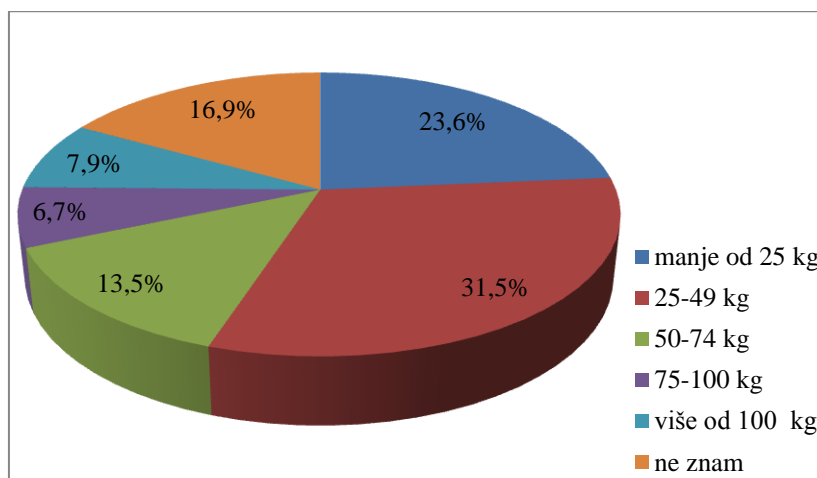
Slika 1. Distribucija uzorka u s obzirom na broj osoba u kućanstvu postocima (N=89)

Gotovo cijelokopuni uzorak (N=87, 97.8%) percipira čovjeka kao glavnog uzročnika i izvor zagađenja. Samo dvije osobe percipiraju drugačije: jedna osoba smatra da su to prirodne pojave, a druga da je izvor zagađenja nešto loša organizacija gospodarenja otpadom (dakle, u stvari je i tu čovjek uzročnik zagađenja). Distribucija odgovora nalazi se na Slici 2.



Slika 2. Distribucija percipiranih uzročnika zagađenja dobivena na uzorku od 89 ispitanika

Od ispitanika je traženo da procjene koliko otpada nastaje u njihovom kućanstvu u razdoblju od jednog mjeseca. Najviše ispitanika, njih 28 (31.5%), percipira da njihovo kućanstvo proizvodi između 25 i 49 kg otpada mjesečno, odnosno više od polovice uzorka (55.1%) procjenjuje da njihovo kućanstvo proizvodi manje od 50 kg otpada u razdoblju od jednog mjeseca. Distribucija odgovora nalazi se na Slici 3.



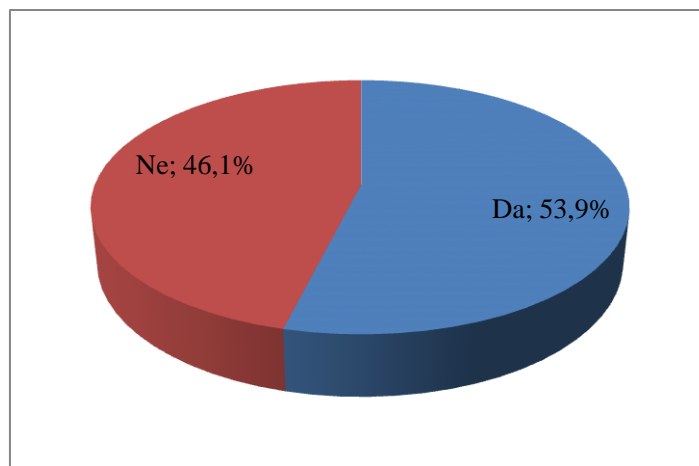
Slika 3. Procjena količine mjesečne proizvodnje otpada u vlastitom kućanstvu (N=89)

Korelacija između procijenjene mjesečne količine otpada i broja osoba u kućanstvu iznosi $r = 0.4$ ($p < 0.01$) i ukazuje na umjerenu povezanost u smislu da veće kućanstvo prati i veća mjesečna količina otpada. Iz izračuna korelacije izuzeti su ispitanici koji nisu mogli procijeniti količinu mjesečnog otpada svog kućanstva. Prema dostupnim podacima, svaki Hrvat godišnje u prosjeku proizvede 390 kg komunalnog otpada, što iznosi mjesečno 32,5 kg otpada po osobi [1]. Uzevši u obzir navedeno i dobivene podatke o percipiranoj količini otpada u vlastitom kućanstvu vidljivo je da ispitanici znatno podcjenjuju količinu otpada koju njihova obitelj mjesečno proizvede.

Navedeno je dodatno provjereno T-testom. Analizirana je razlika između teoretske mjesečne količine otpada po kućanstvu i percipirane mjesečne količine otpada. Teoretska vrijednost izračunata je kao umnožak prosječne mjesečne količine otpada za jednu osobu i broja osoba u kućanstvu. Za percipiranu mjesečnu količinu otpada po kućanstvu uzeta je gornja vrijednost razreda (na primjer: ako je kategorija bila od 25 – 49 kg uzeta je maksimalna vrijednost od 49 kg). Dobivena vrijednost t-testa je $t(72) = 21.82$ uz statističku značajnost na razini od 1% ($p < 0.01$). Dakle i statistički postoji značajna razlika između percipirane količine mjesečne proizvodnje otpada po kućanstvu ($M = 57.3$ kg, $SD = 30.87$, $N = 73$) i one koju bi kućanstvo teoretski očekivano u prosjeku trebalo ostvariti ($M = 95.7$ kg, $SD = 37.49$, $N = 73$) u smislu da je percipirana količina znatno podcijenjena u odnosu na teoretski očekivanu.

3.2. Razvrstavanje otpada

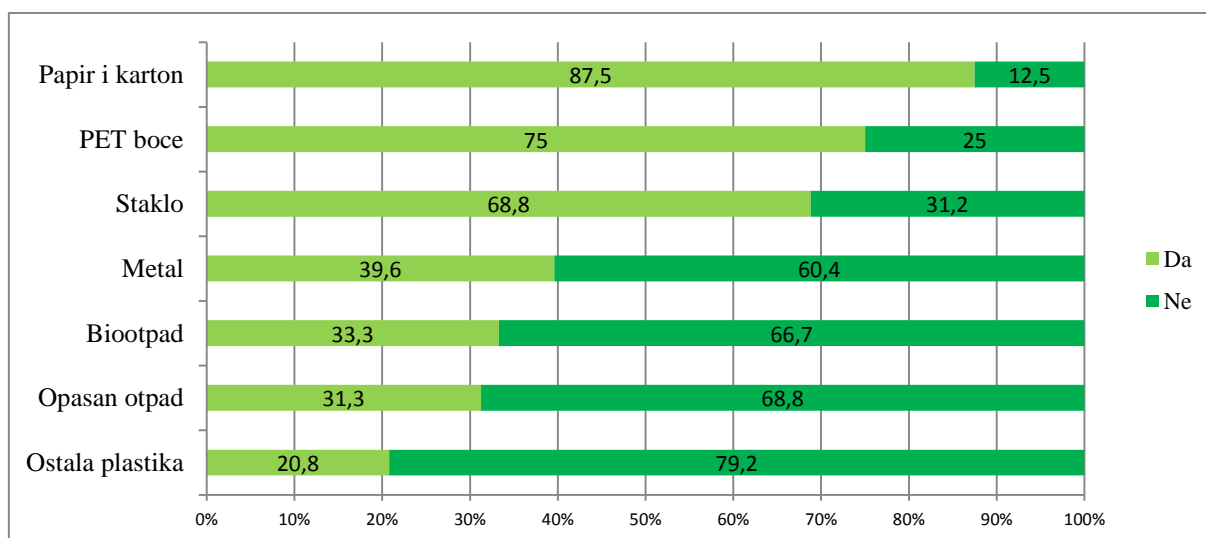
Od ukupnog uzorka 53.9% (48) ispitanika je izjavilo da razvrstava otpad u vlastitom kućanstvu (Slika 4).



Slika 4. Razvrstavanje otpada u vlastitom kućanstvu ili na poslu (N=89)

Neparametrijskim hi –kvadrat testom testirano je postoji li statistički značajna razlika u razvrstavanju otpada s obzirom na stambeni prostor u kojima ispitana osoba živi (stan ili obiteljska kuća), međutim nismo je potvrdili ($\chi^2(1) = 0.282$, $p > 0.05$). Također, istim testom provjerena je statistička značajnost razlike u razvrstavanju otpada prema spolu. Niti ta razlika nije bila statistički značajna ($\chi^2(1) = 0.011$, $p > 0.05$). Nadalje, pokazalo se da nema povezanosti između broja osoba u kućanstvu i razvrstavanja otpada, koeficijent korelacije iznosi $r = 0.05$ i nije statistički značajan ($p > 0.05$, $N = 88$). Na temelju statističkih pokazatelja dobivenih na uzorku može se zaključiti da razvrstavanje otpada ne ovisi o spolu, stambenom prostoru i veličini kućanstva odnosno broju osoba u kućanstvu.

Ispitanici koji su izjavili da razvrstavaju otpad pitani su koje uobičajene vrste otpada razvrstavaju. Pokazalo se da ispitanici koji razvrstavaju otpad u najvećoj mjeri odvajaju papir i karton (87.5%), PET boce (75%) i staklo (68.8%), dok ostale vrste otpada skuplja manje od 40%. Drugim riječima, ispitanici najviše odvajaju one vrste otpada za koje postoji odgovarajuća infrastruktura za odvojeno prikupljanje u vidu dostupnih spremnika (papir, karton, PET boce, staklo i metal). Distribucija odgovora prema pojedinoj vrsti otpada nalazi se na Slici 5.



Slika 5. Postotak odvajanja pojedinih kategorija otpada (N=48)

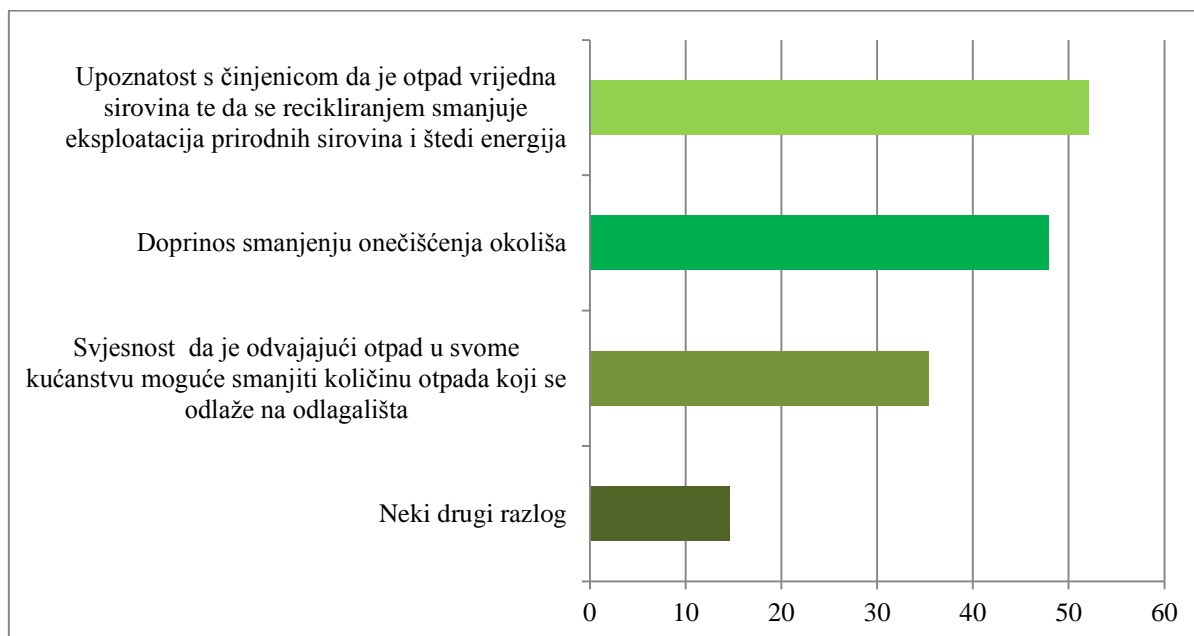
Ispitanicima koji razvrstavaju otpad ponuđena su tri razloga za odvojeno prikupljanje otpada s pretpostavkom da su najčešća:

1. Svjesnost da je moguće smanjiti količinu otpada koji se odlaže na odlagališta odvajajući otpad u svome kućanstvu,
2. Upoznatost s činjenicom da je otpad vrijedna sirovina te da se recikliranjem smanjuje eksploatacija prirodnih sirovina i štedi energija i
3. Doprinos smanjenju onečišćenja okoliša.

Ponuđena je i četvrta, slobodna opcija ukoliko tri navedena ne obuhvaćaju sve pa je traženo od ispitanika da sami navedu neki drugi razlog ukoliko ga imaju. Svi razlozi osim slobodne opcije su podjednako zastupljeni. Prikaz odgovora nalazi se u Tablici 1 i na Slici 6. Rezultati se odnose samo na onaj dio uzorka koji odvaja otpad.

Tablica 1. Najčešći razlozi odvojenog prikupljanja otpada (N=48)

Razlog	f	%
Upoznatost s činjenicom da je otpad vrijedna sirovina te da se recikliranjem smanjuje eksploatacija prirodnih sirovina i štedi energija	25	52.1
Doprinos smanjenju onečišćenja okoliša	23	47.9
Svjesnost da je moguće smanjiti količinu otpada koji se odlaže na odlagališta odvajajući otpad u svome kućanstvu	17	35.4
Neki drugi razlog:	7	14.6
zarada prodajom otpada	2	4.2
mislim da je to u redu	1	2.1
zato jer postoji organiziran odvoz otpada	1	2.1
zato što moram	1	2.1
iz dosade	1	2.1
bez specificiranog razloga	1	2.1



Slika 6. Najčešći razlozi odvojenog prikupljanja otpada (N=48)

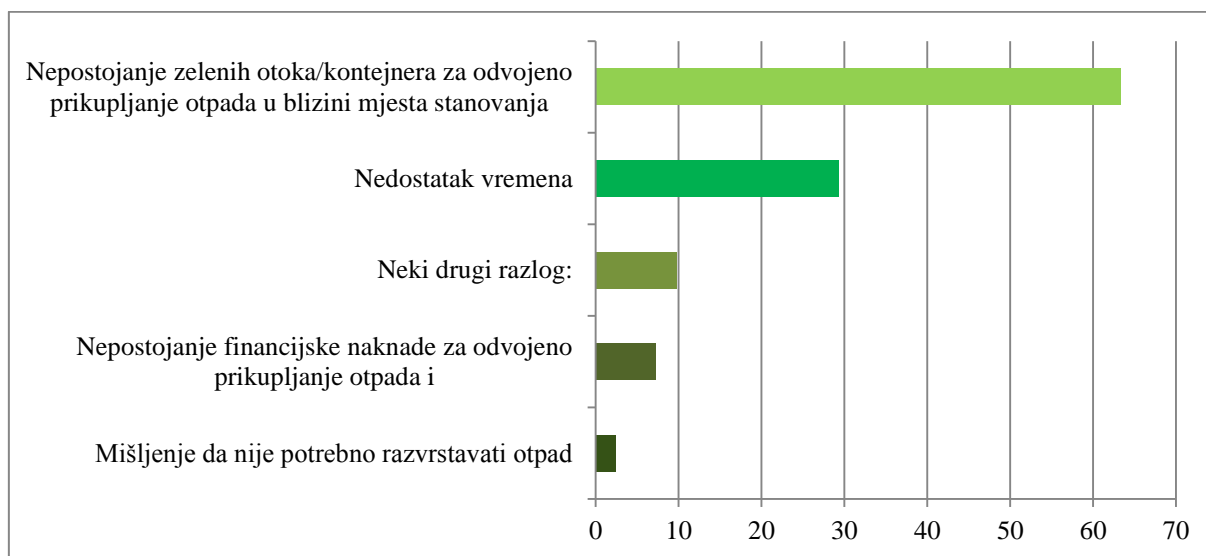
Svakako je zanimljivo pogledati razloge za nerazvrstavanje kod onog dijela ispitanika koji su odgovorili da ne razvrstavaju otpad (N= 41, 4.61 %). Pretpostavljena su četiri najčešća razloga:

1. Nedostatak vremena,
2. Nepostojanje zelenih otoka/kontejnera za odvojeno prikupljanje otpada u blizini mjesta stanovanja,
3. Nepostojanje financijske naknade za odvojeno prikupljanje otpada i
4. Mišljenje da nije potrebno razvrstavati otpad

Ponuđena je i peta, slobodna opcija odgovora gdje su ispitanici trebali sami navesti razlog ukoliko ga imaju. Rezultati su prikazani u Tablici 2 i Slici 7.

Tablica 2. Najčešći razlozi nerazvrstavanja otpada (N=41)

Razlog	f	%
Nepostojanje zelenih otoka/kontejnera za odvojeno prikupljanje otpada u blizini mjesta stanovanja	26	63.4
Nedostatak vremena	12	29.3
Nepostojanje financijske naknade za odvojeno prikupljanje otpada i	3	7.3
Mišljenje da nije potrebno razvrstavati otpad	1	2.4
Neki drugi razlog:	4	9.8
neinformiranost o važnosti odvajanja otpada	1	2.4
nemam naviku odvajanja otpada (ali promijenit ću se)	1	2.4
nisam razmišljao o tome	1	2.4
bez specificiranog razloga	1	2.4

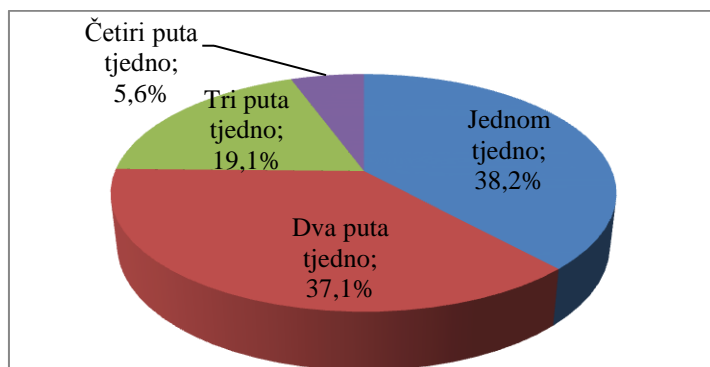


Slika 7. Najčešći razlozi neodvajanja otpada (N=41)

3.3. Percepcija infrastrukture gospodarenja otpadom

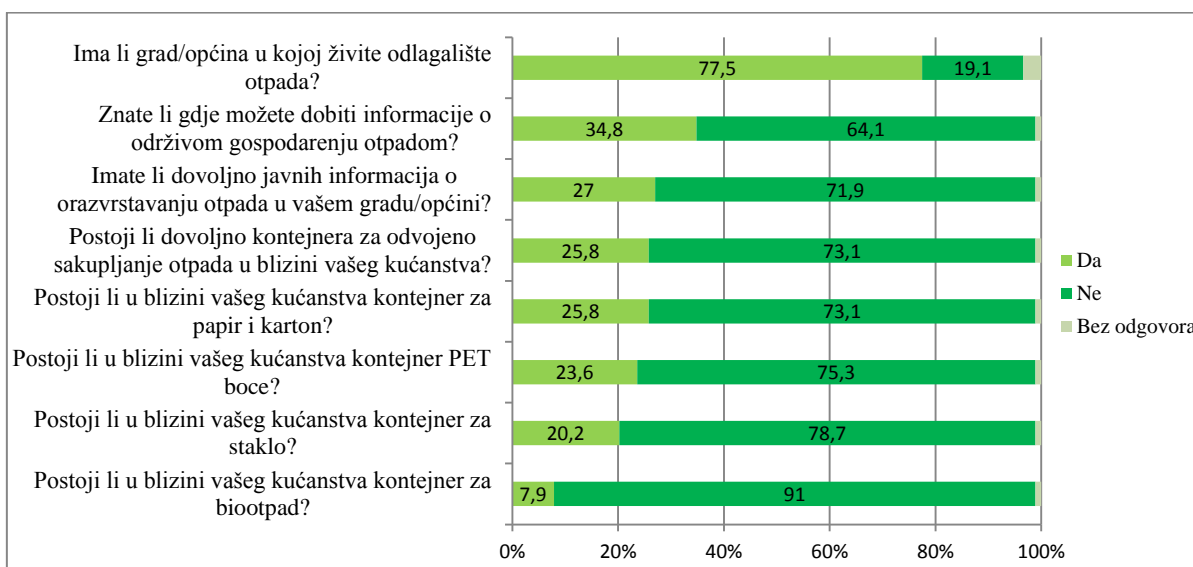
Ispitanicima su postavljena pitanja vezana uz postojeću infrastrukturu gospodarenja otpadom u njihovom gradu ili općini. Preciznije, pitanja se odnose na postojanje i dostupnost raspoloživih spremnika za odvojeno prikupljanje otpada te na aktivnosti komunalnih službi zaduženih za gospodarenje otpadom. Najviše ispitanika je navelo da se u njihovom susjedstvu odvozi otpad jednom tjedno (38.2%), tek nešto manje je navelo da se otpad odvozi dvaput tjedno (37.1%). Tri

puta tjedno se odvozi otpad u susjedstvu 19.1% ispitanika, a četiri puta u susjedstvu svega 5.6% ispitanika.



Slika 8. Učestalost odvoza komunalnog otpada (N=89)

Od ukupnog broja ispitanika 77.5% navodi kako u njihovom gradu ili općini postoji odlagalište otpada. Zabrinjavajuća je činjenica da je 73.1% ispitanika ustvrdilo kako u blizini njihovog kućanstva nema dovoljno kontejnera za odvojeno skupljanje otpada. Od 73.1% do 78.7% izjavljuje da u blizini njihovog kućanstva nema zasebnih kontejnera za pojedine vrste otpada, a najmanje je kontejnera za biootpad (91% ispitanika izjavilo je da kontejneri za biootpad u njihovoj blizini ne postoje). Također, otprilike dvije trećine ispitanika tvrdi kako ne zna gdje može dobiti informacije o održivom gospodarenju otpadom i kako nema dovoljno javnih informacija o razvrstavanju otpada u općini ili gradu boravka (Slika 9).



Slika 9. Percepcija dostupnosti informacija i infrastrukture odvojenom gospodarenju otpadom

Iako navedeni podaci predstavljaju percepciju ispitanika te ne predstavljaju nužno realnu infrastrukturu gospodarenja otpadom već aproksimaciju realnog stanja može se zaključiti da podaci govore o nedostupnosti informacija i nedovoljnom oglašavanju odnosno da je edukacija stanovništva o mogućnostima odvojenog prikupljanja otpada na niskoj razini te da postoji prostor za poboljšanje u smislu marketinških aktivnosti i jačanja infrastrukture gospodarenja otpadom. Kao dodatni argument navedenom su podaci iz Tablice 3 koja prikazuje odgovore manjine ispitanika, njih 31 koji su izjavili da znaju gdje mogu dobiti informaciju o održivom

gospodarenju otpadom. Dobivene informacije ostavljaju dojam da se radi više o osobnoj motivaciji i angažiranosti ispitanika da pronađu i dobiju tražene informacije nego realno svima dostupnim informacijama.

Tablica 3. Dostupni izvori informacija o gospodarenju otpadom

Izvor informacija o gospodarenju otpadom	f
nisu naveli izvor	17
internet	9
općina	4
dnevni tisak, javna glasila i lokalni listovi	2
komunalno poduzeće	2
oglasni letci i panoi	1
eko škola	1
kolegij Gospodarenje otpadom	1

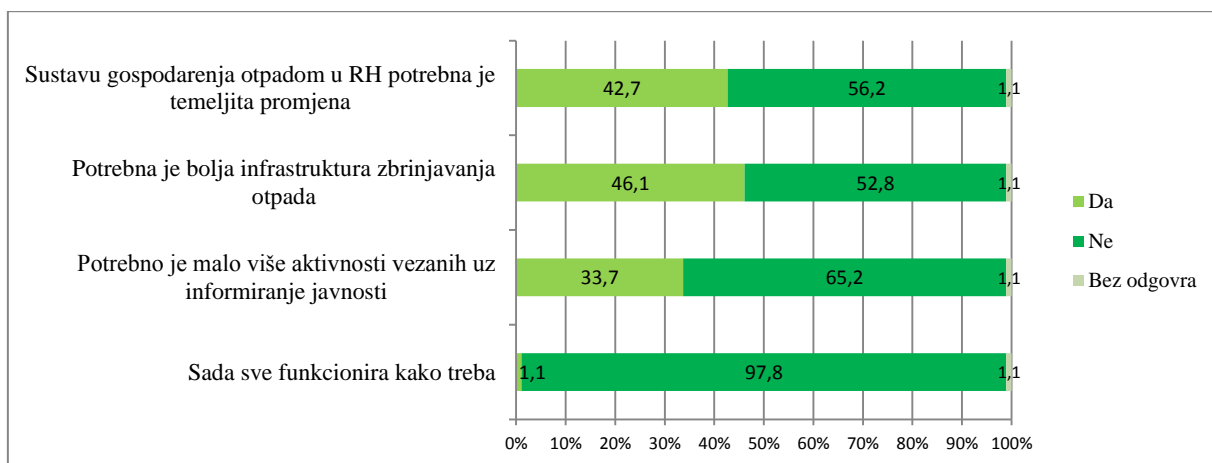
Ispitanici su također pitani o iskustvu odnošenja otpada u reciklažno dvorište. Nešto manje od trećine (27%) ispitanika redovito odvozi otpad u reciklažno dvorište. Ostali nemaju takav običaj, a 28.1% ispitanika to opravdava postojanjem spremnika za sve vrste otpada koje odvojeno sakupljaju u blizini njihovog mjesta stanovanja, 29.2% izjavljuje da nikada nije odvajalo otpad, a 6.7% ne zna što je reciklažno dovozište (Slika 10).



Slika 10. Navike ispitanika (N=89) vezano uz odnošenje otpada u reciklažna dvorišta

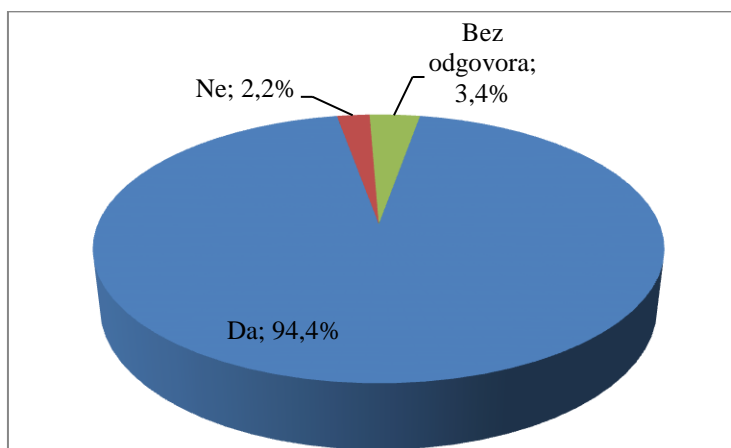
3.4. Unaprjeđenje sustava gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj

Posebim setom pitanja istraženo je da li ispitanici smatraju da je sustav gospodarenja otpadom u Hrvatskoj potrebno unaprijediti te koliko su ispitanici spremni na vlastiti angažman angažman u pogledu odvojenog prikupljanja otpada. Pokazalo se da najviše ispitanika (46.1%) smatra da je potrebna bolja infrastruktura za zbrinjavanje otpada, no i da tek nešto manje njih (42.7%) smatra da je potrebna temeljita promjena sustava. Velik broj ispitanika, njih 33.7% također smatra da je potrebno više informirati javnost, a samo jedan ispitanik (1.1%) smatra da sustav funkcionira kako treba (Slika 11).



Slika 11. Odgovori ispitanika (N=89) na pitanje: „Smatrate li da sustav gospodarenja otpadom u Hrvatskoj treba unaprijediti?“

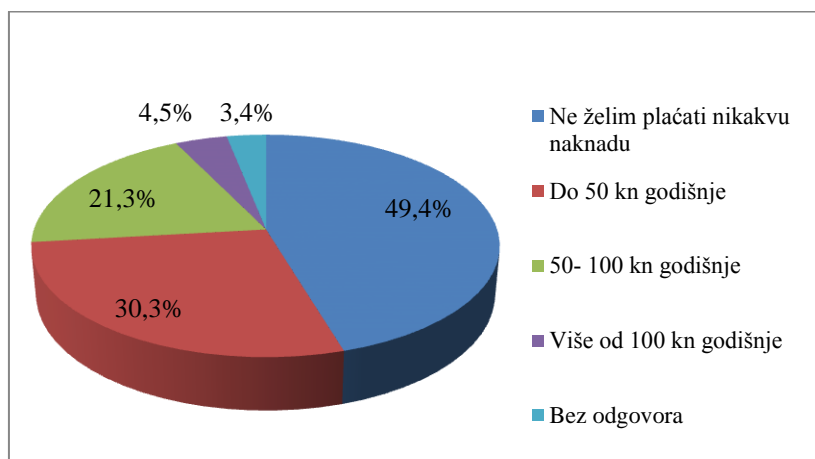
U tom kontekstu postavljena su pitanja koja su podrazumijevala voljnost za podršku organiziranijem sustavu gospodarenja otpadom. Uključena su pitanja koja su podrazumijevala materijalni aspekt, odnosno pristanak na više cijene naknade za komunalne usluge. Gotovo svi ispitanici (94.4%) su izjavili da su spremni podržati organiziraniji sustav gospodarenja otpadom i odvojeno prikupljati otpad (Slika 12).



Slika 12. Odgovori ispitanika (N=89) na pitanje: „Biste li podržali organiziraniji sustav gospodarenja otpadom te odvojeno prikupljati otpad?“

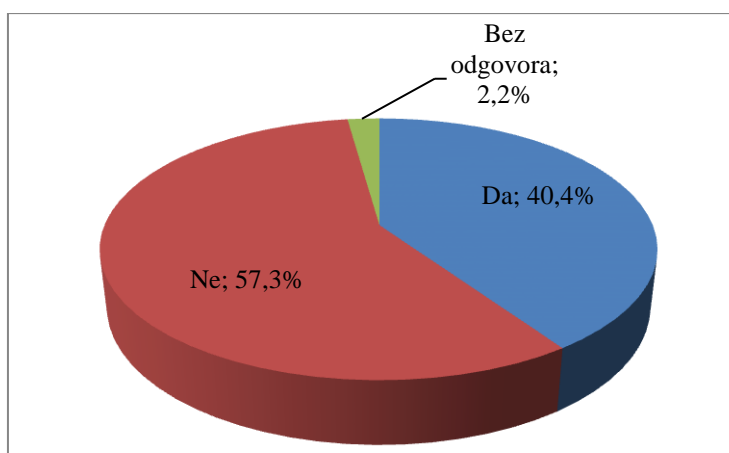
Pokazalo se da gotovo polovica (49.5%), ispitanih ne želi plaćati nikakvu naknadu za poboljšanje infrastrukture gospodarenja otpadom. Većina (56.2%) ipak jest spremna plaćati neku naknadu ako bi to povećalo količinu odvojeno sakupljenog otpada, i to s tendencijom ka plaćanju najniže moguće naknade do 50 kn godišnje (Slika 13). Računavši prosjek visine naknade samo na dijelu uzorka koji je bio spreman plaćati naknadu dobili smo vrijednost $M = 1.54$ ($SD = 0.65$, $N = 50$) koja odgovara drugoj ponuđenoj cijenovnoj kategoriji od 50 do 100 HRK godišnje. Međutim dominantno najbrojnija cijenovna kategorija bila je do 50 HRK godišnje ($D = 1$), uzevši u obzir i da je najviše ljudi u pojedinoj kategoriji bio onih koji ne žele opće plaćati naknadu realno je zaključiti da bi eventualno najprihvatljivija naknada trebala iznositi najviše do 50 HRK godišnje.

- M – aritmetička sredina, u ovom slučaju se odnosi na prosjek od tri ponuđene cijenovne kategorije, dakle prosjek ordinalnih vrijednosti (1= do 50 HRK godišnje, 2= od 50 do 100 HRK godišnje, 3= više od 100 HRK godišnje)
- SD – standardna devijacija, mjera raspršenja rezultata - prosječno odstupanje rezultata od aritmetičke sredine
- N – broj ispitanika uzet u obzir
- D – dominantna vrijednost, rezultat koji se pojavljuje najveći broj puta. U ovom slučaju se odnosi na jednu od tri ponuđene cijenovne kategorije za koju se najveći broj ispitanika odlučio



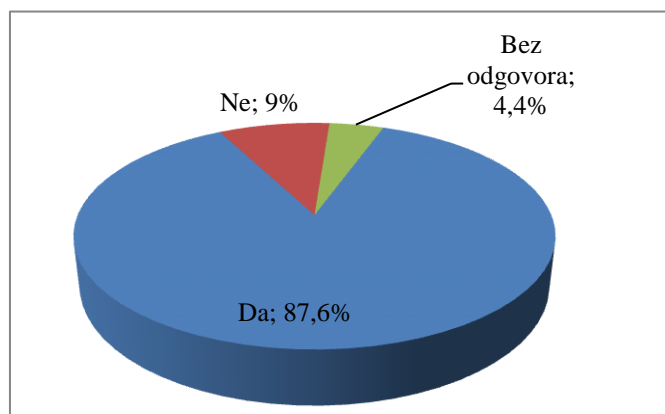
Slika 13. Spremnost ispitanika (N= 89) na plaćanje naknade za poboljšanje infrastrukture gospodarenja otpadom

S druge strane 40.4% ispitanika smatra da bi trebali primati naknadu kako bi odvojeno prikupljali otpad što je donekle sličan postotak onom u koji spadaju ispitanici koji ne žele plaćati naknadu za odvojeno prikupljanje otpada (Slika 14).



Slika 14. Odgovori ispitanika (N= 89) na pitanje „Smatrate li da biste trebali dobivati naknadu za odvojeno prikupljanje otpada?“

Međutim većina (87.6%) izjavljuje kako bi odvojeno prikupljala otpad kada bi time umanjili iznos računa za komunalne usluge (Slika 15).



Slika 15. Odgovori ispitanika (N= 89) na pitanje „Biste li odvojeno prikupljali otpada kada biste time smanjili iznos računa za komunalne usluge?“

Ispitanici su pitani i koliko bi to umanjjenje trebalo iznositi. Najviše ih je izjavilo kako bi odvajali otpad bez obzira na umanjjenje računa (43.8 %), dok od ostalih koji inzistiraju na umanjnju naknade, očekivano najveći broj njih (21.3 %) traži najveće moguće predloženo umanjjenje (više od 100 HRK godišnje). Izračunato prosječno samo za ispitanike koji inzistiraju na umanjnju taj iznos odgovara drugoj cijenovnoj kategoriji umanjnja naknade ($M = 2.06$, $SD = 0.87$, $N = 47$) u visini od 50 do 100 HRK godišnje. Dominantno, preferirano umanjjenje naknade je više od 100 HRK godišnje ($D = 3$). Uzevši u obzir kako je ipak najveći broj ljudi izjavio kako je spreman odvajati otpad i bez umanjnja naknade prihvatljiva visina umanjnja naknade bila bi ipak nešto niža – između 50 i 100 HRK godišnje.

- M – aritmetička sredina, u ovom slučaju se odnosi na prosjek od tri ponuđene cijenovne kategorije, dakle prosjek ordinalnih vrijednosti (1= do 50 HRK godišnje, 2= od 50 do 100 HRK godišnje, 3= više od 100 HRK godišnje)
- SD – standardna devijacija, mjera raspršenja rezultata - prosječno odstupanje rezultata od aritmetičke sredine
- N – broj ispitanika uzet u obzir
- D – dominantna vrijednost, rezultat koji se pojavljuje najveći broj puta. U ovom slučaju se odnosi na jednu od tri ponuđene cijenovne kategorije za koju se najveći broj ispitanika odlučio

4. ZAKLJUČAK

Iako je zakonodavni dio riješen, sustav gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj ne funkcionira u potpunosti. Infrastruktura koja treba podržati dobro zamišljen sustav gospodarenja otpadom je nedostatna ili se ne koristi na zadovoljavajući način. Problem je također i što samo mali dio stanovništva RH shvaća da je otpad najznačajniji problem zaštite okoliša u RH, a velik broj nema svijesti o potrebi odvojenog prikupljanja sekundarnih sirovina i recikliranju. Velik pomak bi se napravio kada bi se organizirao sustav razvrstavanja otpada na razini kućanstva koja bi tako odvojeno skupljala otpad namijenjen oporabi (papir, staklo, PET, limenke, staro željezo itd.) ili posebnoj obradi (baterije, ulja, bio-otpad, lijekovi) u odgovarajuće spremnike. Tome u prilog ide i činjenica da od ukupnog uzorka ispitanika 53.9% (48) ispitanika razvrstava otpad u vlastitom kućanstvu i to najviše odvajaju one vrste otpada za koje postoji odgovarajuća infrastruktura za odvojeno prikupljanje u vidu dostupnih spremnika (papir i karton (87.5%), PET boce (75%) i staklo (68.8%)). Zabrinjavajuća je činjenica da je 73.1 % ispitanika ustvrdilo kako u

blizini njihovog kućanstva nema dovoljno kontejnera za odvojeno skupljanje otpada. Sudjelovanje građana u zbrinjavanju otpada vrlo je važno, stoga je stalna edukacija, informiranje i obrazovanje te poticanje na promjene u ponašanju vezano uz odvojeno prikupljanje otpada preduvjet da bi se to postiglo. Time bi se stvorio osjećaj odgovornosti za zbrinjavanje otpada od pojedinca do globalnih razina. Također se pokazalo se da gotovo polovica (49.5%) ispitanih ne želi plaćati nikakvu naknadu dok je većina (56.2%) ipak spremna plaćati neku naknadu za poboljšanje infrastrukture gospodarenja otpadom ako bi to povećalo količinu odvojeno sakupljenog otpada, i to s tendencijom ka plaćanju najniže moguće naknade do 50 kn godišnje. Imajući u vidu da je sukladno članku 33. Zakona o održivom gospodarenju otpadom obveza davatelja javne usluge prikupljanja miješanog komunalnog otpada obračunavati cijenu korisniku usluge razmjerno količini predanog otpada u obračunskom razdoblju, pri čemu je kriterij količine otpada masa predanog otpada ili volumen spremnika otpada i broj pražnjenja spremnika, za očekivati je da će primjena Zakona o održivom gospodarenju otpadom u dijelu koji se odnosi na naplatu usluge prikupljanja miješanog komunalnog otpada imati vrlo dobar učinak na povećanje količine odvojeno prikupljanog otpada, budući većina ispitanika (87.6%) tvrdi kako bi odvojeno prikupljala otpad kada bi time umanjili iznos računa za komunalne usluge.

5. REFERENCE

- [1] Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o komunalnom otpadu za 2012. godinu, Zagreb, 2014.
- [2] De Coverly, E., McDonagh, P., O'Malley, L., Patterson, M.: Hidden Mountain. The Social Avoidance of Waste. *Journal of Macromarketing*. 28(3) (2008) 289-303
- [3] Ebreo, A., Vining, J.: How similar are recycling and waste reduction?, *Environment and Behavior*, 33(3) (2001) 424-448
- [4] Evison, T., Read, A.D. Local Authority recycling and waste awareness publicity/promotion. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 32, Elsevier B.V. (2001) 275-291.
- [5] Hazen, D. (2005): The Hidden Life of Garbage. An Interview with H. Rogers. *Alternet*. Dostupno na: <http://www.alternet.org/story/27456/?page=2> [02. rujna 2014]
- [6] Houtven, G.L.V., Morris, G.E. Household behaviour under alternative pay-as you-throw systems for solid waste disposal. *Land Economics*, Vol. 75, No. 4, University of Wisconsin Press (1999) 515–537
- [7] Vincente, P., Reis, E.: Factors Influencing Households Participation in Recycling. *Waste Management & Research*, 26(2) (2008) 140-146.

JAVNO PODUZEĆE SNAGA LJUBLJANA: KOMUNIKACIJA S KORISNICIMA, MEDIJIMA I DRUGOM JAVNOŠĆU

PUBLIC COMPANY SNAGA: EFFECTIVE COMMUNICATION WITH USERS, MEDIA AND
OTHER PUBLIC

Nina Sankovič^{1*}

¹Savjetnica za odnose s javnošću, Snaga, javno podjetje, d. o. o., Povšetova 6, Ljubljana
*e-mail kontakt: nina.sankovic@snaga.si

SAŽETAK

Javno poduzeće Snaga je usavršilo sustav odvojenog prikupljanja otpada (prema podacima organizacije „Zero waste Europe“ je Ljubljana prijestolnica u EU s najvećim udjelom odvojeno prikupljenog otpada), te potiče svoje korisnike da se uključe u ponašanja, koja su još poželjnija od recikliranja. Ovo su ponovno korištenje otpada i prevencija (u tome također smanjenje hrane u otpadu). Krajem 2013 u Snagi smo počeli sa inicijativom „jednokratno je uporabiti višekratno“, na koju su se vrlo dobro odazivali građani, mediji i struka. Cilj inicijative je bio predstaviti javnosti važnost daljnjeg korištenja i dugoročne promjene u ponašanju pojedinaca, smanjiti količinu hrane u otpadu i voditi još uvijek korisne stvari tamo gdje ih društvo najviše treba. Ključne aktivnosti održavaju se na web stranicama i društvenim mrežama, kao i izravnim kontaktom s korisnicima (događajima u gradskim četvrtima, posjeti školama, vrtićima, itd ..).

Snagin komunikacijski program se temelji na tri stupa:

- a. prioritetni smjerovi gospodarenja otpadom;
- b. komunikacijama, u koje je građanin aktivno uključen i u kojima se mijenja njegovo mišljenje i ponašanje;
- c. primjena suvremenih i user-friendly alata, koji ne uzrokuju dodatni otpad.

Ključne riječi: odvojeno prikupljanje otpada, ponovno korištenje otpada, prevencija, ozavešćavanje, Zero waste Europe, dvosmjerna komunikacija.

ABSTRACT

Public company Snaga has an advanced and effective system of separate waste collection (according to the organization “Zero Waste Europe” Ljubljana, among EU capitals, has the highest rate of separately collected waste) and encourages its users to engage in behaviours that are even more desirable than recycling i.e. reuse and waste prevention (also reducing food waste).

At the end of 2013 Snaga started an initiative “Get used to reuse” and it was very well accepted among citizens and spread quickly on the media. The main aim of the initiative is to present the importance of reuse and to change the behaviour of every each of us, to reduce the amount of food waste and to guide still useful goods to where the society needs it most. Key activities take place on websites and social networks as well as through direct contact with users (events in city quarters, school and preschool children education held by Snaga, etc.).

Snaga's communication program is based on three pillars:

- the priority directions on waste management, where waste prevention and reuse are top priorities;
- communication, that actively involves citizens and influences/changes their thinking and behavior;
- the application of modern and user-friendly tools that do not cause additional waste.

Key words: *separate waste collection, reuse of waste, prevention, Zero waste Europe, two-way communication.*

1. OD (STATIČNOG) OZAVEŠČAVANJA DO (AKTIVNIJE) KOMUNIKACIJE

Poput drugih komunalnih poduzeća u Sloveniji Snaga gotovo desetljeće u određenoj svijesti korisnicima, središnja tema bila je odvajanje otpada. Alati nisu prilagođene današnjem načinu života, dvosmjerna komunikacija bila mala.

Radikalne promjene su bile nužne, i tako od 2011 Snaga u provedbi komunikacijskog programa pravi izbor alata i pristupa, koji omogućuje da:

- građanin na jednostavan, brz, a i na njegov omiljeni način dobije informacije, odgovore, savjete i upute u odnosu na sve aspekte gospodarenja otpadom;
- građani upoznaju i u svoj stil života prenose filozofiju prevencije i ponovne uporabe otpada;
- je može proaktivan građanin imati mogućnost pružiti povratne informacije i mišljenja, a djeluje kao ambasador dobre prakse u svom položaju, socijalne, profesionalne organizacije, generacijskom okruženju.

Vrlo je bitno da smo kao najveće slovensko komunalno poduzeće postali svjesni svoje snage i odgovornosti koju imamo za promjenu (potrošačkih) obrazaca ponašanja naših korisnika, te smo počeli koristiti alate, koji našim korisnicima olakšaju život i omogućavaju brzu dvosmjernu komunikaciju.

Snaga za svakodnevnu komunikaciju sa svojim korisnicima (kao i novinari, nevladine udruge, itd) koristi Facebook (www.facebook.com/SnagaLjubljana) i Twitter (twitter.com/Snaga_reuse).

Društvene mreže se koriste za komunikaciju t. z. servisnih informacija, komunikacija unutar inicijative Jednokratno je stvari uporabljati višekratno, odgovarajući na pitanja, rješavanje problema na terenu, itd .



Slika 2 Twitter profil



Slika 1 Facebook strana

Upravljamo i tri web stranice, to su korporativna web stranica www.snaga.si, web stranicu za korisnice naših usluga www.mojiodpadki.si i digitalno napredno web stranicu www.ponovnauporaba.si.

Korporativna web stranica sadrži detaljne informacije o svim aktivnostima poduzeća Snaga. Zbog opsežnog sadržaja često je korisno za sve školarce i novinare.

Web stranica www.mojiodpadki.si je namijenjena za brzo informiranje i odnose sa poduzećem Snaga. Omogućuje naručivanje besplatnog SMS podsjetnika o rasporedu uklanjanja otpada, brzi pregled rasporeda i cjenika, korištenje e-otpada motora, poruke o promjenama kod korisnika i njegovih usluga putem e-forme, itd ..).



Slika 3. Web stranica www.mojiodpadki.si

Ove godine pokrenuli smo i treću stranicu www.ponovnauporaba.si, koja je na konferenciji o digitalnim komunikacijama DiggIt dobila zlatnu nagradu u kategoriji Javni sektor. Posjetitelj može birati između ulaska u avanturu ponovne uporabe ili obilazak sabirnog centra. Ilustrativan put tako, kojeg prelazi, ga na ohrabrujući i duhovit način nagovori, da (još više) radi i se ponaša odgovorno.



Sika 4. Web stranica www.ponovnauporaba.si

Svjesni smo, da je osim digitalnih stikova važan i osobni kontakt. Mi to jamčimo kroz Snagin Centra za podršku i pomoć korisnicima, gdje odgovaramo na telefonske pozive, e-mailove i prihvaćamo posjetitelje.

U prosjeku, svaki mjesec, preuzmemo 3.500 poziva, 2.000 e-mailova, 500 pisama i 300 redovnih posjetitelja.

2. DRUŠTVENO ODGOVORNA INICIJATIVA JEDNKRATNO JE STVARI UPORABLJATI VIŠEKRATNO

Prioritetne smjernice za gospodarenje otpadom Snaga komunicira putem inicijative Jednokratno je stvari uporabljati višekratno. Širi javnosti smo se prvi put obratili kroz glazbu, kroz pjesmu Letiva autora Ota Pestnerja, koji je bila prvi put emitirana u g. 1978, a zatim je bila zaboravljena. Snaga je pjesma ponovno uporabila u obliku [video manifesta](#) za ponovnu uporabu, božićnu radio i E-čestitku ...



Slika 5. Manifest ponovne uporabe

Glavni cilj inicijative je, da promijeni ponašanje i vrijednosti (pojedinaca i društva u cjelini), s aktivnostima pa Snaga:

- Sprječava, da u crnom kontejneru (i na odlagalištu) nema stvari koje pripadaju u centru ponovne uporabe ili sabirnom centru;
- poticati promišljeno i do sebe, okoliš i novčanik odgovornu potrošnju;
- smanjuje količinu hrane u otpadu;
- promiče razmjenu / darivanje stvari koje pojedinac više ne treba;
- potiče suradnju između komunalnih poduzeća, nevladinih organizacija, općina, kreatori stvari s dodanom vrijednošću, udrugama građana, itd ..

Budući da inicijativa ima za cilj poticanje ponovne upotrebe i za sebe, okoliš i društveno odgovorno potrošaštvo, smo bili također kod izbora komunikacijskih kanala pozorni na to, da proizvedemo minimalni dodatni otpad i kreativno koristimo alate, koje imamo na raspolaganju. Na primjer, uporabili smo kontejnere za ostatak komunalnog otpada kao sredstvo za približavanje našeg manifesta svim građanima Ljubljane i okolice, uporabili smo i Snagine reklamne stupove, koji se nalaze u središtu grada. Inače smo javnost nagovarali uglavnom putem društvenih mreža i događaja.



Slika 6. Plakat i naljepnica na kontejneru

Organizirali smo niz edukativnih i kreativnih događanja za škole i vrtiće, kreativne radionice za različite generacije, druženje s građanima u gradskim četvrtima ... Događajima i radionicama u Snagi i Centru ponovne uporabe je u roku šest mjeseci prisustvovalo više od tri tisuće ljudi, a procjenjuje se, da je u središtu grada i prigradskih općina naljepnice i plakate promatralo više od 70.000 ljudi. Inicijativa je naišla na dobar medijski odgovor (zabilježeno je više od 60 pozitivnih novinarstva), to je dobra i važna inicijativa, koju je primijetila i struka. Žiri ovogodišnjeg slovenskog festivala oglašavanja je poduzeću Snaga za jednokratnu inicijativu Jednokratno je stvari koristiti višekratno dodijelio glavnu nagradu za cjelokupnu kampanju i velikom nagradom da se stvori i *oznamčeni* sadržaji. Glavne nagrade pokazuju, da je i u Sloveniji oglašavanje sve više svjesno svoje moći i odgovornosti u ko-kreiranju sadržaja, koji će pomoći postići pozitivne promjene u društvu.



Slika 7. Objavljanje v life style revijama

Plodovi našeg rada se kažu u činjenici da posjet Centra ponovne uporabe u Ljubljani stalno raste, sve više i više građana zna i razumije, što su prevencija i ponovna uporaba (mjereno panelom), za još bolje učinke, smo Snagino inicijativu i nadograditi kroz Komoru komunalnog gospodarstva i na nacionalnoj razini (inicijativa Za bolje društvo).

3. POSEBNI PROGRAM ZA UČENIKE OSNOVNIH, ĐACE I STUDENTE

Prošle godine smo pokrenuli poseban pilot program obrazovanja, koji se temelji prvenstveno na promociji ponovnog korištenja i sprječavanje nastanka otpada. Kroz suradnju sa školama smo primijetili, da u mnogim školama i učionicama prije svega razgovaraju o odvajanju otpada, a prioritetni red rada s otpadom ostane u pozadini.

Između travnja i lipnja 2014 program je proveden za oko 2.500 mladih ljudi i ugotovili– uključujući i putem ankete nakon posjeta– koji ciljevi se postiže (s osnovnom porukom, likeability, uključenost, sudjelovanje i razumijevanje učenika o pitanjima i visokom vjerojatnošću promjene u ponašanju od manje do više poželjnog ponašanja). Program se temelji na interaktivnosti i poticanju nezavisnog razmišljanja i izražavanja svojih stavova u vezi s problemom zbrinjavanja otpada. Pogodan je za učenike od trećeg razreda nadalje, ima točan sadržaj, opseg i dinamika programa je prilagođena svakoj grupi / razredu.

Prvi dio se odvija u učionici poduzeća Snaga, podržava prezentaciju i video, traje 30 do 60 minuta (ovisno o dobi učenika, vrijeme koje imaju na raspolaganju, itd ...).

Učenici otvaraju ključne teme (s provokativnim tezama / pitanja s fotografijom, video) i razgovaramo o njima, argumentiramo trenutna ponašanja i razmišljanja, kao i na ugladen i razumljiv način otkrivamo pojmove poput prevencije, ponovne upotrebe odbačene hrane ...

Na kraju si pogledamo na Snagine web-stranice i pokažemo učenicima, kako pronaći informacije koje su im potrebne (e-potraživač otpada, rasporedi ...). Drugi dio je posjet centru za ponovnu uporabu (susjedna zgrada), koji je zapravo atraktivna trgovina sa nizom radionica. Na tom mjestu dobiju novu priliku stvari, koje pojedinci ne trebaju više, a priliku dobiju i ljudi, koji imaju poteškoća u pronalaženju svog radnog mjesta. Ovdje mladi ljudi uče o važnosti kreativnosti, inovativnosti, socijalnom poduzetništvu, stvaranju zelenih radnih mjesta, uključujući i marginalne skupine ...). Ogled i posjet traje 20 do 30 minuta. Na početku školske godine su

pozvane na sudjelovanje sve škole u Ljubljani, a samo je u rujna 2014 došlo u posjet oko 250 učenika i studenata.

4. MJERENJE REZULTATA I POVRATNE INFORMACIJE OD KORISNIKA

Čak su i reakcije građana i rezultati ankete pokazuju da je smjer, u koju vodu Snaga građane u Ljubljani, prava. U kontinuiranoj anketi istraživanja javnoga mnijenja na uzorku stalne grupe građana, koje se intervjuja četiri, puta godišnje, kako bi istražili odnos građana u Ljubljani d poduzeća Snaga ili njegovih aktivnosti. Gotovo 70 posto ispitanika stvari koje više ne treba vodi u sabirni centar (tu je i poseban kutak za ponovnu uporabu proizvoda) ili organizirati njegovu ponovnu uporabu. Posljednju Snagina publikaciju posvećenu svim domaćinstvima na području zbrinjavanja otpada je čitalo ili prelistalo 83,8 posto. Značajan dio publikacije bio je usmjeren na komunikaciju prevenciju i ponovno korištenje.

U anketi prije proljeća se je 78,4% ispitanika izjasnila, da podržavaju ideju, da bi Ljubljana usvojila Zero waste Plan gospodarenja otpadom.



Slika 8. Događaj ispred Gradske vijećnice dan ulaza Ljubljane u Zero Waste mrežu

5. PRIJENOS INICIJATIVE NA NACIONALNU RAZINU

Zajedno za bolje društvo je inicijativa, koja je pod pokroviteljstvom Komore komunalnog gospodarstva povezala slovenska komunalna poduzeća, koji žele smanjiti količinu hrane u otpadu, kritički utjecati na planirane kupovine svojih korisnika, piti vodu iz slavine umjesto u bocama, kupiti više stvari iz druge ruke ili ih uzimati na posudu ... Komunalnih poduzeća na jedinstven način kroz razne alate (web stranicama, naljepnice, plakatima, itd ..) komuniciraju sa svojim korisnicima i potaknuti ih da promijene svoje razmišljanje i ponašanje. Krajnji je cilj doprinijeti održivom društvu.

SKUPAJ ZA BOLJŠO DRUŽBO



SLOVENSKA KOMUNALNA PODJETJA



MODELI ZA MJERENJE PREVENCIJE OTPADA

MODELS FOR MEASURING PREVENTION OF WASTE

Predrag Korica, univ. spec. aliment. techn., struč. spec. ing. sec., struč. spec. cin.*¹;
Natalija Golubovac, dipl. ing.¹

¹Agencija za zaštitu okoliša, Trg maršala Tita 8, Zagreb

*e-mail kontakt: predrag.korica@azo.hr

SAŽETAK

Glavni problem s ispunjenjem zahtjeva Europske Unije za donošenjem nacionalnih planova prevencije nastanka otpada je mjerenje prevencije otpada. Znanstvenici se s ovim problemom nose korištenjem ekonometrijskih modela i modela za provođenje procjene životnog ciklusa nekog proizvoda ili aktivnosti. Ekonometrijski modeli se koriste za analiziranje povezanosti između proizvodnje otpada i ekonomskih aktivnosti. Modeli procjene životnog ciklusa služe za procjenjivanje dobrobiti i nedostataka korištenja svih resursa tijekom cijelog životnog vijeka nekog proizvoda, procesa ili djelatnosti. Iako ovi modeli nisu potpuno rješenje za kvantifikaciju učinaka prevencije nastanka otpada, oni čine učinke tih aktivnosti lakše razumljivima. Na razini Europske Unije glavni pristup za evaluaciju provedbe prevencije nastanka otpada je promatranje odnosa između količina proizvedenog otpada i nekog od indikatora ekonomske aktivnosti kroz godine. Najveći problem s korištenjem svih modela mjerenja prevencije otpada je nedovoljna raspoloživost podataka potrebnih za izradu modela. U ovom radu daje se literaturni pregled modela za mjerenje prevencije nastanka otpada.

Ključne riječi: *prevencija nastanka otpada, mjerenje prevencije nastanka otpada, procjena životnog ciklusa*

ABSTRACT

The main issue with the fulfilment of the demands of the European Union towards the adaptation of national waste prevention plans is the measuring of waste prevention. Scientists cope with this problem by using econometrical models and models for life cycle assessment of certain product or activity. Econometric models are used for the analysis of connections between the production of waste and economic activities. Life cycle assessment models have been primarily developed for the assessments of benefits and weaknesses of usage of resources during the entire life span of certain product, process or activity. Although these models are not complete solutions for the quantification of the effects of waste prevention, they make impacts of those activities more understandable. On the level of European Union, main approach for the evaluation of the implementation of waste prevention is to observe the relation between the amounts of produced waste and one of indicators of economic activity through the years. The biggest problem with the appliance of all models for waste prevention measuring is insufficient availability of data needed for the development of models. In this paper literature review of the models for measuring waste prevention is given.

Keywords: *waste prevention, measuring waste prevention, life cycle assessment*

1. UVOD

Okvirna direktiva o otpadu definira gospodarenje otpadom kao skupljanje, transport, uporabu ili zbrinjavanje otpada, uključujući nadgledanje takvih operacija i vođenje računa o lokacijama zbrinjavanja otpada nakon zatvaranja, uključujući akcije poduzete od strane dobavljača ili posrednika [10]. Hijerarhija otpada se obično prikazuje kao piramida na vrh koje je postavljena prevencija i smanjivanje otpada, koju slijede ponovna uporaba, recikliranje i energetska uporaba gdje se kao zadnja opcija nalazi odlaganje otpada [9][36]. Direktiva o otpadu dopušta odstupanje od hijerarhije ovisno o situaciji, a više autora predlaže da bi se stvarni poredak različitih opcija gospodarenja otpadom trebao utvrditi analizom uzimajući u obzir različite vrste otpada u različitim situacijama [6][26][31]. Iako je često recikliranje najprihvatljiviji oblik gospodarenja otpadom za širu javnost, postoje mnogi problemi s njenim provođenjem, naročito kad je u pitanju komunalni otpad [19][11]. Također, ostale opcije gospodarenja otpadom mogu dovesti do određenih gubitaka u resursima i pridonijeti dodatnom onečišćenju, odnosno opterećenju okoliša [19]. Prevencija i minimalizacija smanjuju količine otpada te time eliminiraju potrebu za mjerama tretiranja otpada. Iz ovih razloga Okvirna direktiva o otpadu zahtjeva od svake države članice EU donošenja vlastitih planova prevencije nastanka otpada [10]. Međutim, provedba odredbi vezano uz prevenciju nastanka otpada slabo je implementirana i mali napredci su učinjeni. Osim što mjere prevencije otpada imaju vlastite probleme s provođenjem (npr. ponašanje potrošača), evidentan je i problem mjerenja uspješnosti prevencije nastanka otpada [32]. Većina znanstvene i stručne javnosti je sažela ovaj problem u jedno pitanje: „Kako mjeriti nešto što ne postoji?“ [33]. Uzrok ovomu je to što se sudjelovanje ne može promatrati vizualno kao što se može s nekim od oblika tretiranja otpada ili što se promjene ne mogu sa sigurnošću pripisati uspješnosti provođenja preventivnih mjera odvojeno od tretiranja otpada. Jedina grupa pokazatelja oko koje postoji čvrsti konsenzus je „odvajanje rasta BDP-a od rasta količina proizvedenog otpada“ pa postoji potreba za razvijanjem novih pokazatelja koji bi se mogli izravnije primijeniti za usmjeravanje razvoja politika i legislative [16][34]. Upravo iz razloga što efikasno mjerenje učinkovitosti provedbe mjera i aktivnosti sprječavanja nastanka otpada ovisi o širokom i složenom spektru faktora; razina gospodarske aktivnosti, promjene tržišta, demografske promjene (npr. broj i veličina kućanstava), tehnološke inovacije, kulturni aspekti životnog stila i dr. prilikom odabira mjera, a što je usko vezano i za definiranje pokazatelja, analiza raspoloživosti i kvalitete podataka od izuzetne je važnosti kad se izrađuje nacionalni plan prevencije otpada [18]. U studiji koju je 2004. godine pokrenula Organizacija za ekonomsku suradnju i razvoj ističe nekoliko problema vezanih uz monitoring prevencije otpada [27]:

- Prevencija otpada se može samo mjeriti indirektno kao nešto što se moglo dogoditi (npr. kao količina otpada koja je mogla biti proizvedena u odsutnosti mjere prevencije),
- Većina mjera prevencije je usmjerena na gornje tokove procesa, npr. prema utjecanju na ponašanje primarno proizvođača i potrošača,
- Učinci ne moraju uvijek biti smanjenje količine (npr. smanjenje u opasnim svojstvima, smanjenje emisija stakleničkih plinova i sl.),
- Učinci nekih aktivnosti prevencije otpada ponekad trebaju neko vrijeme prije nego se pojave i
- Prevencija otpada usmjerava pažnju prema tome s kakvim otpadom i s kolikom količinom otpada će se morati gospodariti pa neke mjere prevencije obuhvaćaju i druge opcije gospodarenja otpadom kao npr. dizajnirati proizvod tako da se može ponovno upotrijebiti ili lakše reciklirati.

Povezanost između količina otpada i ekonomskih varijabli je najčešće korištena skupina pokazatelja prevencije otpada u Europskoj uniji, a temelji se na tvrdnji da ukoliko se količina

otpada smanji neovisno od ekonomskih i populacijskih fluktuacija, prevencija nastanka otpada ide u pravom smjeru. Primjenjujući ovu tezu o povezanosti količina otpada s ekonomskim varijablama, mnogi autori su koristili ekonometrijske modele kako bi analizirali ove povezanosti te da bi odredili buduće količine otpada u državama članicama EU tako što su izradili korelacije između proizvedenih količina otpada, prihoda i ekonomske aktivnosti [1][4][28][35][38].

Neki autori vjeruju da se optimizacija uporabe energije i materijala iz aktivnosti gospodarenja otpadom, pa tako i prevencije otpada, može učiniti mogućom samo ako se učini procjena gospodarenja otpadom iz perspektive jednog sustava [17]. Jedan od najkorisnijih alata za takvo modeliranje su modeli za provođenje procjene životnog ciklusa (eng. life-cycle assessment - LCA) koji se mogu primijeniti kako bi se procijenile koristi od prevencije nastanka otpada u određenoj državi. Modeli koje autori pri tome koriste su varijacije internacionalnog standarda „ISO 14040 Life Cycle Assessment – LCA”, a ova se metodologija se može primijeniti kako bi se ocijenile mjere prevencije otpada i kako bi se njome ostvarili optimalni očekivani rezultati, imajući pri tome na umu raspoloživost podataka [16][21][34].

2. PRISTUP PROCJENE ŽIVOTNOG CIKLUSA U MJERENJU PREVENCIJE OTPADA

Procjena životnog ciklusa je skup tehnika koje se razvijaju u svrhu otkrivanja i razumijevanja utjecaja koji proizvodi i aktivnosti imaju na okoliš, društvenu strukturu i ekonomiju. Kako bi se nosilo s rastućom složenošću u području gospodarenja otpadom, razvijen je veći broj modela za provođenje procjene životnog ciklusa, a s obzirom da se razvijaju dugi niz godina, modeli koji su nastali kasnije koristili su iskustava stečena kod ranijih modela te je razvijen veliki broj ovjerenih setova podataka s visokim obuhvatom i kvalitetom ovih podataka [16]. Ova vrsta procjene uključuje cijeli životni ciklus određenog proizvoda, procesa ili aktivnosti, a naglašava nabavku i procesiranje sirovih materijala, proizvodnju, transport i distribuciju, konzumiranje (korištenje) proizvoda, održavanje, ponovnu uporabu, oporabu i konačno zbrinjavanje [49]. S obzirom da se ovom procjenom obuhvaćaju svi resursi koji ulaze ili napuštaju sustav nekog proizvoda kao i potencijalni utjecaji na okoliš toga proizvoda kroz cijeli njegov životni ciklus, ovaj pristup naziva se “pristupom životnog ciklusa” [20].

Procjena životnog ciklusa zbog svoje sveobuhvatnosti je ograničena s nekim čimbenicima koji bi se trebali prepoznati prilikom provođenja ove analize, a koji uključuju [21][23]:

- troškove i resurse potrebne za provođenje analize,
- vremenske i prostorne dimenzije studije,
- raspoloživost i količinu podataka,
- određivanje i analizu nesigurnosti,
- prijenos informacija o rezultatima (npr. pojednostavljenje rezultata),
- subjektivnost prilikom odabira (npr. granica sustava, izvora informacija, utjecaja na okoliš),
- modeli se moraju bazirati na pretpostavkama,
- rezultati koji se baziraju na globalnom, lokalnom ili regionalnom nivou nisu uvijek primjenjivi u sva tri slučaja (npr. lokalni uvjeti u jednoj državi nisu uvijek primjenjivi na cijelu regiju (više država u okruženju)).

Autori obično pristupe provođenju analize životnog ciklusa dijele na dva osnovna pristupa:

1. Atribucijsku procjena životnog ciklusa i
2. Posljedičnu procjenu životnog ciklusa.

Atribucijska procjena životnog ciklusa se koristi kako bi se opisao sustav i njegove izmjene s okolišem unutar predefiniраниh granica [29]. Atribucijska procjena može imati oblik

tradicionalnog proizvoda (usporedba dvaju sustava proizvoda) ili oblik gospodarenja otpadom (koristi se za usporedbu sustava gospodarenja otpadom nekog proizvoda) [7][9].

Posljedična procjena životnog ciklusa je model posljedičnih povezanosti koji nastaju iz određenih odluka, a odnose se na široke učinke na ekonomiju koje imaju promjene u ulazima i izlazima resursa iz okoliša u sustav [5][7].

U pogledu procjenjivanja prevencije otpada, postoji manjak dokaza iz provedenih analiza životnog ciklusa otpada koji se odnose na prednosti po okoliš pojedine aktivnosti prevencije otpada. Ovaj manjak dokaza je posljedica isključivanja utjecaja prevencije otpada iz granica sustava tradicionalne procjene životnog ciklusa, koja se koristila prilikom ocjenjivanja utjecaja na okoliš sustava gospodarenja otpadom [6]. Iako se procjene životnog ciklusa koriste da bi se potvrdio poredak hijerarhije otpada u identificiranju onih tokova otpada koji imaju najmanje štetne učinke po okoliš, prevencija otpada, kao prva opcija u hijerarhiji, je često isključena iz ovih evaluacija [12]. Također, iako prevencija nastanka otpada nije opcija tretiranja otpada, nedostatak otpada je rezultat primjene prevencije otpada pa se u korištenju pristupa procjene životnog ciklusa može smatrati funkcionalnim ekvivalentom opcijama tretiranja otpada [5].

Kako bi se pojednostavnilo modeliranje, neki autori uklanjaju gornje tokove procesa (procesu do trenutka proizvodnje otpada) uz pretpostavku da se ti procesi ne mijenjaju ako se prevencijom utječe samo na gospodarenje otpadom [15][5]. Međutim, samo djelomično, jer prevencija utječe na proizvodnju (npr. ponovna uporaba smanjuje potrebu za novim proizvodima) [15]. Često također smatra prevenciju otpada kroz dematerijalizaciju funkcionalnim ekvivalentom drugim oblicima gospodarenja otpadom, ali ne smatra smanjenu potrošnju funkcionalnim ekvivalentom ostalim oblicima iz razloga jer aktivnosti tretiranja otpadom ne utječu na sastav i broj usluga proizvoda kojima se snabdijevaju stanovnici preko sustava proizvoda koji generira otpad [5]. Autori u svojim modelima procjene životnog ciklusa često razvijaju dva scenarija koja međusobno uspoređuju: npr. temeljni scenarij koji sadrži stanje gospodarenja otpadom kakvo je u stvarnosti i scenarij prevencije koji pokazuje stanje kakvo bi bilo da se primjeni neka aktivnost prevencije otpada [5][34] ili npr. dva hipotetska modela koja prikazuju u kojim slučajevima bi prevencija otpada mogla imati najveći učinak [15]. Također, moguće je procijeniti kvantitativni učinak prevencije otpada, tj. procijeniti koliku količinu otpada je maksimalno moguće spriječiti nekom od akcija [30]. Nesigurnosti u provođenju procjena životnog ciklusa su uvijek vezane uz količinu i raspoloživost podataka. Što je više službenih podataka dostupno (npr. službene statistike o prodaji, skupljenom otpadu, težini proizvoda i sl.) manja je razina nesigurnosti u procjeni. Podaci koji nedostaju mogu se skupiti vlastitim mjerenjima, anketiranjem ili se mogu uzeti procjene iz drugih sličnih studija čime se te nesigurnosti prenose u model procjene životnog ciklusa i pribrajaju na ostale nesigurnosti koje tamo već postoje. U krajnjim slučajevima potpunog nedostatka podataka, moguće je koristiti vlastite pretpostavke koje predstavljaju najvišu razinu nesigurnosti. Sve nesigurnosti potrebno je u studiji navesti, opisati i objasniti razloge korištenja [21].

3. PRISTUP EKONOMETRIJSKIH MODELA U MJERENJU PREVENCIJE OTPADA

Imajući u vidu već spomenutu tezu o povezanosti rasta BDP-a s količinama proizvedenog otpada, znatan broj autora koristi ekonometrijske modele kako bi analizirali povezanosti između ekonomske aktivnosti i proizvodnje otpada [38]. Ekonometrijski modeli se tako koriste kako bi se odredile buduće količine otpada na temelju korelacija između proizvedenih količina otpada i rasta populacije, osobnih prihoda stanovništva i ekonomskih aktivnosti [35][38]. Također, u novije vrijeme neki autori koriste „Računalne modele ekonomske ravnoteže“ (Computable General Equilibrium (CGE) models) kako bi pokušali predvidjeti razvoj situacije nakon primjena

mjera prevencije otpada [34]. CGE modeli predstavljaju jedan od mostova između ekonomske teorije i prakse, koji istovremeno predstavljaju jedan od najefikasnijih alata koji ekonomska teorija u ovom trenutku može ponuditi, a služe analizi učinaka mjera ekonomske politike, djelovanje kojih se utvrđuje simulacijom tržišnog mehanizma [37]. Ovi modeli se grade na općoj teoriji ravnoteže koja kombinira pretpostavke o ponašanju na racionalnim ekonomskim agentima zajedno s analizom ravnotežnih uvjeta. Oni omogućavaju oprečne ex ante usporedbe, procjenjujući završne rezultate s provedenom reformom s onim što bi se moglo dogoditi da se nije provela [4].

Tijekom godina, u puno studija je istraživana povezanost između onečišćenja i ekonomskog rasta te su iznijeti dokazi da neka onečišćenja slijede obrnutu U-krivulju u odnosu na prihod po glavi stanovnika - krivulju najčešće nazivanu Kuznetova okolišna krivulja (eng. Environmental Kuznets Curve). Krivulja pokazuje da kako država postaje bogatija, u početku emisije u okoliš rastu, a nakon nekog vremena počnu opadati. Iako ova promatranja vode do zaključaka da povezanost između rasta prihoda i unapređenja u zaštiti okoliša može osigurati daljnji napredak, postoje mnogi čimbenici koji utječu na okoliš u suprotnim smjerovima, a ne postoje niti garancije da će se ovi trendovi nastaviti u budućnosti [2]. U analizi koju su proveli Khajuria et al. u 2012. godini, kao pokazatelj ekonomskog rasta korišten je postotak BDŠ-e (postotak bruto domaće štednje u BDP-u) umjesto BDP-a jer su autori smatrali da je ovo osjetljiviji pokazatelj financijskog kapaciteta za plaćanjem unapređenja u zaštiti okoliša. BDŠ ima općenito veću korelaciju s BDP-om, međutim, samo u tijeku industrijalizacije u zemljama u razvoju. BDP se povećava ranije od BDŠ-e zbog intenzivne industrijske proizvodnje. Posljedično, postotak BDŠ-e u BDP-u se povećava kasnije, tek nakon što se nakupilo dovoljno investicijskog oporavka iz industrijske proizvodnje, i tada se dio ušteda može koristiti za mjere zaštite okoliša [24]. Studija koju su proveli Mazzanti i Zoboli 2008. godine na podacima za 15 i 25 Država članica EU** ne pokazuju općenito kretanje po Kuznetovoj krivulji kada je u pitanju proizvodnja otpada, nego se količina proizvedenog komunalnog otpada povećava skladno s prihodima. Studija je pokazala da se Kuznetova krivulja u ovom slučaju može primijeniti na količine odloženog otpada [25].

**EU15 označava grupu zapadnih država članica EU, EU25 označava ukupnu grupu EU država članica nakon novih članica primljenih u 2006. godini, većinom istočnih zemalja (npr. Poljska).

U studiji provedenoj na primjeru švedske ekonomije u 2010. godini uspoređivani su intenziteti proizvodnje otpada u dva scenarija za razdoblje od 2006. do 2030. godine: scenarij razdvajanja u kojemu se događa razdvajanje rasta BDP-a i proizvedenih količina otpada te temeljni scenarij u kojemu se predviđa nastavljanje trendova kakvi postoje do sada. U temeljnom scenariju, autori su pretpostavili da će se intenziteti povezani s potrošnjom materijala povećati, dok će intenziteti povezani s proizvodnjom i kućanstvima ostati nepromijenjeni. U postavljanju scenarija razdvajanja, autori su smanjivali sve intenzitete kako bi postigli apsolutno razdvajanje u generiranju otpada. U ovoj studiji korištena je varijacija statičnog CGE modela za povezivanje proizvodnje otpada na potrošnju materijala u tvrtkama, na proizvodnju tvrtke i na potrošnju kućanstava projicirajući buduće količine opasnog i neopasnog otpada u Švedskoj. Ovaj model je nazvan Okolišni srednjoročni ekonomski model (eng. Environmental Medium Term Economic Model), a obuhvaća 26 vrsta industrija i 33 vrsta proizvoda od miješanih materijala [34].

Kako bi se pomoglo u mjerenju prevencije na nacionalnom nivou, u studiji zatraženoj od Europske komisije o proizvodnji i prevenciji biootpada predloženo je nekoliko pokazatelja koji obuhvaćaju:

- Razdvajanje proizvodnje više vrsta otpada za koje postoje vremenski nizovi podataka (npr. komunalni otpad, otpadna vozila i sl.) od troškova privatne potrošnje,
- Produktivnost resursa – omjer BDP-a i domaće materijalne potrošnje i

- Minimalizacija ambalažnog otpada – omjer ukupne količine ambalažnog otpada i ukupne količine pakiranih proizvoda.

Autori ove studije su problem računanja razdvajanja proizvodnje otpada od gospodarskih varijabli riješili na način da su podijelili kosinu linearne regresije proizvodnje otpada tijekom zadnjih 5 godina (indeksiranih na najraniju godinu) s kosinom linearne regresije troškova privatne potrošnje tijekom zadnjih 5 godina (indeksiranih na najraniju godinu) [14]. Kako bi rezultat jasnije pokazivao je li se razdvajanje uistinu i dogodilo, u drugoj studiji zatraženoj od Europske komisije u 2012. godini u kojoj se napravio analitički pregled dostignuća u gospodarenju otpadom unutar članica EU, njeni autori su prepravili gore spomenutu formulu na način da glasi [3]:

$$D_{y-5 \rightarrow y} = b(EP)_{y-5 \rightarrow y} - b(DF)_{y-5 \rightarrow y} \quad (1)$$

Gdje je:

- $D_{y-5 \rightarrow y}$ = pokazatelj razdvajanja za interval od 5 godina, računajući od najranije godine
- $b(EP)_{y-5 \rightarrow y}$ = kosina linearne regresije proizvodnje otpada (okolišni pritisak) tijekom zadnjih 5 godina, EP je izražen kao indeks gdje najranija godina iznosi 100
- $b(DF)_{y-5 \rightarrow y}$ = kosina linearne regresije troškova privatne potrošnje (generator) tijekom zadnjih 5 godina, DF je izražen kao indeks gdje najranija godina iznosi 100
- $D > 0$: razdvajanje | $D \sim 0$: spajanje | $D < 0$: obrnuto razdvajanje.

Studija je pokazala da države članice s manjom, ali rastućom razinom potrošnje imaju bolje rezultate od država članica sa višim stupnjem potrošnje. Što je viši stupanj potrošnje, teže je postići razdvajanje. Autori su napravili izračun za razdoblje od 2000. do 2010. godine na način da su računali po pet godina te uspoređivali promjene u iznosima rezultata. Razina razdvajanja se općenito smanjuje, osim za nekoliko država članica (BE, IE, IT, MT, NL, AT, SK i SE). Ekonomska kriza je naročito vidljiva u zadnjim periodima (2005. - 2009. i 2006. – 2010.) i najčešće vodi ka smanjenom razdvajanju. Ono što su pokazali rezultati za neke države članice je da postoji i obrnuto razdvajanje tj. da ima slučajeve u kojima rast BDP-a nema značajan utjecaj na proizvodnju otpada [3]. Ovo samo ističe potrebu za pronalaženjem pokazatelja u kojima rezultati jedne varijable imaju značajan (dominantan) utjecaj na varijable koje opisuju stvaranje otpada. Problem s gore navedenim računanjem je i taj što linearna regresija pretvara iznose tijekom godina u pravac te se ne vide variranja tijekom godina ukoliko se pokazatelj ne prikaže i grafički. Ovakvo računanje pokazuje samo raste li ili ne paralelno s ekonomskim varijablama i količina proizvedenog otpada, ne pokazuje u kolikom udjelu neka ekonomska varijabla utječe na količinu proizvedenog otpada. Također, ukoliko je postojala veza između neke ekonomske varijable i proizvodnje otpada, ona je u nekom udjelu postojala samo do trenutka implementacije neke mjere prevencije otpada, a od toga trenutka razina utjecaja se promijenila. U studiji provedenoj u Novom Južnom Walesu predlaže se koristiti podatke o populaciji ili BDP-u kako bi se koristeći linearnu regresiju projicirale količine koje su se mogle proizvesti neke godine na temelju stopa proizvodnje otpada prijašnjih godina. Razlika između projicirane i stvarne izmjerene količine proizvedenog otpada daje sliku o tome je li se uspjelo izbjeći nastajanje otpada [8].

4. ZAKLJUČAK

Mjerenje prevencije nastanka otpada jedan je od ključnih problema pri implementaciji mjera prevencije otpada u Europskoj uniji. Kako bi se nosili s ovim problemom, znanstvena i stručna javnost se za evaluaciju prevencije otpada služi kao alatima modelima za procjenu životnog

ciklusa i ekonometrijskim modelima za analiziranje povezanosti između ekonomskih aktivnosti i proizvodnje otpada. Modifikacije modela procjene životnog ciklusa bile su potrebne jer je prevencija otpada u početku bila isključena iz granica sustava tradicionalnih procjena životnog ciklusa. Ekonometrijski modeli služe za analiziranje povezanosti između ekonomskih aktivnosti i proizvodnje otpada te također za predviđanje budućih trendova. Modelom Računalne ekonomske ravnoteže se mogu analizirati mjere ekonomske politike, odnosno njihovo djelovanje pomoću simuliranja te je vrijedan alat pri procjenama učinaka prevencije otpada. Iako ove metodologije i dalje ne daju potpuno rješenje kako mjeriti prevenciju otpada, one daju donositeljima odluka uvid u moguće učinke tako što ih čine lakše primjetnima i razumljivijima. Na nivou članica EU, najviše prihvaćena vrsta pokazatelja prevencije je usporedba razdvajanja ekonomskih varijabli s količinama proizvedenog otpada. Osim što se ovo razdvajanje može prikazati najbolje grafički, predlaže se i korištenje linearne regresije kako bi se usporedile dvije kosine ekonomske varijable i varijable količina proizvedenog otpada. Kako bi se mjere prevencije uistinu mogle odabrati, primjenjivati i poticati, potrebno je i dalje razvijati modele mjerenja prevencije otpada. Primjena statističkih i drugih matematičkih modela za utvrđivanje povezanosti proizvodnje otpada s društvenim i ekonomskim čimbenicima sigurno je jedan od najefikasnijih načina kvantifikacije učinaka prevencije, a primjena pristupa analize životnog ciklusa nekog proizvoda ili procesa može služiti kao dobar pokazatelj da mjera smanjivanja proizvodnje otpada neće stvoriti remećenja u drugim sektorima (npr. u proizvodnji, zaštiti otpadnih voda, korištenju energije i sl.).

5. REFERENCE

- [1] Abrate G., Ferraris M.: The Environmental Kuznets Curve in the Municipal Solid Waste Sector, Working Paper 2010/1, Hermes, Moncalieri.
- [2] Bartoszczuk P., Ma T., Nakamori Y.: Environmental Kuznets Curve for Some Countries—Regression and Ageng-Based Approach. Air Pollution-International Conference 2002, p. 93-102.
- [3] BiPRO (2012) Screening of waste management performance of EU Member States. Report submitted under the EC project “Support to Member States in improving waste management based on assessment of Member States’ performance”. Report prepared for the European Commission DG ENV by Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen (BiPRO), Munich.
- [4] Böhringer C., Löschel A.: Computable general equilibrium models for sustainability impact assessment: Status quo and prospects, *Ecological Economics* 60 (2006), 49 – 64.
- [5] Cleary, J.: Incorporating Waste Prevention Activities into Life Cycle Assessments of Residential Solid Waste Management Systems – A thesis submitted in conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, University of Toronto, Toronto, 2012.
- [6] Cleary, J.: Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature, *Environment International* 35(8) (2009), 1256–1266.
- [7] Coleman T., Masoni P., Dryer A., McDougall F.: International expert group on life-cycle assessment for integrated waste management. *Int. J. LCA* 8(3) (2003), 175-178.
- [8] DECNSW, (2004) Producing and consuming efficiently to conserve our resources, Department of Environment and Conservation (NSW), Parramatta NSW, Australia.10
- [9] Del Borghi A., Gallo M., Del Borghi M.: A survey of life cycle approaches in waste management, *Int. J. LCA* 14 (2009), 597-610.

- [10] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, Official Journal of the European Communities L 312(2008), p. 3 – 30.
- [11] Direktiva Vijeća 1999/31/EZ od 26. travnja 1999. o odlaganju otpada, Official Journal of the European Communities L 182 (1999), p. 01 - 19.
- [12] Ekvall T., Assefa G., Björklund A., Eriksson O., Finnveden G.: What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management, *Waste Management* 27(2007), 989 – 996.
- [13] Ekvall T., Weidema B.: System Boundaries and Input Data in Consequential Life Cycle Inventory Analysis. *Int. J. LCA* 9(3) (2004),161-171.
- [14] European Commission (2011) Evolution of (Bio-) Waste Generation/Prevention and (Bio-) Waste Prevention Indicators - Final Report. European Commission in association with Bio Intelligence Services, Umweltbundesamt, Arcadis, AEAT & Vito.
- [15] Gentil E. C., Gallo D., Christensen T. H.: Environmental evaluation of municipal waste prevention. *Waste Management* 31(12) (2011), 2371–2379.
- [16] Gentil E. C., Damgaard A., Hauschild M., Finnveden G., Eriksson O., Thorneloe S., Kaplan P. O., Barlaz M., Muller O., Matsui Y., Li R., Christensen T. H. Models for waste Life Cycle Assessment: review of technical assumptions. *Waste Management* 30 (2010), 2636 – 2648.
- [17] Giugliano M., Cernuschi S., Grosso M., Rigamonti L.: Material and energy recovery in integrated waste management systems - An evaluation based on life cycle assessment, *Waste Management* 31 (2011), 2092–2101.
- [18] Golubovac N., Kufrić J.: Ususret nacionalnom programu sprečavanja nastanka otpada – kako osigurati odgovarajuće praćenje provedbe i ostvarenja mjera, objavljenog na XII. Međunarodnom simpoziju Gospodarenje otpadom Zagreb, 29. i 30. listopada 2012.
- [19] Hopewell J., Dvorak R., Kosior E.: Plastics recycling: challenges and opportunities, *Phil. Trans. R. Soc. B.* 364 (2009), 2115–2126.
- [20] Horne R., Grant T., Verghese K.: Life cycle assessment: Principles, Practice and Prospects, CSIRO Publishing, Collingwood Australia, 2009.
- [21] ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework (ISO 14040:2006).
- [22] Joutey N. T., Bahafid W., Sayel H., El Ghachtouli, N.: (2013) Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms, In: Biodegradation - Life of Science (Chamy, R., Rosenkran, F., editors), InTech, Dostupno na: <http://www.intechopen.com/> [01. rujana 2014].
- [23] Keoleian K. A.: The application of life cycle assessment to design, *J. Cleaner Prod.* 3-4(1) (1993), 143 – 149.
- [24] Khajuria A., Matsui T., Machimura T., Morioka T.: Decoupling and Environmental Kuznets Curve for municipal solid waste generation: Evidence from India. *Int. J. Environ. Sci.* 2(3) (2012), 1670 – 1674.
- [25] Mazzanti M., Zoboli R.: Waste Generation, Incineration and Landfill Diversion. Decoupling Trends, Socio-Economic Drivers and Policy Effectiveness in the EU, Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano, 2008.
- [26] Merrild H., Damgaard A., Christensen T. C.: Life cycle assessment of waste paper management: The importance of technology data and system boundaries in assessing recycling and incineration, *Resour. Conserv. Recy.* 52 (2008), 1391–1398.
- [27] OECD (2004). Towards waste prevention performance indicators, Organisation for Economic Co-operation and Development. Dostupno na:

- [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=en/epoc/wgwr/se\(2004\)1/final](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?doclanguage=en&cote=en/epoc/wgwr/se(2004)1/final) [02. rujna 2014.].
- [28] Östblom G., Söderman M. L., Sjöström M.: Analyzing future solid waste generation - Soft linking a model of waste management with a CGE-model for Sweden, working paper of the National Institute of Economic Research (NIER) 118 (2010), 1 -51.
- [29] Rebitzer G., Ekvall T., Frischknecht R., Hunkeler D., Norrise G., Rydberg T., Schmidt W. P., Suh S., Weidema B. P., Pennington D. W. Life cycle assessment - Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ. Int.* 30 (2004), 701 – 720.
- [30] Salhofer S., Obersteiner G., Schneider F., Lebersorger S.: Potentials for the prevention of municipal solid waste. *Waste Management* 28 (2008); 245-259.
- [31] Schmidt J. H., Holmb P., Merrild A., Christensen P.: Life cycle assessment of the waste hierarchy – A Danish case study on waste paper, *Waste Management* 27(11) (2007), 1519–1530.
- [32] Schneider F., Lebersorger S.: The challenges of food wastage to European Society, published in: *Proceedings of the 15th European Roundtable on Sustainable Consumption and Production (15th ERSCP) 2012, Bregenz, Austria; May 2 – 4.*
- [33] Sharp V., Giorgi S., Wilson D. C. Methods to monitor and evaluate household waste prevention, *Waste. Manag. Res.* 28 (2010), 269 – 280.
- [34] Sjöström M., Östblom G.: Decoupling waste generation from economic growth — A CGE analysis of the Swedish case. *Ecol. Econ.* 69 (2010), 1545 –1552.
- [35] Skovgaard M., Moll S., Andersen F. M., Larsen H.: Outlook for waste and material flows Baseline and alternative scenarios, ETC/RWM working paper 2005/1, European Topic Centre on Resource and Waste Management, Copenhagen.
- [36] Suzuki H., Dastur A., Moffat S., Yabuki N., Maruyama H.: *Eco² Cities – Ecological Cities as Economical Cities*, The International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank, Washington DC, 2010.
- [37] Šohinger J.: Mikroekonomska analiza jednosektorskog modela opće ravnoteže u uvjetima diferencijacije proizvoda na strani uvoza i izvoza, *Ekonomski pregled* 53(9-10) (2002), 849 - 863.
- [38] Wang H., He J., Kim Y., Kamata T.: *Municipal Solid Waste Management in Small Towns - An Economic Analysis Conducted in Yunnan China*, Policy Research Working Paper 5767, The World Bank Group, Washington DC, 2011.
- [39] Winters-Lynch J.: *The Use of Life Cycle Assessment in Environmental Labelling Programs*. The United States Environmental Protection Agency, Washington, 1993.

MOGUĆNOST PRIMJENE OTPADNOG STAKLA U GRAĐEVINSKOJ INDUSTRIJI

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF WASTE GLASS IN CONSTRUCTION INDUSTRY

**Doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić^{1*}; mr. sc. Snježana Šimunić²; mr.sc. Sandra Bučan²;
Ivana Melnjak, mag. ing. geoling.¹**

¹ Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, Varaždin

² Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Ulica Republike Austrije 20, Zagreb

*e-mail kontakt: aav@gfv.hr

SAŽETAK

Električni i elektronički (EE) otpad je trenutno najbrža rastuća kategorija otpada u svijetu. Televizore i monitore s katodnim cijevima (CRT) zamjenjuju ekrani koji koriste tehnologiju tekućih kristala (eng. Liquid Crystal Displays – LCDs). LCD se kategorizira kao opasan otpad pa dosadašnju praksu zbrinjavanja otpadnih LCD-a čine postupci spaljivanja i/ili odlaganje na odlagalištima opadnog otpada, što njegovo zbrinjavanje čini ekološki i ekonomski upitnim. Zato se sve više razmatra opcija recikliranja. Prvi korak u procesu recikliranja LCD uređaja je rastavljanje. Nakon rastavljanja LCD uređaja, neki od dijelova poput kablova, plastičnih i željeznih dijelova mogu se plasirati na tržište kao sekundarne sirovine. Ostali dijelovi mogu se reciklirati te se kao produkti dobivaju visoko vrijedne sirovine, uglavnom stakleni lom. U ovom radu prikazat će se mogućnosti primjene staklenog loma u građevinskoj industriji – primarno betonskoj galanteriji, keramičkoj industriji i cestogradnji.

Ključne riječi: recikliranje LCD-a i CRT-a, otpadno staklo, građevinska industrija

ABSTRACT:

Electrical and electronic waste is currently one of the fastest growing waste categories in the world. Televisions and monitors with cathode ray tubes (CRT) are being replaced with screens with liquid crystal technology (Liquid Crystal Displays – LCDs). LCDs are categorized as hazardous waste so current disposal practices are incineration and disposal of hazardous waste landfills, which make its disposal economically and ecologically questionable. Therefore, recycling is increasingly considered as an option. First step in LCD recycling process is disassembly. After the disassembly of LCD, some parts (cables, plastic and ferrous components) can be placed on the market as a secondary raw material. Remaining parts can be recycled and the products obtained are highly valuable raw materials, mainly glass breakage. In this paper the possibilities of application of glass breakage in construction industry – primarily in concrete products, ceramic industry and road construction will be given.

Keywords: LCD and CRT recycling, waste glass, construction industry

1. UVOD

Razvojem civilizacije otpad i njegovo zbrinjavanje postali su središnji problem zaštite okoliša. Najbrže rastuća vrsta otpada je svakako električni i elektronički otpad (u daljnjem tekstu: EE otpad) koji bilježi porast tri puta veći od porasta količine komunalnog otpada. Zbog komponenti

koje sadrži, EE otpad se karakterizira kao opasan otpad te tako predstavlja opasnost za okoliš i zdravlje ljudi. Upravo zbog prognoza daljnjeg rasta količina EE otpada te njegovih karakteristika, nameće se potreba za njegovim adekvatnim zbrinjavanjem. Politika održivog razvoja usmjerila je pozornost na recikliranje EE otpada kao vrijednog izvora sekundarnih sirovina, čime se ujedno smanjuje potrošnja primarnih sirovina i energije.

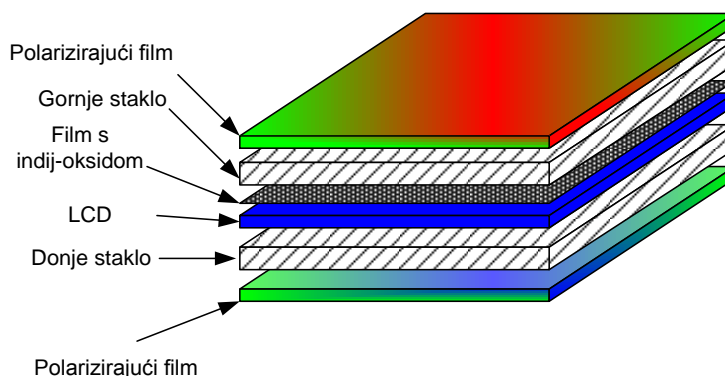
Otpadni LCD (liquid crystal display) uređaji dio su tokova EE otpada, a svjetski i europski trendovi pokazuju porast njihove proizvodnje i prodaje. U trenutku kada LCD uređaji postaju otpad, oni se zbog svojih karakteristika klasificiraju kao opasan otpad. Otpadni LCD uređaji sadrže brojne teške metale, no najopasnije komponente su svakako UV lampe sa živom. Primjenom neadekvatnih postupaka zbrinjavanja može doći do onečišćenja okoliša parama žive i drugim teškim metalima. Osim što sadrže štetne i opasne komponente, LCD uređaji sadrže i korisne materijale koji se mogu upotrijebiti kao sekundarne sirovine što je temeljni razlog važnosti razvitka kvalitetnog sustava prikupljanja i recikliranja takve vrste otpada.

Trenutno većina otpadnih LCD uređaja završava na odlagalištima ili se neadekvatno zbrinjava dok je recikliranje slabo izraženo. Recikliranjem se daje naglasak na mogućnost ponovne primjene dobivenih sekundarnih sirovina, pa stoga i manji pritisak na okoliš. Uzevši u obzir visoke troškove odlaganja otpadnih LCD uređaja zbog njihove karakterizacije kao opasnog otpada, potrebno je razvijati tehnologije recikliranja s ciljem dobivanja produkta koji će se klasificirati kao neopasan ili inertan otpad, i time uvelike smanjiti troškove zbrinjavanja te minimizirati štetan utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi.

LCD (liquid crystal display) uređaji

Napredak u tehničko-tehnološkom razvoju elektroničke opreme i uređaja rezultira sve većom uporabom različitih vrsta prijemnika koji su zasnovani na LCD (liquid crystal display) tehnologiji s tzv. tekućim kristalima. LCD je uređaj za vizualno prikazivanje podataka na zaslonu s tekućim kristalima.[1] Prijemnici koji koriste LCD tehnologiju su televizori, monitori, zasloni mobitela i prenosivi kompjutori.

Glavne komponente LCD-a su: tekući kristali, staklo, tanki film tranzistora, vodljive elektrode, filtri boja, polarizatori, pozadinsko osvjetljenje, refleksijska podloga i plastika. LCD zaslon se zasniva na tekućim kristalima koji se nalaze između dvije staklene podloge s polarizatorom s vanjske strane. Na unutarnjoj strani staklene podloge nalazi se tanki film tranzistora (TFT) na jednoj staklenoj podlozi te filter boja na drugoj. Osim tranzistora i filtera boja, na unutarnjim stranama nalaze se i vodljive elektrode te orijentacijski filmovi.[2] Osnovni sastav LCD zaslona prikazan je na slici 1, dok su u tabeli 1 prikazani maseni udjeli pojedinih komponenti u LCD uređaju.



Slika 1. Osnovni sastav LCD panela[2]

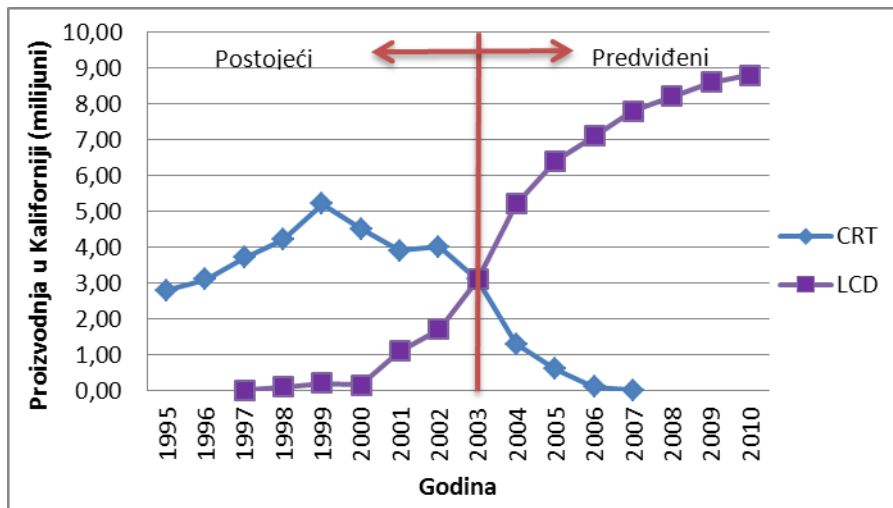
Tabela 1. Maseni udio prema sastavu komponenti LCD uređaja [3]

LCD komponenta	Prosjek – maseni udio %
LCD zaslon	9
Prednji zaslon	7
Stražnji zaslon	15
LCD okvir	2
Nosači lampi	1
Kučište za lampe	15
Nosač za tiskanu pločicu	17
Zaštita tiskanih pločica	5
Potpornji okvir	6
Pozadinsko osvjetljenje – UV lampe koje sadrže živu	1
PCBs – tiskane pločice	9
Difuzori	1
Polarizatori	0
Izolacija	9
Kablovi	0
Zvučnici	2

LCD tehnologija koristi tekuće kristale za formiranje slike na zaslonu. Tekući kristali su želatinozne mase te su smješteni unutar ekrana između prozirnih elektroda. Osnovna uloga tekućeg kristala je promjena polarizacijske svjetlosti s ciljem formiranja slike na zaslonu. Djelovanjem napona na elektrode, sitne čestice tekućeg kristala orijentiraju se u određenom smjeru i stvaraju polarizacijski efekt, tako da propuštaju dio željenog svjetlosnog spektra, a blokiraju neželjeni dio spektra. Na taj način se generira slika kao matrica piksela koji su poredani ispred nekog svjetlosnog izvora.

U svim LCD monitorima nalaze se fluorescentne cijevi, odnosno UV lampe koje osvjetljavaju pozadinu ekrana i jedini su aktivni izvor svjetlosti. Unutar staklene cijevi se nalazi živa pod niskim tlakom koja prilikom ionizacije emitira UV zračenje. Fluorescentna svjetiljka se sastoji od staklene cijevi, aluminijskih kapica i dvije katode. Unutrašnjost staklene cijevi ispunjena je inertnim plinom, fosforom i malom količinom žive.[4]

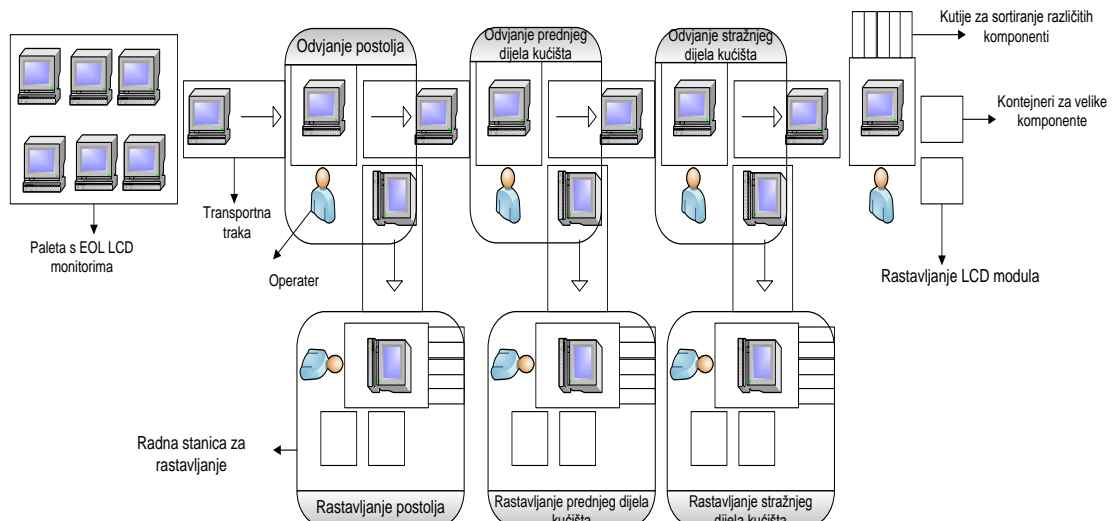
Tijekom 1996. godine na tržište su stigli prvi LCD uređaji, od kada njihova proizvodnja neprestano raste istiskujući tako CRT (eng. cathode ray tubes) uređaje s tržišta. CRT uređaji rade na principu katodne cijevi te ih karakterizira velika težina, visoka potrošnja električne energije, no prednost je dobra kvaliteta i oštrina slike.[1] Danas, CRT prijemnici nisu zastupljeni kao nekad te se gotovo više i ne proizvode, a zamijenili su ih LCD prijemnici. Prema podacima istraživanja provedenog u Kaliforniji, proizvodnja i prodaja CRT uređaja je rasla do 1999. godine, nakon čega je počela značajno opadati, jer su 1997. godine na tržište stigli LCD uređaji. Nakon samo nekoliko godina postojanja na tržištu, LCD uređaji dostigli su istu razinu upotrebljivosti kao CRT da bi ih danas u potpunosti zamijenili. Na slici 2. grafički je prikazana usporedba kretanja količina LCD i CRT uređaja na Kalifornijskom tržištu pri čemu su se u obzir uzimali postojeći podaci te projekcije za 2003. do 2010. godine.[1]



Slika 2. Postojeći te predviđeni podaci od 2003.-2010. godine za kretanje količina LCD i CRT uređaja na tržištu Kalifornije[1]

2. EKSPERIMENTALNI DIO

U nastavku je dan prijedlog efektivnog načina ručnog rastavljanja otpadnih LCD uređaja. LCD uređaji se dopremaju u jedinicu za rastavljanje gdje se postavljaju na transportnu traku koja vodi do radnog stola za rastavljanje. Na prvom radnom stolu provodi se odvajanje postolja. Odvojeno postolje transportnom trakom odlazi do sljedećeg radnog stola gdje se odvaja plastika, željezo i kablovi. Ostatak LCD uređaja trakom putuje do sljedećeg radnog stola radi odvajanja prednjeg dijela kućišta. Prednji dio kućišta se potom rastavlja na štampane pločice kablove i plastične dijelove. Ostatku uređaja potom se uklanja stražnji dio kućišta koji se nakon toga rastavlja na kablove, željezne i plastične dijelove te štampane pločice. Ostatak uređaja trakom putuje na posljednji radni stol gdje se odvajaju plastični i metalni dijelovi, štampane pločice, fluo lampe i LCD panel. Uz radne stolove postavljene su kutije za sortiranje manjih komponenti te kontejneri za veće komponente. Navedeni proces prikazan je na slici 3.



Slika 3. Prijedlog efektivnog načina ručnog rastavljanja otpadnih LCD uređaja[5]

Nakon rastavljanja LCD uređaja, neki od dijelova poput kablova, plastičnih i željeznih dijelova mogu se plasirati na tržište kao sekundarne sirovine. Ostali dijelovi mogu se reciklirati te se kao

produkti dobivaju visoko vrijedne sirovine. U nekim procesima recikliranja javljaju se emisije teških metala ovisno o starosti LCD prijemnika i tehnologije recikliranja.

Recikliranjem LCD panela u kontroliranim termalnim uvjetima, moguće je proizvesti stakleno-keramičke materijale koji se potom koriste kao materijali za oblaganje u građevinarstvu, zbog svojih odličnih kemijskih i mehaničkih svojstava. Otpadno staklo se melje, homogenizira i ukapljuje pod visokim tlakom. Čestice praha se povezuju u čvrstu masu termalnim procesima. Zagrijavanjem se uništavaju organske komponente, a stabiliziraju anorganske komponente tako što se ugrađuju oksidi karakteristični za staklenu keramiku. Pri temperaturi od 800-950°C, vremenu od 6 h i povećavanju temperature 5 °C/min dobiva se kvalitetna staklena keramika. Otpad dobiven recikliranjem LCD panela može se koristiti u proizvodnji cjevovoda ili kao cestovni materijal gdje zamjenjuje pijesak. Kako otpadno staklo kao dio LCD panela ima svojstva slična pijesku koristi se kao njegova zamjena u proizvodnji betona čime se poboljšavaju njegova svojstva poput čvrstoće, postojanosti i slično. Istraživanja su pokazala da se optimalni rezultati kvalitete finalnog proizvoda dobivaju sa stopom zamjene otpadnog stakla od 20%. [6] U svom istraživanju Kae-Long Lin (2007) prikazao je recikliranje otpadnog LCD stakla u proizvodnji staklene keramike. Usitnjeno otpadno staklo se dodavalo u glinu u masnim udjelima od 0% do 40%. Homogenizirane smjese su se ukalupile pod visokim tlakom 60 kg/cm², sušile 24 sata na sobnoj temperaturi, a zatim sljedeća 24 sata na 80 °C. Osušeni uzorci zagrijavani su na temperaturama 800, 900 i 1000 °C u vremenu od 10 °C / min. Temperatura pečenja održavala se 6 sati. Zagrijavanjem se uništavaju organske komponente, a stabiliziraju anorganske komponente tako što se ugrađuju oksidi karakteristični za staklenu keramiku. Temeljem provedenih analiza u odnosu na referentni uzorak uzorci sa sadržajem otpadnog stakla manje upijaju vodu, manje gube na težini, a dobivena tlačna čvrstoća ukazuje na poticanje korištenje otpadnog LCD stakla kao aditiva glini. Kae-Long Lin je preporučio optimalnu količinu otpadnog LCD stakla pomiješanog s glinom za proizvodnju kvalitetne cigle koja iznosi 30%. [7]

Istraživanja Her-Yung Wang (2011) se temelje na zamijeni usitnjenog otpadnog LCD stakla u obliku praha s cementom u masenim udjelima od 10% do 50% u izradi cementnog morta. Istraživanja su pokazala da cementni mort s povećanjem masenog udjela staklenog praha smanjuje tlačnu čvrstoću, a uzorci s 10% otpadnog LCD stakla supstituirano s cementom smatraju se najotpornijim na natrij hidroksid, natrij sulfit i koncentriranu sulfatnu kiselinu. Nakon 28 dana mikrostruktura tijela morta je prilično gusta. Dakle, ovako usitnjeno LCD staklo može se koristiti kao zamjena za cement i postizanje ciljeva razvoja resursa i uporabe, kao i zaštite okoliša. [8]



Slika 4. Otpadno LCD staklo: Stakleni lom (lijevo) i stakleni prah (desno) [8]

Isti je autor 2009. u svom radu prikazao recikliranje otpadnog LCD stakla na način da se riječni pijesak supstituira usitnjenim otpadnim LCD staklom u raznim granulacijama i različitim masenim udjelima od 0 do 80%. Rezultati ispitivanja pokazali su da beton s dodatkom 20% LCD stakla umjesto pijeska poboljšava čvrstoću i trajnost betona što ukazuje na to da se LCD staklo potencijalno može koristiti kao materijal u konkretnim primjenama pri izradi betonske galanterije.[9]

3. ZAKLJUČAK

Analizom sastava otpadnih LCD uređaja utvrđeno je kako većinski udio čine korisni materijali poput željeza, plastike i slično koji se mogu upotrijebiti kao sekundarne sirovine. Recikliranjem LCD panela u kontroliranim termalnim uvjetima, moguće je proizvesti stakleno-keramičke materijale koji se potom koriste kao materijali za oblaganje u građevinarstvu, zbog svojih odličnih kemijskih i mehaničkih svojstava. Isto tako, u radu je prikazano kako se otpadno LCD staklo može koristiti kao aditiv glini u keramičkoj industriji. Otpadno staklo svoju primjenu može pronaći i u građevinskoj industriji pri izradi betonske galanterije kao dodatak betonu umjesto pijeska. Sva ispitivanja prikazana u radu su provedena u laboratorijskim uvjetima bez analize utroška strojeva i energenata što ostavlja prostora za daljnja istraživanja u industrijskom mjerilu. Produkt recikliranja moguće je koristiti kao sekundarnu sirovinu u građevinarstvu i cestogradnji čime doprinosimo očuvanju okoliša.

4. REFERENCE

- [1] King County Solid Waste Division, Seattle: Flat Panel Displays: End of Life Management Report, Final Report 2008.
<http://your.kingcounty.gov/solidwaste/takeitback/electronics/documents/FPDReport.pdf>
(pristupljeno 3.11.2014.)
- [2] Junhui Li et al.: Recovery of valuable materials from waste liquid crystal display panel, *Waste Management* 29 (2009) 2033-2039
- [3] Ryan A. et al.: Characterising Components of Liquid Crystal Displays to Facilitate Disassembly, *Journal of Cleaner Production* 19 (2011) 1066-1071
- [4] Črnica N.: Poboljšanje tehnološkog postupka recikliranja fluorescentnih svjetiljki, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilište u Zagrebu, diplomski rad, (2010)
- [5] Šunjić N: Recikliranje LCD uređaja, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilište u Zagrebu, završni rad, (2013)
- [6] Kae-Long Lin et al: Recycling thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass produced as glass-ceramics, *Journal of Cleaner Production* 17 (2009) 1499-1503
- [7] Kae-Long Lin: The effect of heating temperature of thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD) optical waste glass as a partial substitute partial for clay in eco-brick, *Journal of Cleaner Production* 15 (2007) 1755-1759
- [8] Her-Yung Wang: The effect of the proportion of thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD) optical waste glass as a partial substitute for cement in cement mortar, *Construction and Building Materials* 25 (2011) 791-797
- [9] Her-Yung Wang: A study of the effects of LCD glass sand on the properties of concrete, *Waste management* 29 (2009) 335-341

MOGUĆNOSTI MATERIJALNE OPORABE AMBALAŽE OD PLASTIKE

RECOVERY POTENTIAL OF PLASTIC PACKAGING

**doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić¹; doc. dr. sc. Dinko Vujević^{1*};
doc. dr. sc. Anita Ptiček Siročić¹; Zvonko Bede ,dipl. ing.²; Evica Špoljarić dipl. iur.²;
Ivana Melnjak, mag. ing. geoling.¹**

¹ Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zavod za inženjerstvo okoliša, Hallerova aleja 7, Varaždin, Hrvatska

² Drava International d.o.o., Stjepana Radića 15, Osijek, Hrvatska

*e-mail kontakt: dvujevic@gfv.hr

SAŽETAK

Tehnološki razvoj omogućio je ekspanziju proizvodnje i primjene različitih vrsta materijala i proizvoda. Pri tome veliki dio predstavlja plastika odnosno proizvodi koji se sastoje od jednog ili više vrsta polimera (PE, PET, PVC, HDPE...). Od tih se materijala uglavnom i sastoji ambalaža od plastike. Donedavna praksa uključivala je odbacivanje tih proizvoda, odnosno plastične ambalaže, nakon što bi oni ispunili svoju primarnu funkciju, bez prevelike brige za eventualnu uporabu materijala odnosno energije kao i mogućeg izazivanja negativnih posljedica na okoliš proizašlih zbog neodgovornog odbacivanja plastične ambalaže. Razvojem ljudske svijesti i donošenjem odgovarajućih zakonskih propisa sve se više vodi računa o uporabi iskorištenog plastičnog otpada u vidu proizvodnje novih proizvoda i/ili u svrhu dobivanja goriva odnosno energije. U ovom radu bit će opisan slučaj dobre prakse gospodarenja otpadnom ambalažnom plastikom na primjeru postrojenja smještenog u istočnoj Hrvatskoj, koja se bavi sakupljanjem, skladištenjem, razvrstavanjem i uporabom otpada ključnog broja 15 01 02 – ambalaža od plastike. Navedena tvrtka primarno se bavi recikliranjem, odnosno uporabom otpadne PE folije te otpadne PET ambalaže. Proces recikliranja u potpunosti je zaokružen u smislu da se otpadna ambalaža sortira i reciklira pri čemu se dobiva granulirani materijal koji se daljnjim postupkom proizvodnje pretvara u nove gotove proizvode, ovisno o potrebama tržišta. Otpad koji nastane u postupku recikliranja, koristi se kao sirovina za proizvodnju sintetičkog diesela postupkom katalitičke depolimerizacije. Dobiveni diesel udovoljava svim karakteristikama eurodiesela na benzinskim crpkama, bez sumpora i drugih štetnih primjesa, a ima i nešto veću oktansku vrijednost od uobičajenog diesela.

Ključne riječi: ambalaža od plastike, otpad, uporaba, gospodarenje otpadom

ABSTRACT

Technological development has enabled expansion of production and application of different types of materials and products. Plastics represent great part in it, respectively products made of one or more types of polymers (PE, PET, PVC, HDPE...). Plastic packaging is mainly composed of these materials. Until recently, waste management practice included discarding of these products i.e. plastic packaging after they had fulfilled they primary function without too much concern for possible material or energy recovery or causing potentially negative effects on the environment due to irresponsible discard of plastic packaging. With

development of human consciousness and adoption of appropriate legislation, recovery of used plastic waste has been taken into the account more and more in the terms of production of new products and/or in order to obtain fuel i.e. energy. In this paper a case of good practice of managing of waste plastic on the example of facility located in eastern Croatia will be described. The facility deals with collecting, storing, sorting and recovery of waste plastic packaging (key number 15 01 02). This company is primarily engaged in recycling i.e. recovery of waste PE foil and PET packaging. Recycling process is fully completed in the term that plastic packaging is sorted and recycled by getting granular material which is in further process converted in new finished products depending on market needs. The waste formed in recycling process is used as a raw material for production of synthetic diesel by catalytic de-polymerization process. Obtained diesel meets all characteristics of euro diesel sold on petrol pumps, without content of sulphur and other harmful impurities and has slightly higher octane value in comparison with conventional diesel.

Key words: *Plastic packaging, Waste, Recovery, Waste management*

1. UVOD

Povećanje blagostanja u modernom društvu je u nekoliko posljednjih desetljeća dovelo do masovne proizvodnje svih vrsta proizvoda, što je indirektno uzrokovalo nastanak ogromnih količina otpada. Plastika je jedan od materijala čija je proizvodnja u stalnom porastu zbog širokog aspekta i raznolikosti primjene te relativno niske cijene. Jedan od mnogih aspekata primjene plastike je i proizvodnja plastične ambalaže. Otpadna ambalaža od plastike predstavlja jedan od značajnih izazova u zaštiti okoliša zbog velikih količina u kojima nastaje [1]. Nadalje, uporaba i recikliranje ambalaže od plastike može biti izvor tehnoloških inovacija i stvaranja novih radnih mjesta uz istovremeno očuvanje prirodnih i energetskih resursa te smanjenja količine otpada koji se odlaže na odlagalištima [2]. U zemljama članicama Europske unije, među njima i Hrvatskoj, zakonska osnova za recikliranje otpadne ambalažne plastike sadržana je u Europskoj direktivi 94/62/EC [3]. Sukladno toj Direktivi, u zemljama Europske unije se posebna pažnja posvećuje smanjenju količine otpada koji se odlaže na odlagališta. To se naročito odnosi na ambalažni otpad koji znatno opterećuje okoliš s obzirom da je (osim papira i kartona) uglavnom teško biorazgradiv (staklo, metal, plastika). Osim toga razvijena je tehnologija upotrebe takvog otpada kao sirovine čime se znatno pridonosi očuvanju prirodnih resursa. Zbog uvođenja povratnih naknada građani su dodatno motivirani izdvajati takav otpad iz komunalnog otpada [4]. Devedeset posto plastike koja se danas koristi, dobiva se iz neobnovljivih fosilnih izvora. Stoga je prilikom proizvodnje plastike, odnosno uporabe plastičnog otpada neophodno primjenjivati načela integralnog gospodarenja otpadom. Naime, ako uporaba plastičnog otpada predstavlja održiv pristup, primjena integralnog gospodarenja plastičnim otpadom je još održivija s obzirom da uz uporabu sirovina uključuje i uporabu energije [5]. Ukoliko se plastični otpad ne može reciklirati na neki drugi način, uz današnju tehnologiju ga je moguće katalitički depolimerizirati te dobiti tekuće gorivo [6]. Usvajanjem načela i principa životnog ciklusa nekog proizvoda, recikliranje može pomoći nadležnim vlastima u boljem upravljanju prirodnim resursima kao što su npr. sirovine, zemljište, površinske i podzemne vode i tlo... [7].

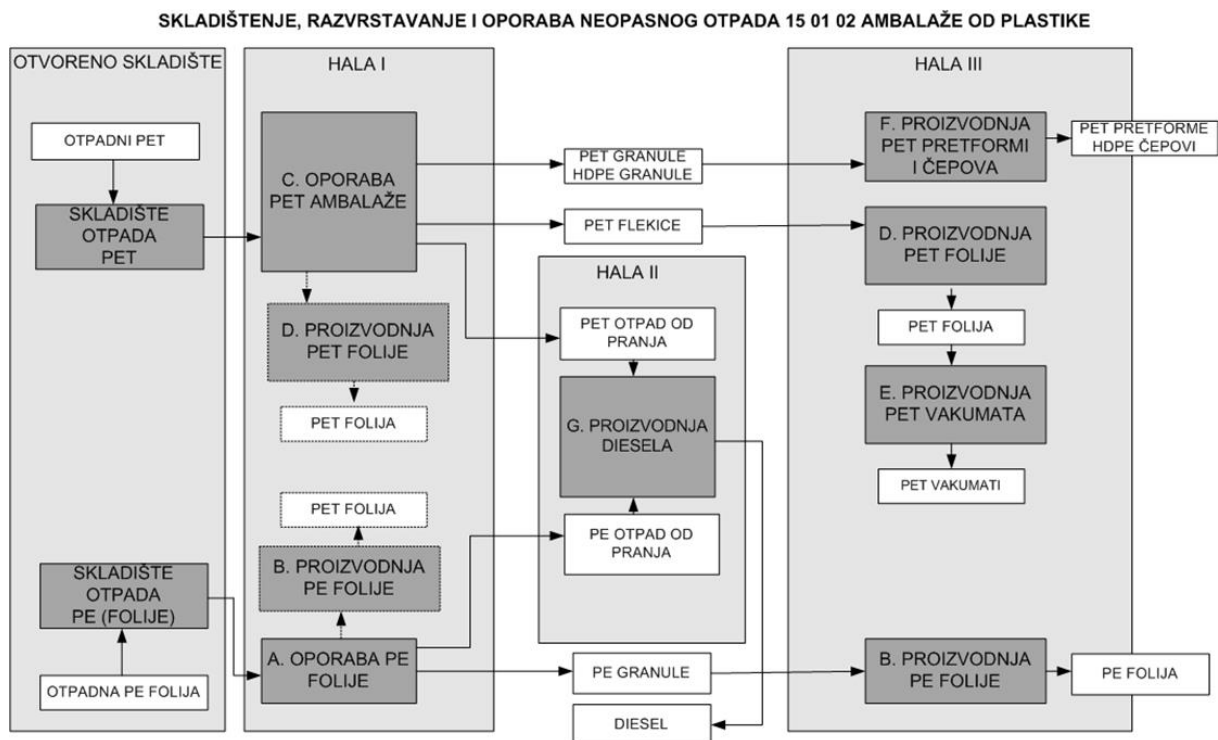
U ovom radu će biti prikazan primjer dobre prakse gospodarenja otpadnom ambalažnom plastikom u jednom postrojenju u istočnoj Hrvatskoj, koje se bavi sakupljanjem, skladištenjem, razvrstavanjem i uporabom otpada ključnog broja 15 01 02 – ambalaža od plastike. Navedena tvrtka se primarno bavi recikliranjem, odnosno uporabom otpadne PE folije te otpadne PET ambalaže. Proces recikliranja u potpunosti je zaokružen u smislu da se otpadna ambalaža sortira i reciklira pri čemu se dobiva granulirani materijal koji se daljnjim postupkom proizvodnje

pretvara u nove gotove proizvode, ovisno o potrebama tržišta. Otpad koji nastane u postupku recikliranja, koristi se kao sirovina za proizvodnju sintetičkog diesela postupkom katalitičke depolimerizacije. Dobiveni diesel udovoljava svim karakteristikama eurodiesela na benzinskim crpkama, ne sadrži sumpor i druge štetne primjese, a ima i nešto veću oktansku vrijednost od uobičajenog diesela.

2. METODOLOGIJA

U navedenom postrojenju se obavlja djelatnost recikliranja odnosno uporabe otpadne i PE folije kao i PET ambalaže, a trenutno se radi o cca 32.400 t/god otpada s mogućim maksimalnim kapacitetom uporabe u iznosu od oko 124.560 t/god. Postrojenje za uporabu ambalaže sastoji se od niza povezanih tehnoloških procesa kao što je prikazano na Slici 1., a može se podijeliti na slijedeće podjedinice:

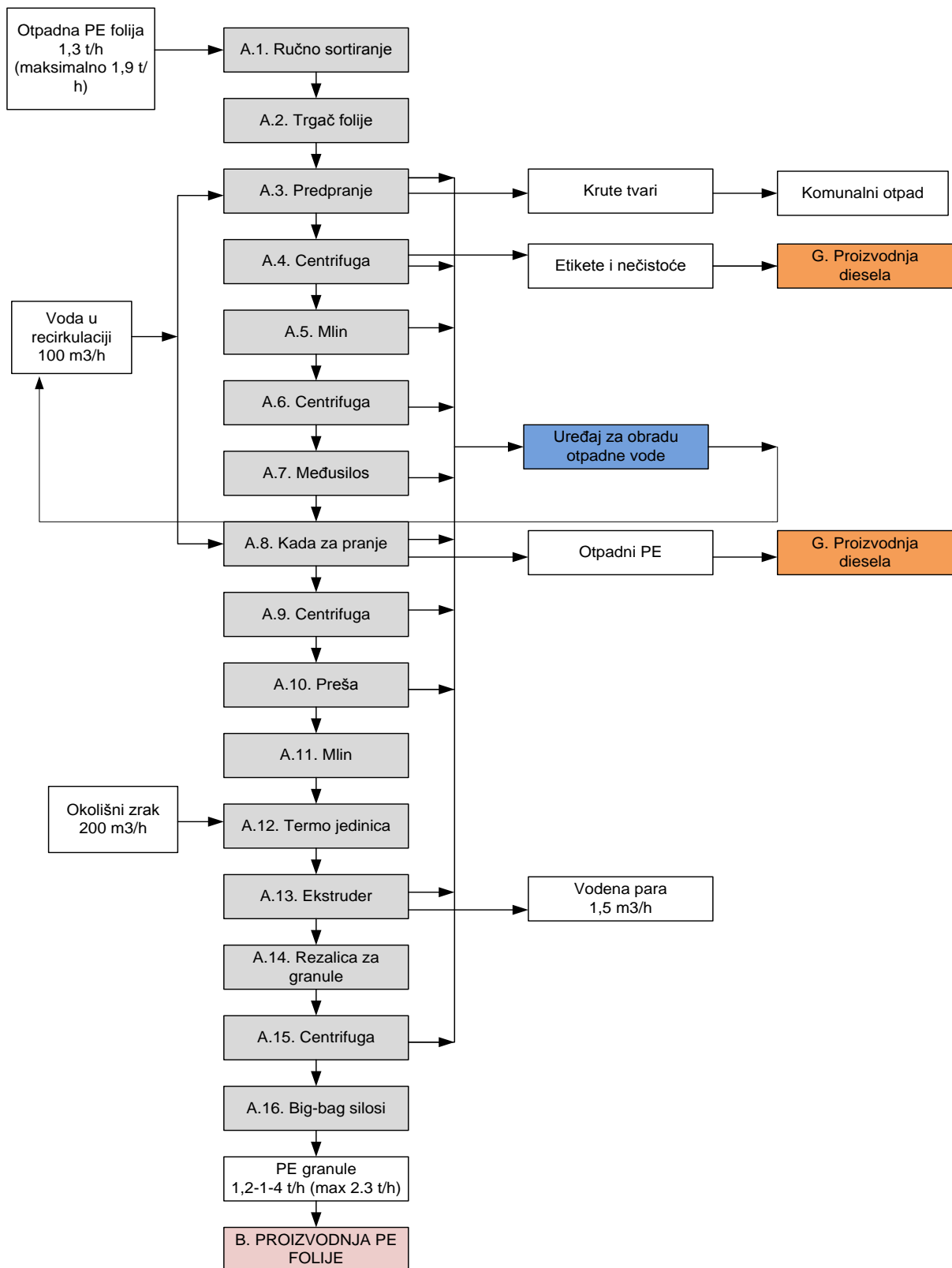
1. Oporaba PE folije
 - (A). uporaba PE folije – prva faza
 - (B). proizvodnja PE folije
2. Oporaba PET ambalaže
 - (C). uporaba PET ambalaže – prva faza
 - (D). proizvodnja PET folije
 - (E). proizvodnja PET vakumata
 - (F). proizvodnja PET pretformi i HDPE čepova
3. (G). proizvodnja diesel goriva
4. (H). obrada otpadne tehnološke vode



Slika 1. Osnovni tehnološki procesi u postrojenju za uporabu ambalaže od plastike

Tehnološka linija oporabe PE folije – prva faza obavlja se u Hali I. Podproces koji se odvijaju u toj tehnološkoj liniji prikazani su na Slici 2. Maksimalni mjesečni kapacitet linije za oporabu PE folije je 1400 t. Na ulaznim ravnim trakama provodi se selekcija i sortiranje otpadne PE folije po bojama i vrstama materijala, na način da se materijal koji se trenutno prerađuje pušta dalje na liniju, a sve ostalo se izdvaja po vrstama i bojama. Sortirana otpadna PE folija transportnom trakom dalje se transportira na trgač koji foliju kida iz velikih komada u komadiće veličine 150-300 mm radi lakšeg pranja i daljnje prerade. Transportnim trakama materijal odlazi do uređaja za predpranje. Funkcija ovog uređaja je da na osnovu flotacije omogući razdvajanje krutih tvari iz polietilenske folije, koji tonu u taložni tank koji se kontinuirano prazni na dnu predpranja. Predpranje se odvija u potpunosti pod vodom. Nakon predpranja folija ulazi u centrifugu gdje se na osnovu prolaska kroz uređaj odvajaju eventualne etikete i sve ono što je bilo zalijepljeno ili na neki način u čvršćoj vezi s polietilenskim komadima folije. Poslije centrifuge transportnom trakom djelomično oprani, očišćeni i istrгани komadi polietilenske folije ulaze u mlin, koji je također pod vodom. Transportna traka ujedno gura polietilensku foliju na rotor mlina i u mlinu se polietilenski komadi folije melju na veličinu od 30-60 mm. Transportnim šnekama koje na sebi imaju ugrađene mrežice za cijeđenje, folija odlazi do centrifuge koja suši materijal i još dodatno čisti sada već samljeven polietilen, od mehaničkih nečistoća. Iz centrifuge djelomično osušen materijal transportira se do međusilosa čija je uloga da omogući kontinuirani rad drugog dijela linije za pranje.

Oporaba PE folije



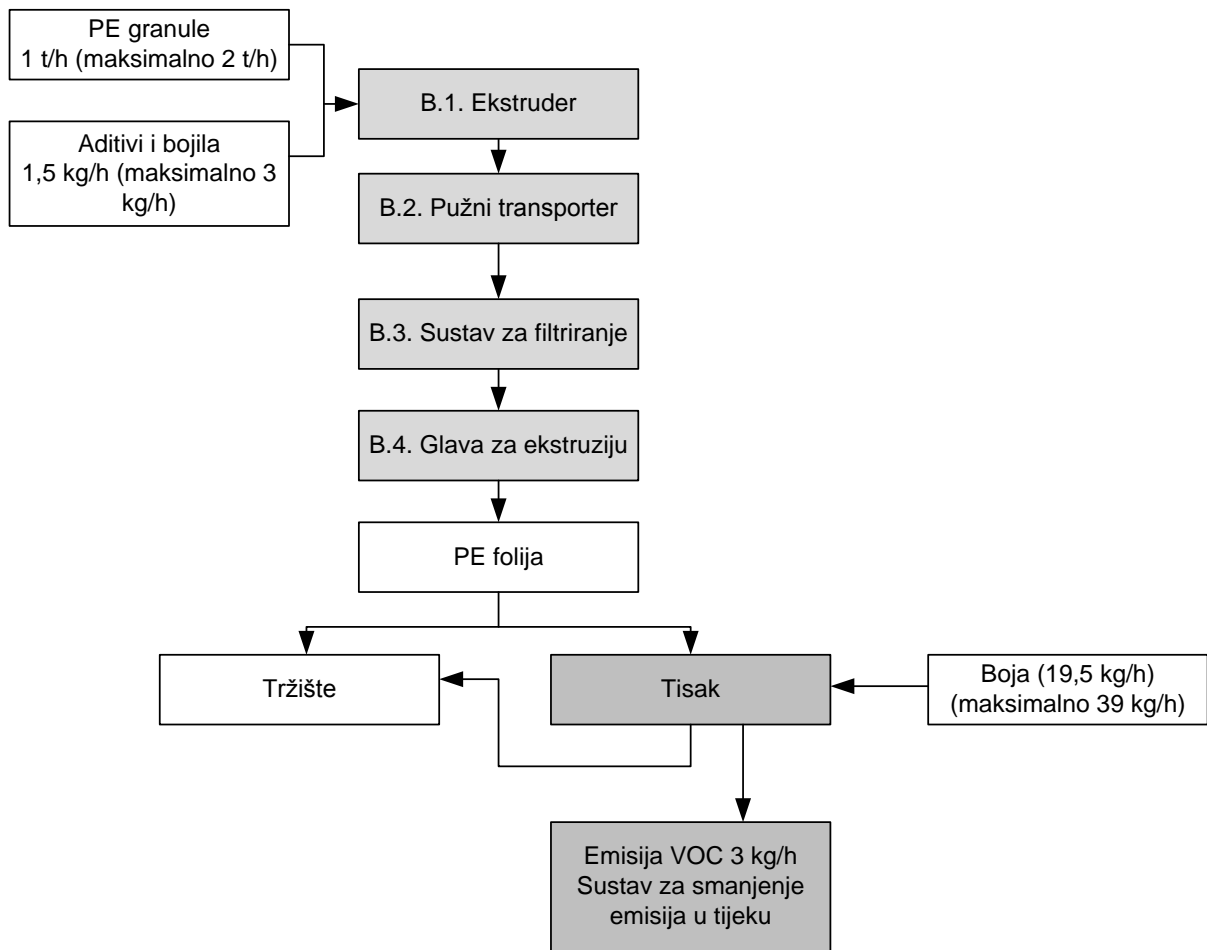
Slika 2. Shematski prikaz procesa oporabe PE folije

Iz međusilosa dozirnom šnekom polietilenski listići odlaze u kadu za pranje gdje se ubacuju dodatnom kosom šnekom ispod nivoa vode i transportiraju se duž kade mehaničkim vitlima koja pospješuju naknadno završno pranje i ispiranje. Sve mehaničke nečistoće (otpadni PE) padaju na dno kade i izvlače se šnekama kontinuirano iz procesa u proizvodnju diesela. Oprani listići iz kade transportiraju se u centrifugu za konačno sušenje polietilena i pripremu za prešu. Hidraulična preša je opremljena automatskim sklopom čeljusti na izlazu koje dodatno cijede polietilen i pripremaju ga za završno mljevenje i sušenje. Isprešan materijal ulazi u mlin gdje se melje na konačne dimenzije od 15-25 mm veličine listića i dalje transportira putem ventilatora do termo jedinice za konačno sušenje materijala.

Termojedinice koje se nalaze u sklopu ciklona za sušenje materijala putem toplog zraka završno suše materijal koji se dalje transportira do silosa za hranjenje ekstrudera. Iz silosa za hranjenje ekstrudera putem šneke i uređaja za prisilno hranjenje ekstrudera osušeni listići polietilena ulaze u ekstruder gdje se tale i putem vakuum otvora oslobađaju se zaostale vlage. Izlaz iz ekstrudera opremljen je automatskim izmjenjivačem mrežica za konačno filtriranje materijala finoće 40-60 mikrona. Uređaj je opremljen automatskom kontrolom tlaka na osnovu kojega se provodi izmjena mrežica. Materijal se dalje transportira u glavu ekstrudera s rezalicom za granule. Kompletan uređaj je pod vodom te se na taj način dobivaju izrezane ili formirane granule koje se suše u izlaznoj centrifugi te se dalje transportiraju kroz selektor za krupnoću (veličinu granule) do silosa za punjenje big-bagova.

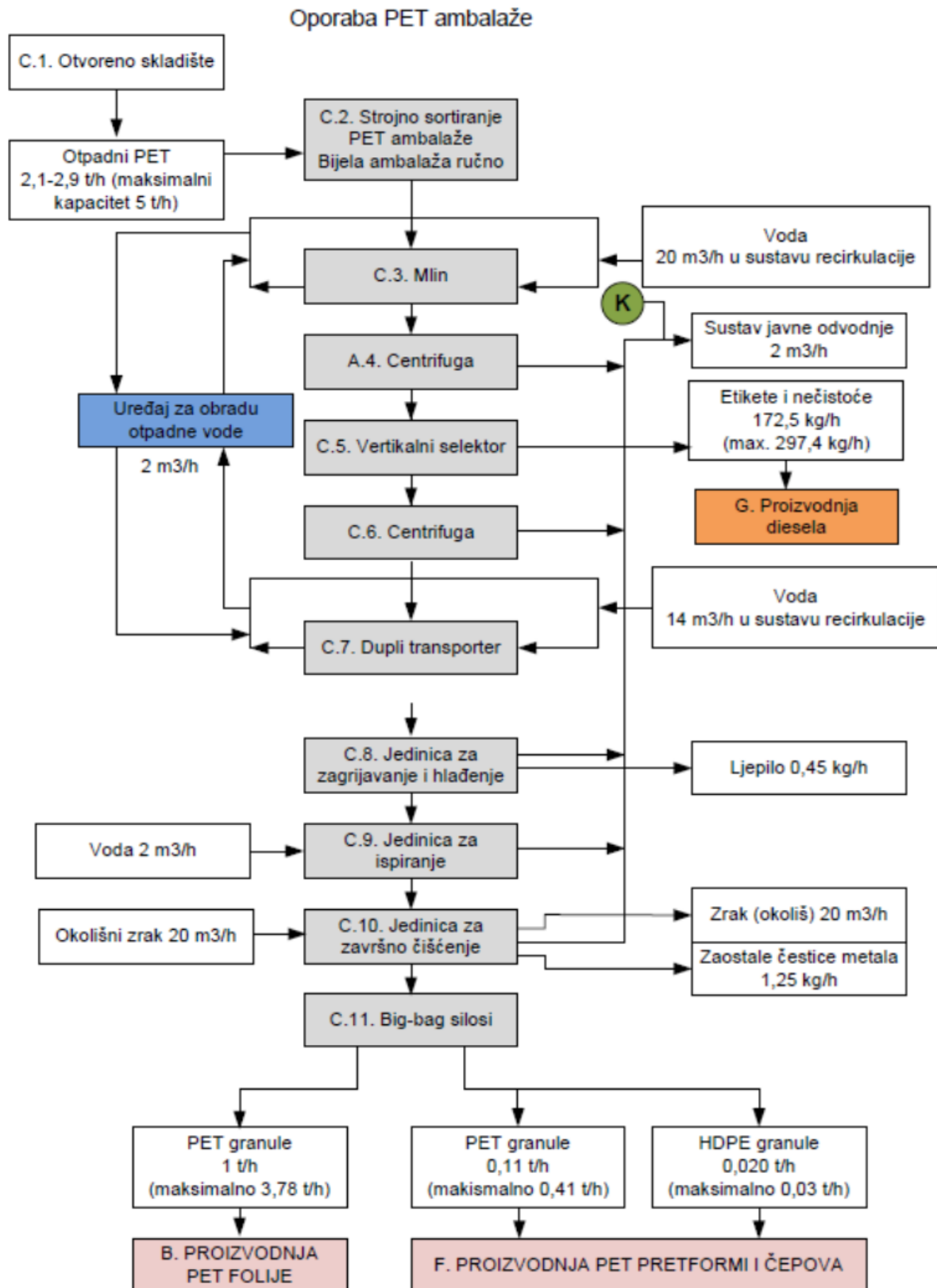
Tehnološka linija za proizvodnju PE folije smještena je u Halu I. Maksimalni kapacitet ove linije je 1200 t/mjesečno (Slika 3). PE u granulama transportnim uređajem transportira se do sustava za kontinuirano hranjenje ekstrudera. Sam sustav za doziranje opremljen je uređajima za dodavanje aditiva i bojila. Materijal ulazi u ekstruder gdje se grije na određenu temperaturu i putem pužnog transportera transportira do sustava za filtriranje kojim se odstranjuju sve mehaničke nečistoće iz otopljenog materijala koji se dalje transportira do glave za ekstruziju. Ovisno o vrsti glave ekstrudera, uz pomoć unutarnjeg zraka i vanjskog hlađenja te brzine izvlačenja materijala iz glave, dobiva se folija određene širine i debljine. Folija se dalje putem transportnih valjaka, transportira do uređaja koji priprema foliju za tisak ukoliko je predmetna folija predviđena za tisak. Tako pripremljena folija reže se na konačnu širinu na uređaju za namatanje. Namata se na tuljke do zahtijevanog promjera, slaže na palete i transportira do odjela tiska, nakon čega odlazi do odjela konfekcioniranja gdje se formiraju vreće i vrećice različitih veličina i oblika, prema zahtjevima kupca.

Proizvodnja PE folije



Slika 3. Shematski prikaz procesa proizvodnje PE folije

Tehnološka linija uporabe PET ambalaže sastoji se od niza podjedinica kao što je prikazano na Slici 4.



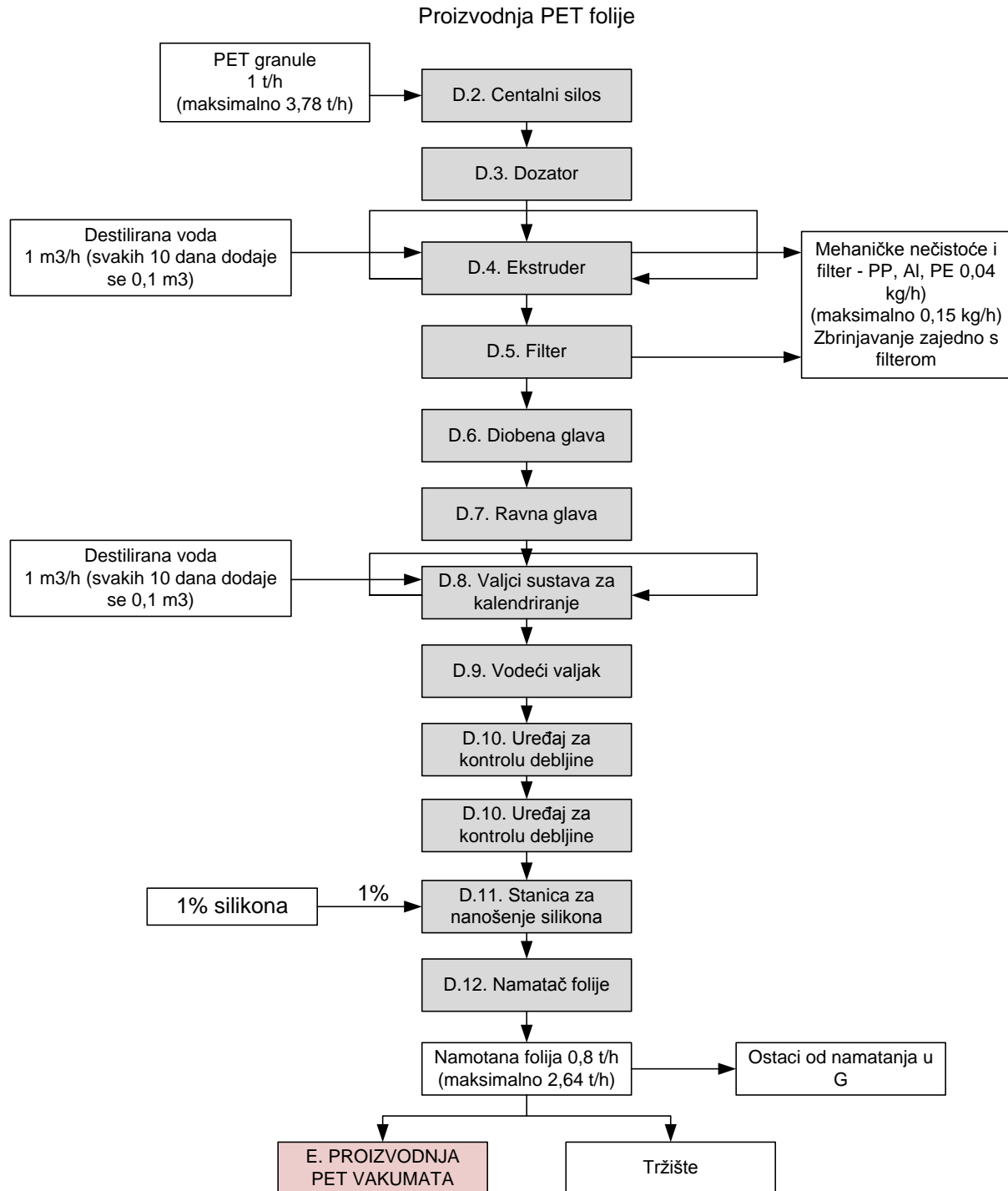
Slika 4. Shematski prikaz procesa oporabe PET ambalaže

Tehnološki proces oporabe otpadne PET ambalaže odvija se u Hali III. Sortiranje otpadne PET ambalaže započinje raspakiravanjem bala otpadne PET ambalaže. Iz rasute ambalaže izdvaja

se zaostala folija, žice i papir. Rasuta ambalaža dalje se transportnom trakom odvodi do optičke sortirnice koja optički detektira različite boje otpadne PET ambalaže i propuhivanjem sortira ambalažne boce po bojama. Otpadna ambalaža sortirana po boji melje se u mlinu koji je u vodi. U sustavu recirkulira oko 20 m³ vode. PET ambalaža se melje na frakcije dimenzije 8-12 mm. Samljeveni materijal se zatim transportira u centrifugu gdje se cijedi, suši, a mehanički se odvajaju komadići etiketa. Ova faza se zaključuje u vertikalnom selektoru koji odvaja etikete (poliolefini) od ostalog materijala, a očišćeni PET listići idu u daljnju obradu. U daljnjem procesu obrade, PET listići razdvajaju se po specifičnoj težini na dvije frakcije. Jednu čine materijali lakši od vode (čepovi i druge plastične primjese), a PET tone. Potom se svaka frakcija centrifugira i suši. U duplom transporteru se recirkulira cca 14 m³ vode. U vodenom mediju otapa se zaostalo ljepilo. PET listići zagrijavaju se na 78 °C. Tu se potpunosti odstranjuje ljepilo i ostale nečistoće uz stalno centrifugiranje. Ljepilo se izdvaja, a PET flekice idu dalje na ispiranje. Završno čišćenje PET listiće odvija se kroz: a) vertikalni zračni selektor; b) vibracijsku stanicu; c) magnetni detektor i d) infracrveni odjeljivač. U daljnjem procesu obrade, PET listići razdvajaju se po specifičnoj težini na dvije frakcije. Jednu čine materijali lakši od vode (čepovi i druge plastične primjese), a PET tone. Potom se svaka frakcija centrifugira i suši. U duplom transporteru se recirkulira cca 14 m³ vode. U vodenom mediju otapa se zaostalo ljepilo. PET listići zagrijavaju se na 78°C. Tu se potpunosti odstranjuje ljepilo i ostale nečistoće uz stalno centrifugiranje. Ljepilo se izdvaja, a PET flekice idu dalje na ispiranje. Završno čišćenje PET listiće odvija se kroz: a) vertikalni zračni selektor; b) vibracijsku stanicu; c) magnetni detektor i d) infracrveni odjeljivač. Mljeveni prozirni i šareni PET listići pakiraju se na samoj liniji u big-bag vreće što predstavlja zadnji korak u mehaničkoj obradi otpadne PET ambalaže. Maksimalni kapacitet linije za oporabu PET ambalaže iznosi 3.600 t/ mjesечно PET ambalaže iz koje je moguće maksimalno proizvesti 1.500 tona/mjesečno šarenih i 1.500 tona/mjesečno prozirnih PET flekica. Dio PET flekica (maksimalno 3,8 t/h) ide u daljnju proizvodnju PET folije, dok se manji dio PET flekica (maksimalno 0,4 t/h) i maksimalno 0,03 t/h) HDPE granula dalje procesuiru u proizvodnju PET preformi i čepova.

Tehnološka linija proizvodnje PET folije smještena je u Halu I i III. Maksimalni kapacitet tehnološke linije za proizvodnju PET folije je 1900 t/mjesečno. Linija se sastoji od niza podjedinica kao što je prikazano na Slici 5. Sirovina za proizvodnju PET folije je reciklirana PET ambalaža ili originalni granulat, ovisno o tome za koji tip proizvoda će se predmetna folija koristiti. Ukoliko se radi o proizvodnji proizvoda za držanje hrane (PET vakumati), tada se folija

proizvodi samo od originalne sirovine.

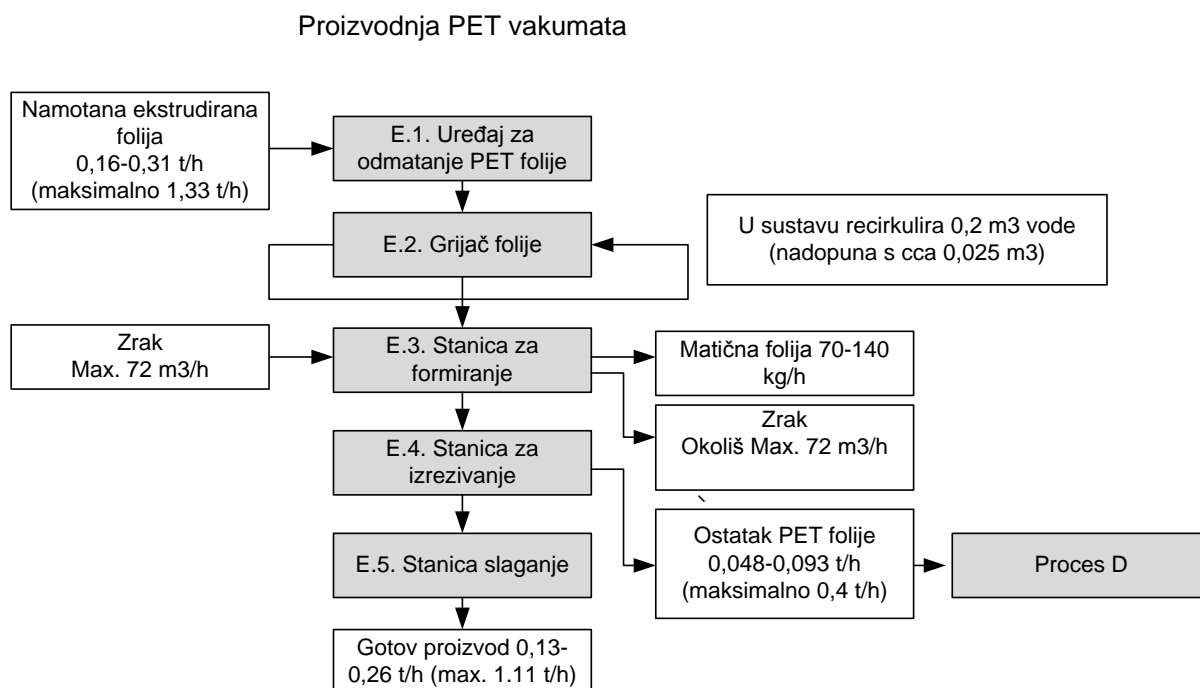


Slika 5. Shematski prikaz procesa proizvodnje PET folije

PET flekice ili originalni granulat iz big-bagova se pomoću transportnih cijevi transportiraju do centralnog silosa za miješanje iz kojeg se uređajima i transportnim cijevima dopremaju u dozator a potom u sam ekstruder. Na isti se način transportira i dozira originalni granulat u pomoćni ekstruder. Ekstruder je opremljen grijačima i sustavom za održavanje konstantne zadane temperature u pojedinim zonama gdje se omekšava PET te se uklanja eventualno zaostala vlage. Omekšani i pročišćeni PET se pomoću transportnog sustava transportira do filtera gdje se uz pomoć mrežica čisti od eventualno zaostalih mehaničkih nečistoća te se putem

pritiska transportira do diobene glave. U diobenoj glavi se materijal iz osnovnog ekstrudera s gornje i donje strane oblaže novim materijalom. Tako obloženi materijal se pomoću transportera transportira do ravne glave na kojoj se, ovisno o potrebama, određuje širina i debljina folije. Otopljeni PET pada na prvi valjak sustava za kalendriranje koji se sastoji od tri valjka gdje se uz pomoć pritiska dobije određena debljina dok se hlađenjem postiže određena prozirnost. Ohlađena i formirana folija se putem vodećih valjaka dovodi do uređaja za kontrolu debljine. Prema potrebi se folija odvodi dalje do sustava za nanošenje silikona. Rezanje na konačan format i namatanje odvija se na namataču folije. Folija namotana na kartonske tuljke se pakira i transportira do kupca ili odlazi na daljnju obradu u pogon za proizvodnju vakumata.

Tehnološki proces proizvodnje PET vakumata smješten je u Hali I. Maksimalan kapacitet tehnološkog procesa je 800 t/mjesečno. Tehnološka linija proizvodnje PET vakumata sastoji se od niza podjedinica prikazanih Slikom 6.

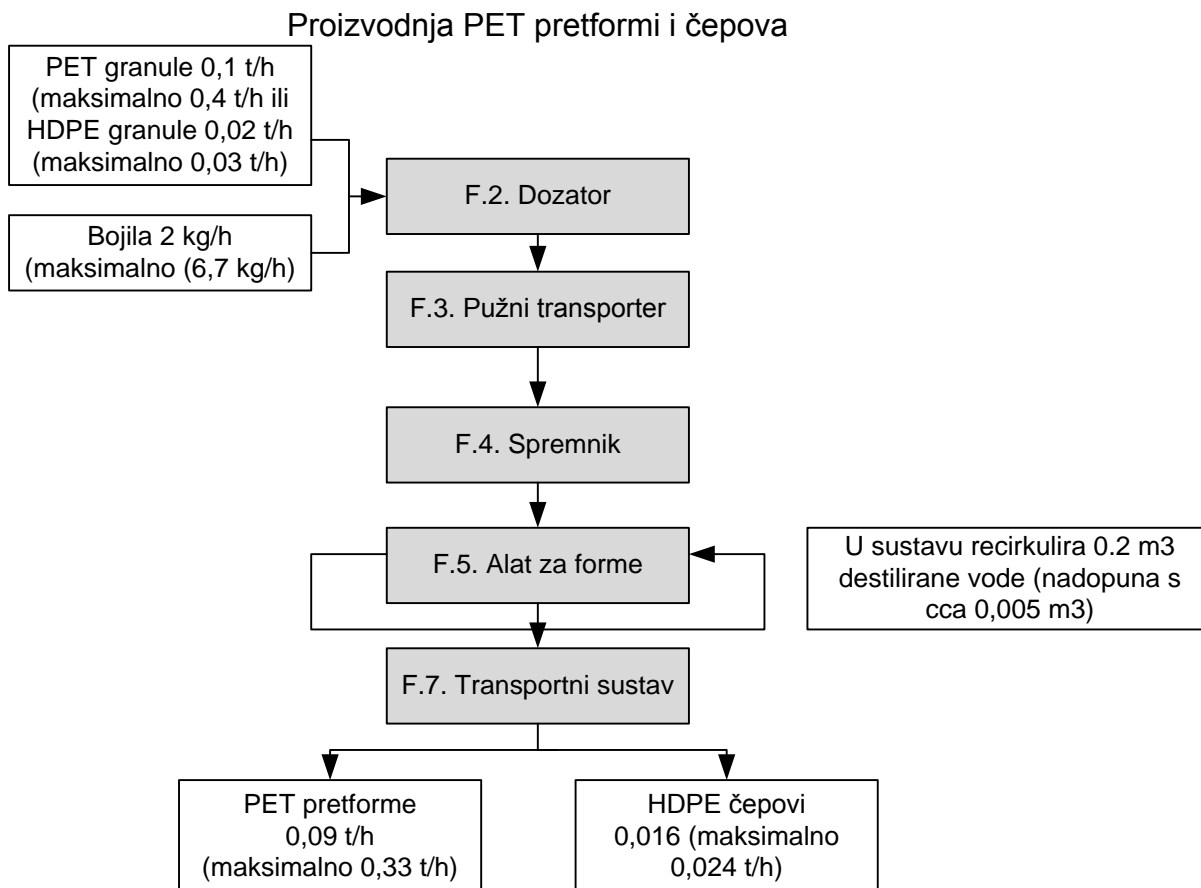


Slika 6. Shematski prikaz procesa proizvodnje PET vakumata

Vakumiranje je proces kojim se iz ravne folije dobiva određeni oblik potreban za pakiranje proizvoda. Najčešće se radi o posudicama za pakiranje raznovrsnih prehrambenih proizvoda izrađenih od PET-a. PET vakumati se proizvode procesom vakumiranja iz ravne folije pri čemu se dobija određeni oblik posudica. Ekstrudirana PET folija odmatava se na uređaju za odmatanje PET folije. Razmotana PET folija prolazi kroz uređaj za zagrijavanje u kojem se folija grije na zahtijevanu temperaturu (temperatura ovisi o debljini folije, dubini izvlačenja, vrsti folije...). Tako pripremljena folija transportira se do stanice za formiranje. Na stanici za formiranje, koja u sebi ima alat koji se sastoji od donjeg i gornjeg dijela, uz pomoć vakuuma i tlaka zraka, folija se uvlači u otvore za formiranje, pritišće se formiračima, naglo se hladi te izbija van iz alata za formiranje. Iz stanice za formiranje nastaje i matična folija u manjim količinama koja ide po potrebi u ponovni proces proizvodnje. Formirani oblik transportira se dalje do stanice za izrezivanje konačne forme gdje se ponovno uz pomoć određenih alata odreže željeni oblik. Odrezani željeni oblik, koji se još uvijek drži za matičnu foliju, transportira se do stanice za slaganje gdje se iz matične folije alatima izbija i slaže konačna forma u željenim količinama.

Tehnološki proces proizvodnje PET pretformi i HDPE čepova odvija se u Hali I. Šest brizgalica za PET ima maksimalni kapacitetom od 450 t/mjesečno, a ostalih pet brizgalica za proizvodnju HDPE čepova ima maksimalni kapacitet od 100 t/mjesečno.

Tehnološka linija proizvodnje PET pretformi i HDPE čepova sastoji se od niza međusobno povezanih podjedinica kao što je prikazano Slikom 7.



Slika 7. Shematski prikaz procesa proizvodnje PET vakumata

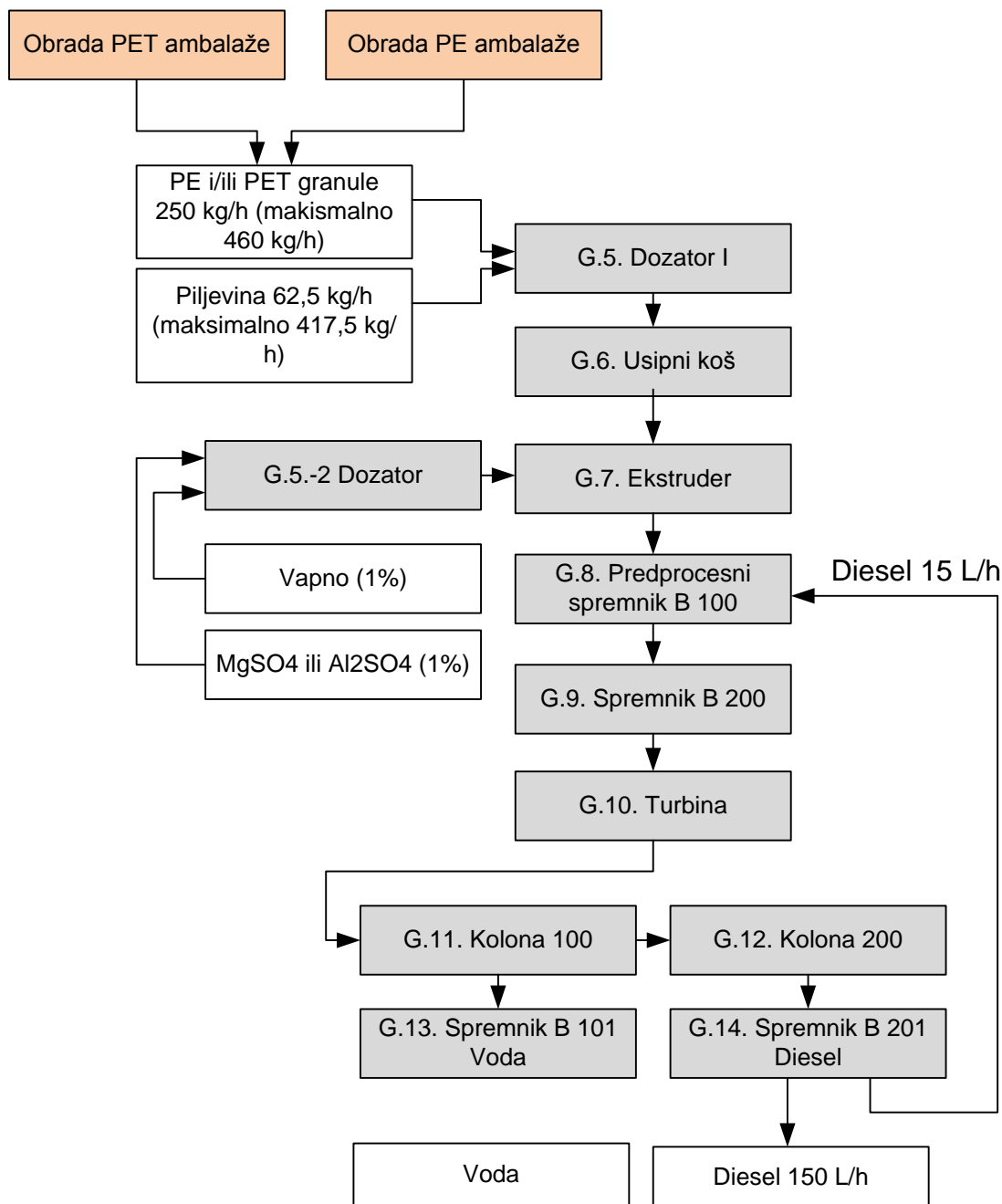
PET pretforme i HDPE čepovi dobivaju se postupkom brizganja. Brizganje je proces kojim se dobije određena pretforma iz koje se poslije procesom zagrijavanja i puhanja dobiva određeni oblik i volumen boce od PET-a. Pripremljeni PET ili HDPE materijal u granulama se iz bigbaga dozira pomoću doziranog uređaja, a dodatno se u dozator i dodaju bojila i aditivi. Pripremljena smjesa ulazi u šneku – pužni transporter gdje se zagrijava na određenu temperaturu i transportira do spremnika iz kojeg se pod utjecajem velikih sila, koje omogućuje hidraulični uređaj, ubrizgava u alat. Za svaku pretformu potreban je određeni alat koji daje oblik i željenu formu. Ubrizgana masa u alatu se naglo hladi, alat se otvara i uz pomoć izbacivača stvorena forma se izbacuje iz alata i dalje transportnim sustavom transportira do kutija u koje se pakira.

3. REZULTATI I RASPRAVA

Plastični otpad koji nastaje u procesima uporabe PE folije, a obuhvaća etikete i nečistoće te otpadni PE (Slika 2.) kao i otpad koji nastaje u procesu proizvodnje PET ambalže, a obuhvaća također etikete i nečistoće (Slika 4.) kao i sav ostali plastični otpad koji nastaje na pojedinim

tehnološkim linijama u postrojenju i kojeg nije moguće oporabiti na neki drugi način, služi kao sirovina za proizvodnju sintetičkog diesela katalitičkim postupkom depolimerizacije koji se odvija u pet faza (Slika 8.).

Proizvodnja diesela



Slika 8. Shematski prikaz procesa proizvodnje diesela iz otpadne plastike katalitičkim postupkom depolimerizacije

U prvoj fazi se dobavljaju i pripremaju ulazne sirovine potrebne za proces katalitičke depolimerizacije. Te sirovine obuhvaćaju: regranulirane materijale koji nastaju kao proizvodi reciklaže polietilenske folije i PET-a (polietilenska folija, PET boce, čepovi i etikete), samljeveni na čestice veličine do 5 mm te osušeni do 20 % težinskog udjela vlage, zatim je tu organski

materijal u obliku drvene piljevine također samljeven na čestice veličine do 5 mm i osušen do 20 % težinskog udjela vlage, nadalje, kao katalizator se dodaje magnezijev ili aluminijev sulfat u udjelu od 1 %, a koji služi za poboljšavanje procesa cijepanja molekularnih lanaca te se može ponovno vraćati u proces, tu je još i hidrat (vapno) koji se također s udjelom od 1 % koristi za reguliranje pH vrijednosti u samom procesu.

U drugoj fazi se provodi doziranje sirovine i to piljevine i polietilena ili PET-a u težinskom omjeru od 25 % odnosno 75 %. Regranulirani polietilen i PET te piljevina dopremaju se u usipni koš iz kojeg se spiralnim transporterima prebacuju u ekstruder. Pri ulasku u ekstruder, drugi dozator ubacuje katalizator i hidrat (vapno) u također određenim omjerima (cca po 1 % svakoga u težinskom omjeru). Sve sirovine su ugrijane na temperaturu do 220 °C, sjedinjene su te ih ekstruder utiskuje u predprocesni spremnik.

U trećoj fazi, u predprocesnoj posudi (B 100, Slika 8.), pri temperaturi od 220 do 230 °C, miješač rotira materijal zajedno s prethodno usutim dieselom da bi došlo do pripajanja katalizatora na molekularne lance sirovina, čime se ubrzava cijepanje lanaca. Za grijanje posude koristi se energija koju oslobađa generator koji pokreće cijelo postrojenje. Također se ova posuda može i hladiti ubacivanjem zraka pomoću ventilatora u dvostruki plašt spremnika.

Četvrta faza podrazumijeva katalitičku depolimerizaciju koja se odvija poslije prelijevanja iz predprocesa u spremnik B 200 pri temperaturi od 250 do 280 °C (Slika 8.). Nakon toga, materijal odlazi u turbinu, u kojoj uz veliki broj okretaja i trenje o stijenke pri maksimalnoj temperaturi od 280 °C, katalizator prijanja uz ionizirane kristale pa se molekule sirovina cijepaju na kraće (željene) molekularne lance bez prisustva kisika.

Peta faza podrazumijeva separaciju komponenti iz smjese procesom destilacije pri čemu se iz kolone K 200 iznad predprocesne posude razdvaja diesel, a iz kolone K 100 iznad procesne posude voda. Destilati se nakon hlađenja slijevaju u spremnike B 201 (diesel) i B 101 (voda) (Slika 8.).

Cjelokupni proces odvija se u zatvorenom sustavu spremnika i cjevovoda od nehrđajućega čelika uz maksimalnu temperaturu do 280 °C i pritiscima od cca -0,5 mbara. Iz postrojenja se ne emitira nikakav dim. Jedini plin koji se oslobađa je CO₂ koji nastaje kao produkt izgaranja goriva u generatoru. Budući se proces odvija pri temperaturama daleko nižim od 500 °C ne oslobađaju se niti dioksini niti furani, kao što je slučaj kod pirolize koja podrazumijeva temperature koje su iznad 500 °C.

Opisani proces proizvodnje diesel goriva odvija se u postrojenju koji ima projektirani kapacitet proizvodnje diesela od 150 l/h (max. 1000 l/h) uz maksimalan utrošak proizvedenoga diesela za generator od 10 % proizvedene količine (Slika 8.). Potrošnja ulaznih sirovina u projektiranom kapacitetu iznosi cca 250 kg polietilenskih ili PET sirovina na sat te cca 62,5 kg organskog materijala (piljevine) na sat.

U usporedbi s klasičnim dieselom, dobiveni diesel ima iste karakteristike, a nekim segmentima čak i bolje (nema sumpora i drugih štetnih primjesa, a ima i veću oktansku vrijednost).

4. ZAKLJUČAK

U ovom je radu, na primjeru jednog postrojenja u istočnoj Hrvatskoj, koje se između ostalog bavi oporabom ambalže od plastike, prikazan način dobrog gospodarenja plastičnim otpadom koji se temelji na primjeni zaokruženog ciklusa recikliranja. Sav plastični otpad koji nastaje u tehnološkim linijama oporabe i proizvodnje u postrojenju, a koji se ne može oporabiti na drugi način, umjesto odlaganja na odlagališta, koristi se kao sirovina za proizvodnju sintetičkog

diesela. Takvog otpada u pogonima ima oko 20 tona dnevno što je dovoljno za proizvodnju 16.000 – 18.000 litara sintetičkog diesela, odnosno godišnje oko 3.000 tona. Dobiveni diesel ima sve karakteristike eurodiesela, uz to ne sadrži sumpor i druge štetne primjese te ima veću oktansku vrijednost od uobičajenog dieselskog goriva. Dobiveni diesel se može koristiti za proizvodnju električne energije koja se troši za rad postrojenja, a dijelom prodavati u električnu mrežu. Ako se uzme u obzir da jedna tona diesela sadrži oko 1170 litara, a njegova cijena za indutriju je oko 6 kuna po litri ispada da 3.000 tona diesela vrijedi oko 21 milijun kuna pa je proces proizvodnje diesela itekako isplativ jer 80 % sirovine za njegovu proizvodnju ne košta ništa budući da se radi o plastičnom otpadu nastalom u samom postrojenju. Isto tako, treba naglasiti da struja nije jedini proizvod koji se dobiva prilikom proizvodnje diesela. Naime, uz svaki proizvedeni kilovat struje dobiva se i kilovat toplinske energije. S obzirom na radne temperature pri kojima se odvija proces katalitičke depolimerizacije (230 – 240 °C), ne pojavljuju se plinovi štetni za okoliš.

Primjenom ovakvog pristupa uporabe plastičnog otpada tj. proizvodnje novih proizvoda iz otpadne plastične ambalaže, smanjuje se količina otpada koju je u konačnici potrebno zbrinuti, smanjuju se troškovi zbrinjavanja te se ostvaruje dodatna korist kroz proizvodnju novog proizvoda uz značajan doprinos zaštiti okoliša.

5. REFERENCE

- [1] Kirwan J.M., Paper and paperboard packaging technology, Blackwell, London, UK, 2005.
- [2] Weiner R.E, Matthews R.A., Environmental engineering, Butterworth-Heinemann, USA, 2003.
- [3] González Pericot N., Villoria Sáez P., Del Río Merino, Liébana Carrasco O.: Production patterns of packaging waste categories generated at typical Mediterranean residential building worksites; Waste Management 34 (2014) 1932-1938
- [4] Cruz N.F., Ferreira S, Cabral M., Simoes P., Marques R.C.: Packaging Waste recycling in Europe: Is the industry paying for it?; Waste Management 34 (2014) 298-308
- [5] Al-Salem S.M., Lettieri P., Baeyens J.: Recycling and recovery routs of plastic solid waste (PSW): A review; Waste Management 29 (2009) 2625-2643
- [6] Panda A.K., Singh R.K., Mishra D.K.: Thermolysis of waste plastics to liquid fuel A suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products – A world perspective; Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 233-248
- [7] Cruz N.F., Simões P, Marques R.C.: Economic cost recovery in the recycling of packaging waste: the case of Portugal; Journal of Cleaner Production 37 (2012) 8-18

MOGUĆNOSTI ENERGETSKE OPORABE ANAEROBNO BIORAZGRADIVE KOMPONENTE KOMUNALNOG OTPADA NA PROSTORU ZAGREBAČKE ŽUPANIJE

THE POSSIBILITIES FOR ENERGY RECOVERY FROM ANAEROBICALLY
BIODEGRADABLE COMPONENT OF MUNICIPAL WASTE IN ZAGREB COUNTY AREA

dr. sc. Marin Miletić dipl. ing. biol.*¹; Nikola Karadža dipl. ing. str.¹;
MSc. Željka Fištrek dipl. ing. biol.¹

¹ Energetski institut Hrvoje Požar, Savska cesta 163, Zagreb

*e-mail kontakt: mmiletic@eihp.hr

SAŽETAK

Predmet ovog rada je istraživanje i analiza dostupnih podataka o količinama anaerobno biorazgradive komponente komunalnog otpada na prostoru Zagrebačke županije te određivanje neto energetske potencijala odnosno tehnički iskoristivog potencijala koji se primjenom određenih tehničkih rješenja može pouzdano energetske iskoristiti. Uz definiranje resursne osnove stvaraju se i pretpostavke za racionalnije određivanje lokacija na području Županije pogodnih za energetska postrojenja za oporabu navedene frakcije otpada. Na temelju prostorne analize podataka te primjenom određenih kriterija, izrađena je GIS baza podataka o dostupnim količinama anaerobno biorazgradive komponente komunalnog otpada te sadržanim energetske vrijednostima na prostoru Županije kako bi se omogućila što učinkovitija i okolišno prihvatljiva energetska oporaba navedene komponente otpada.

Ključne riječi: *biološki razgradiva komponenta komunalnog otpada; energetska oporaba; anaerobna digestija; GIS baza podataka*

SUMMARY

The topic of this paper is the research and analysis of the of available data on the quantities of biodegradable component of municipal waste in Zagreb county area, and determination of net energy potential, respectively technical energy potential that can be used by application of certain technologies. By definition of available resources, the assumptions can be made for rational determination of appropriate locations for energy recovery from the above mentioned substrate. Based on the data analysis and certain selected criteria, the GIS database was developed that compiles the information on existing quantities of biodegradable component of municipal waste and energy content of the same in Zagreb county area, with aim to enable the efficient and environmentally acceptable energy recovery of the biodegradable component of municipal waste.

Keywords: *biodegradable component of municipal waste; energy recovery, anaerobic digestion; GIS database*

1. UVOD

Biorazgradivi dio komunalnog otpada je svaki otpad koji podliježe anaerobnoj ili aerobnoj razgradnji, a čine ga razgradive komponente kao što su: zeleni otpad, otpad iz kuhinja, drvo, papir i karton, neke vrste tekstila i sl. Odlaganjem biorazgradivog otpada na odlagališta komunalnog otpada dolazi do raspada organske tvari što može uzrokovati nepovoljne utjecaje na okoliš, prvenstveno na površinske vode, podzemne vode, tlo, zrak (staklenički plinovi), i ljudsko zdravlje. Primjena Direktiva EU i usklađivanje sa istima uvjetuje razvoj novih strategija gospodarenja otpadom u svim europskim zemljama pa tako i u Hrvatskoj. Osnovni cilj gospodarenja otpadom je spriječiti ili smanjiti negativne učinke odlaganja otpada na okoliš uvođenjem strogih tehničkih zahtjeva za odlaganje otpada. Jedinica lokalne i područne (regionalne) samouprave dužna je na svom području osigurati uvjete i provedbu propisanih mjera gospodarenja otpadom. Prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) najveća dopuštena masa biorazgradivog komunalnog otpada koja se godišnje smije odložiti na svim odlagalištima i neusklađenim odlagalištima u Republici Hrvatskoj u odnosu na masu biorazgradivog komunalnog otpada proizvedenog u 1997. godini iznosi:

1. 75 %, odnosno 567.131 tona do 31. prosinca 2013.
2. 50 %, odnosno 378.088 tona do 31. prosinca 2016.
3. 35 %, odnosno 264.661 tona do 31. prosinca 2020.

Trenutno je u Hrvatskoj slabo razvijen sustav recikliranja i odvajanja biorazgradivog dijela komunalnog otpada, osim djelomično papira i kartona, koji većinom završava na odlagalištima. Potrebno je stoga uložiti velike napore kako bi se značajno povećale količine odvojeno sakupljenog biorazgradivog dijela komunalnog otpada kako isti ne bi završio na odlagalištima, te kako bi se time implementirale preuzete obveze sadržane u EU Direktivama.

Neki od načina obrade biorazgradivog otpada su kompostiranje (aerobna obrada) i/ili proizvodnja bioplina (anaerobna obrada). Budući da kod kompostiranja nema energetskog iskorištavanja otpada, proizvodnju bioplina možemo smatrati prihvatljivijim načinom oporabe otpada. Osnovni ulazni podatak u osmišljavanju i razradi cjelovitog sustava gospodarenja otpadom na nekom području predstavljaju količina i sastav otpada. Navedeno posebno dobiva na važnosti kod razmišljanja o uvođenju nekog podsustava cjelovitog sustava gospodarenja otpadom na regionalnoj razini kao što je energetska oporaba [4].

Zagrebačka županija je smještena u središnjem dijelu sjeverozapadne Hrvatske s administrativnim sjedištem u Zagrebu. U svojem sastavu ima 9 gradova (Dugo Selo, Ivanić-Grad, Jastrebarsko, Samobor, Sveta Nedelja, Sveti Ivan Zelina, Velika Gorica, Vrbovec, Zaprešić) i 342 naselja u 25 općina koje okružuju Grad Zagreb sa zapadne, južne i istočne strane. Ukupna površina Županije je 3.060 km² i naseljava ju 317.606 stanovnika [6].

Predmet ovog rada je istraživanje i analiza dostupnih podataka o količinama anaerobno biorazgradive komponente komunalnog otpada na prostoru Zagrebačke županije te određivanje neto potencijala odnosno tehnički iskoristivog potencijala biorazgradivog komunalnog otpada koji se primjenom određenih tehničkih rješenja može pouzdano energetski iskoristiti u procesu anaerobne razgradnje uz proizvodnju bioplina. Kuhinjski i sličan biootpad prisutan u komunalnom otpadu je veoma pogodan za anaerobnu razgradnju jer sadrži izraženu energetsku komponentu (2,8-4,4 MJ/toni [3,8]) pa ovaj rad istražuje potencijale energetske oporabe navedene frakcije biorazgradivog komunalnog otpada. U daljnjem tekstu se pod pojmom anaerobno biorazgradivi otpad smatra kuhinjski i sličan biootpad kao frakcija komunalnog otpada. Uz definiranje resursne osnove stvaraju se i pretpostavke za racionalnije određivanje lokacija na području Županije pogodnih za energetska postrojenja za oporabu

navedene frakcije otpada. Na temelju prostorne analize podataka izrađena je GIS baza podataka s dostupnim količinama biorazgradive komponente komunalnog otpada pogodnima za anaerobnu razgradnju te sadržanim energetske vrijednostima na prostoru Županije, kako bi se omogućila što učinkovitija i ekološki prihvatljiva energetska uporaba navedene komponente otpada.

2. MATERIJALI I METODE

U sklopu izrade ove studije energetske potencijali anaerobno biorazgradive komponente komunalnog otpada dobiveni su pretvorbom dostupnih podataka o sakupljenim količinama komunalnog otpada na području Zagrebačke županije prema bazi podataka Agencije za zaštitu okoliša [1]. Precizan sastav komunalnog otpada koji se sakuplja i odlaže na razini Županije je uglavnom nepoznat, budući da nema sustavnog praćenja sastava komunalnog otpada, te se njegov sastav može samo pretpostaviti. U ovom radu je korišten podatak o sastavu otpada preuzet iz Plana gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. godine (Narodne novine br. 85/07; 126/10 i 31/11) koji navodi da je prosječna zastupljenost kuhinjskog i sličnog biootpada u komunalnom otpadu sakupljenom na razini Hrvatske 43%. Navedena komponenta je pogodna za anaerobnu razgradnju i predstavlja teoretski dostupne količine pogodne za energetske uporabu pretvorbom u bioplin. Kako bi dobili realniji podatak o stvarno raspoloživim količinama biorazgradivog komunalnog otpada koje kod odvojenog prikupljanja mogu biti dostupne za anaerobnu digestiju, pretpostavili smo da je tehnički potencijal na razini 50% od teoretski dostupnih količina.

Područje Županije grupirano je na osam (8) funkcionalnih cjelina na kojima su analizirane raspoložive količine odabrane, a koje se razgraničuju po granicama sljedećih gradova i općina:

1. Grad Dugo Selo s jedanaest (11) naselja, Općina Brckovljani s trinaest (13) naselja i Općina Rugvica s dvadesettri (23) naselja, što je sveukupno četrdesetsedam (47) naselja;
2. Grad Ivanić-Grad s dvadesetdva (22) naselja, Općina Kloštar Ivanić s jedanaest (11) naselja i Općina Križ sa šesnaest (16) naselja, što je sveukupno četrdesetdevet (49) naselja;
3. Grad Jastrebarsko s pedesetdevet (59) naselja, Općina Klinča Sela sa četrnaest (14) naselja, Općina Krašid s tridesettri (33) naselja, Općina Pisarovina sa četrnaest (14) naselja i Općina Žumberak s tridesetpet (35) naselja, što je sveukupno stopedesetpet (155) naselja;
4. Grad Samobor sa sedamdesetosam (78) naselja, Grad Sveta Nedelja sa četrnaest (14) naselja i Općina Stupnik s tri (3) naselja, što je sveukupno devedesetpet (95) naselja;
5. Grad Sveti Ivan Zelina sa šezdesetdva (62) naselja i Općina Bedenica sa šest (6) naselja, što je sveukupno šezdesetosam (68) naselja;
6. Grad Velika Gorica s pedesetdevet (59) naselja, Općina Kravarsko s deset (10) naselja, Općina Orle s deset (10) naselja i Općina Pokupsko sa četrnaest (14) naselja, što je sveukupno devedesettri (93) naselja;
7. Grad Vrbovec sa četrdesetdva (42) naselja, Općina Dubrava s dvadesetsedam (27) naselja, Općina Farkaševac s jedanaest (11) naselja, Općina Gradec s dvadeset (20) naselja, Općina Preseka s petnaest (15) naselja i Općina Rakovec s dvanaest (12) naselja, što je sveukupno stodvadesetsedam (127) naselja;
8. Grad Zaprešić s devet (9) naselja, Općina Bistra sa sedam (7) naselja, Općina Brdovec s trinaest (13) naselja, Općina Dubravica s deset (10) naselja, Općina Jakovlje s tri (3) naselja, Općina Luka s pet (5) naselja, Općina Marija Gorica s deset (10) naselja i Općina Pušća s osam (8) naselja, što je sveukupno šezdesetpet (65) naselja.

Dodatno je uzeta u obzir i lokacija budućeg Županijskog centra za gospodarenje otpadom Tarno pored Ivanić-Grada na koju bi pristizale ukupne količine komunalnog otpada sa područja Županije.

Za svaku navedenu funkcionalnu cjelinu prikazana je georeferencirana ukupno raspoloživa količina komunalnog otpada i tehnički dostupna količina anaerobno biorazgradivog otpada koji je moguće obraditi u bioplinskom postrojenju, prinos bioplina koristeći proces mezofilne mokre anaerobne digestije, snaga kogeneracijske jedinice te ostvariva količina električne i toplinske energije nastale prilikom izgaranja bioplina. Tehnički energetske potencijal biomase (sirovinske osnove) koja se razmatra na određenom području i može se ostvariti proizvodnjom bioplina, izračunava se kao umnožak raspoložive količine sirovine, uzevši u obzir tehnološka ograničenja, i njezine energetske vrijednosti nakon pretvorbe u bioplin. Kao referentni podatak za prinos bioplina korištena je vrijednost od 110m³/t anaerobno biorazgradivog otpada te udio metana od 62%, koji odgovaraju prinosima bioplina kod anaerobne fermentacije ostvarenim eksperimentalno na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu [2,5,7,9].

3. RASPRAVA

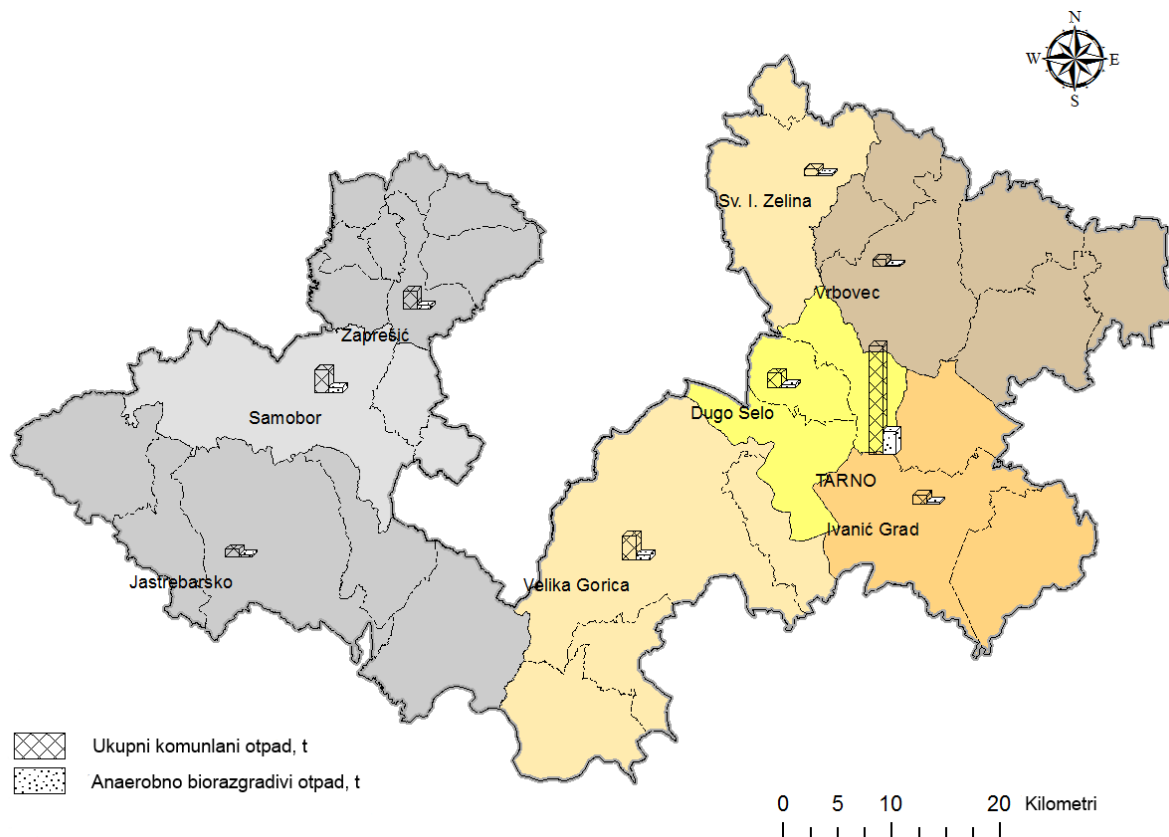
Biorazgradiva komponenta komunalnog otpada predstavlja potencijalnu opasnost po okoliš i zdravlje ljudi. Zbog toga se sve više nameće potreba za pronalaženjem različitih rješenja za njegovu oporabu i kvalitetno zbrinjavanje. Umjesto odlaganja navedene komponente na odlagališta postoji veći broj opcija za njegovu oporabu: kompostiranje, anaerobna oporaba, spaljivanje, itd. [4]. U Republici Hrvatskoj se trenutno jedino primjenjuje kompostiranje (aerobno stabiliziranje) biorazgradive komponente komunalnog otpada (uglavnom zelenog otpada) iako bi se anaerobna digestija mogla iskazati kao energetske i okolišno prihvatljivije rješenje. Bioplin koji nastaje anaerobnom fermentacijom organske tvari djelovanjem anaerobnih bakterija, koje su kao mikroorganizmi prisutne u tvarima i odgovorne za proces razgradnje, predstavlja poželjan način energetske oporabe biootpada. Vrijednost supstrata ocjenjuje se prema potencijalu za proizvodnju metana, brzini razgradnje i potencijalnom riziku s obzirom na štetne tvari, odnosno prisutnost patogenih organizama. Bioplin je smjesa nekoliko plinova, pri čemu metan i ugljikov dioksid čine 90% ukupne smjese, a prisutne su i manje količine sumporovodika, dušika, vodika i kisika. Energetski sadržaj bioplina ovisi o udjelu metana u bioplinu, koji obično iznosi od 55-70%. Izgaranjem bioplina nastaju toplinska i električna energija korištenjem standardnih kogeneracijskih tehnika. Najvažniji doprinos bioplina kao izvora energije u smislu zaštite okoliša je taj da ne pridonosi povećanju emisija CO₂ u odnosu na fosilna goriva. Količina CO₂ koja nastaje tijekom gorenja bioplina je jednaka onoj koju je biomasa usvojila tijekom svog rasta – što znači da je bioplin kao gorivo CO₂ – neutralan.

Tablica 1 prikazuje količine otpada i teoretski energetske potencijal proizvodnje bioplina iz anaerobno biorazgradivog otpada u odnosu na prethodno navedene funkcionalne cjeline-lokacije.

Tablica 1 Količine otpada i energetske potencijal anaerobno biorazgradive komponente komunalnog otpada u Zagrebačkoj županiji

Lokacija (općina)	Sv. I. Zelina	Zaprešić	Dugo Selo	Vrbovec	Ivanić Grad	Jastrebarsko	Samobor	Velika Gorica	Tarno ŽCGO
Ukupni komunalni otpad (t)	4048	10827	8540	4388	5419	4545	13507	14438	65711
Anaerobno biorazgradivi otpad (t)	870	2328	1836	943	1165	977	2904	3104	14128
Bioplin m ³ /g	95732	256050	201971	103780	128153	107484	319435	341458	1554069
Električna energija kWh/g	237417	635006	500888	257376	317821	266562	792200	846817	3854091
Toplinska energija kWh/g	267094	714382	563499	289548	357549	299883	891225	952669	4335852
Elektro snaga motora kW	29	79	62	32	39	33	99	105	481

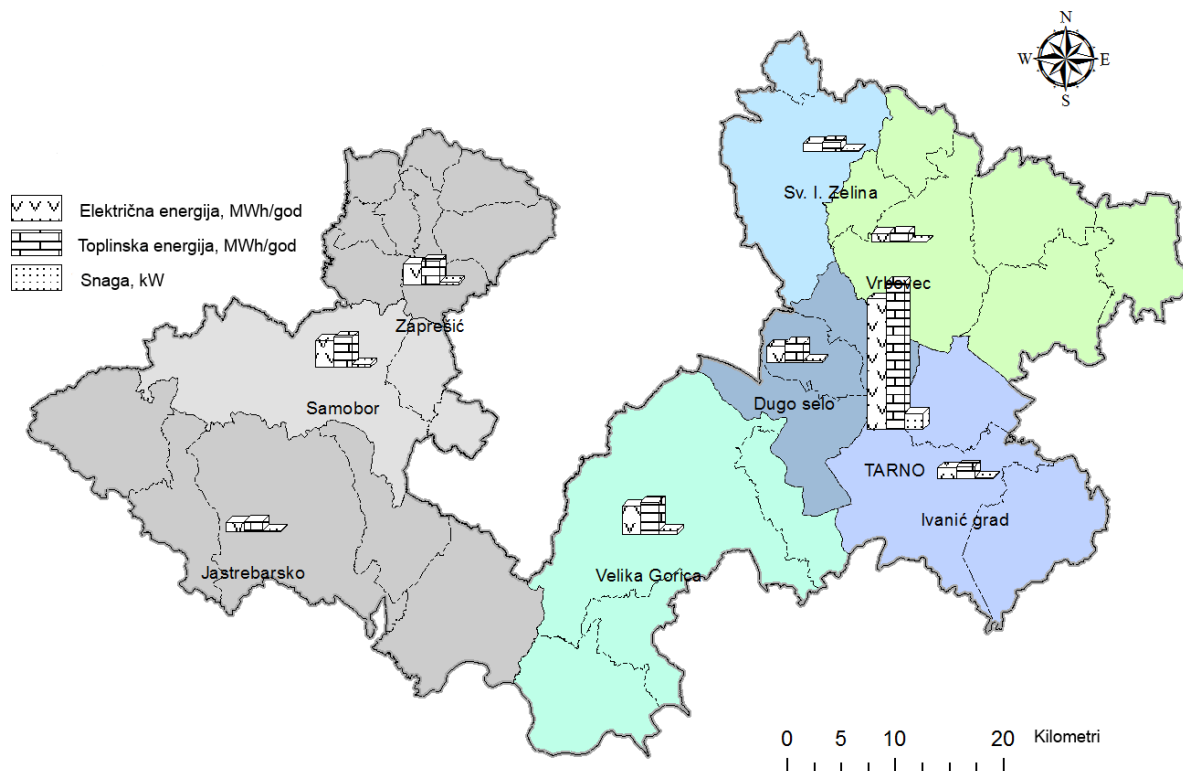
Na slici 1 su prikazane količine komunalnog i anaerobno biorazgradivog otpada u odnosu na prethodno navedene funkcionalne cjeline (Ivanić-Grad, Dugo Selo, Vrbovec, Sveti Ivan Zelina, Zaprešić, Velika Gorica, Tarno).



Slika 1 Ukupna količina komunalnog otpada i anaerobno biorazgradive frakcije komunalnog otpada, izraženo u tonama, u Zagrebačkoj županiji prema funkcionalnim cjelinama

S obzirom na specifičnosti otpada kao sirovine te s obzirom na rezultate analize raspoloživih podataka, informacija i planova za područje Zagrebačke županije, na slici 2 je prikazan tehnički

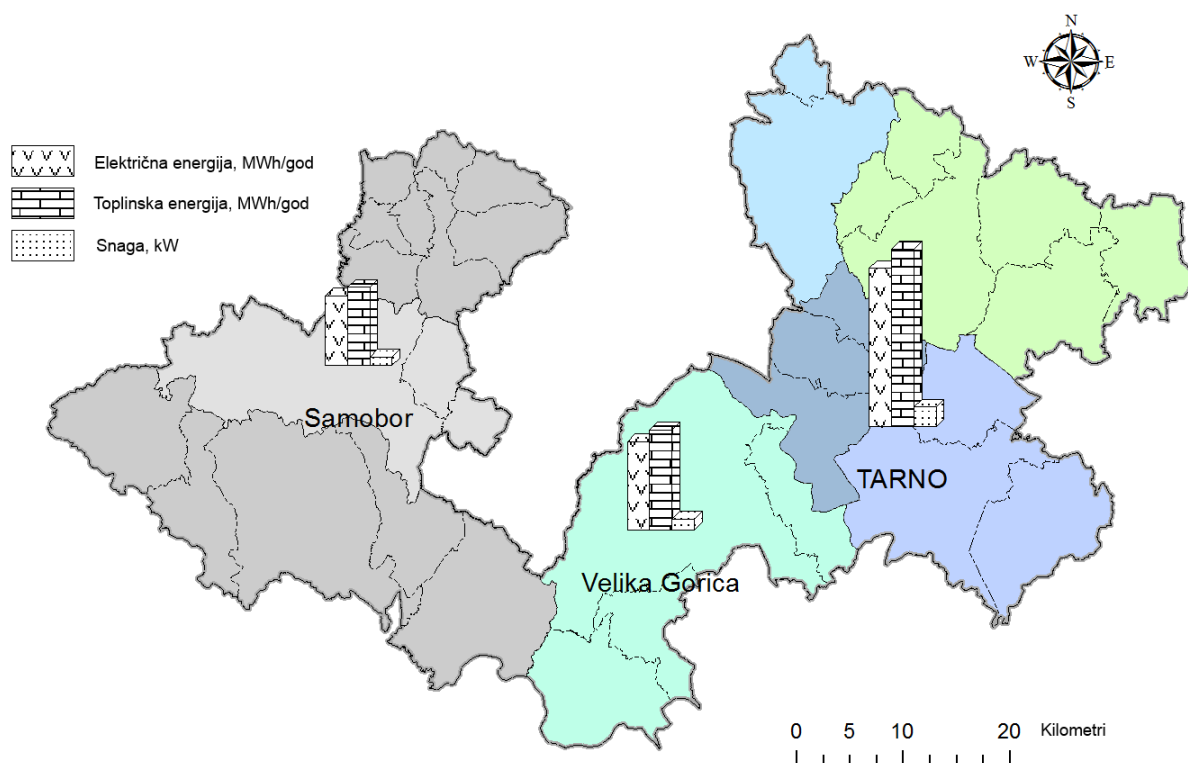
potencijal proizvodnje električne i toplinske energije iz anaerobno biorazgradivog otpada u odnosu na teritorijalne funkcionalne cjeline sa prikazanom snagom kogeneracijskog postrojenja.



Slika 2 Potencijal anaerobno biorazgradive komunalnog otpada za proizvodnju električne i toplinske energije s prikazanom potencijalnom snagom kogeneracijskog postrojenja. Za lokaciju ŽCGO Tarno brojke se odnose na ukupni potencijal Županije.

Međutim, kada se detaljno analizira očekivani prinos bioplina za svaku lokaciju postaje vidljivo da dostupne količine otpada nigdje ne omogućuju prinos bioplina koji bi mogao pokretati kogeneracijsku jedinicu snage veće od 150 kW te stoga po mišljenju autora nisu adekvatne kako bi omogućile ekonomski isplativu eksploataciju u bioplinskom postrojenju. Iz tog razloga je, kao što je prikazano na slici 3, prema analizi rezultata dobivenih georeferenciranjem podataka, kao opcija prikazan energetski potencijal navedene frakcije otpada za dvije lokacije: Samobor (211 kW) i Velika Gorica (270 kW). Navedeni potencijal je zbroj ukupnog energetskog potencijala raspoloživog otpada u zapadnom (Samobor, Jastrebarsko i Zaprešić) i istočnom (Velika Gorica, Dugo Selo, Vrbovec, Sv. I. Zelina i Ivanić Grad) dijelu Županije.

Kao alternativna opcija, proračun je izvršen s ukupnim količinama razmatranih kategorija otpada dostupnih na području Županije da bi se analizirala isplativost centralizirane eksploatacije u bioplinskom postrojenju. Podloga za navedenu opciju je predviđeni sustav gospodarenja otpadom Zagrebačke županije prema kojemu bi postojao Županijski centar za gospodarenje otpadom (ŽCGO), koji je, prema IV. Izmjenama i dopunama Prostornog plana Zagrebačke županije, smješten na lokaciji Tarno u Ivanić-Gradu. Županijski centar za gospodarenje otpadom je složena građevina čija je osnovna funkcija prihvata otpada iz sakupljačke mreže, obrada otpada i konačno odlaganje obrađenog otpada.



Slika 3 Potencijal anaerobno biorazgradive komunalnog otpada za proizvodnju električne i toplinske energije s prikazanom potencijalnom snagom kogeneracijskog postrojenja za odabrane lokacije, Samobor i Veliku Goricu. Za Tarno je prikazan ukupni potencijal na razini Županije.

4. ZAKLJUČAK

Raspoložive količine anaerobno biorazgradivog otpada kao frakcije komunalnog otpada na području Zagrebačke županije pružaju mogućnost za efikasnu energetske uporabu. Prema rezultatima provedenih georeferenciranih analiza te u odnosu na raspoložive energetske potencijale, najpogodnije djeluje uporaba navedene vrste otpada na lokacijama Samobor i Velika Gorica. Navedene lokacije su geografski smještene u istočnom i zapadnom dijelu Županije te pružaju mogućnost dovoza otpada sa ostalih funkcionalnih cjelina koje im gravitiraju i nalaze se na manje od 50 km udaljenosti. Na obje lokacije postoje centralizirani toplinski sustavi te je moguće korištenje raspoložive toplinske energije. Nesumnjivo je da bi se postigli i korisni učinci za okoliš uz korištenje obnovljivog izvora energije kakvim se smatra anaerobno biorazgradivi otpad, te uz smanjenje korištenja fosilnih goriva za proizvodnju topline na dvije spomenute lokacije. Postrojenja na obje lokacije, iako male snage, energetske i okolišne su opravdana, uz uvjet korištenja toplinske energije uz električnu.

Lokacija predviđenog ŽCGO Tarno, iako omogućuje vjerojatno isplativije rješenje uslijed veće snage bioplinskog postrojenja, te predviđene logistike gospodarenja otpadom, kako bi ispunila energetske i okolišne kriterije navedene za lokacije Samobor i Velika Gorica, trebala bi imati učinkovito korištenje topline.

Iz svega navedenog, razvidno je da je energetska uporaba anaerobno biorazgradivog otpada na prostoru Zagrebačke županije, razmatrajući energetske i okolišne aspekte, poželjan i ostvariv način gospodarenja otpadom.

5. BIBLIOGRAFIJA

- [1] Agencija za zaštitu okoliša. Pregled podataka o odlaganju otpada i odlagalištima otpada Republike Hrvatske. (2012) Dostupno na: <http://www.azo.hr/Izvjescia>. Pregled izvršen: 15. 09. 2014.
- [2] Arena U., Ugo Leone U., Mastellone M. L. Recupero di energia e materia da rifiuti solidi: i processi, le tecnologie, le esperienze, le norme. Ed. Doppiovoce, Facoltà di Ingegneria e Facoltà di Scienze Ambientali Seconda Università di Napoli (2007)
- [3] Bolzonella D., Innocenti L., Pavan P., Traverso P., Cecchi F. Semi-dry thermophilic anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: focusing on the start-up phase. *Bioresource Technology*, 86(2) (2003) 123–129
- [4] Colón J, Cadena E, Pognani M, Barrena R, Sánchez A, Font X, Artola A Determination of the energy and environmental burdens associated with the biological treatment of source-separated Municipal Solid Wastes. *Energy Environ. Sci.*, 5(2) (2012) 5731-5741
- [5] C.R.P.A. Biogas, l'analisi di fattibilità tecnico-economica. *Bollettino C.R.P.A.*, 4: (2008) 1-4.
- [6] Državni zavod za Statistiku (DZS), Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2012, Zagreb, 2012.
- [7] FNR Guide to biogas. Ed. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e. V. (2012). Dostupno na: http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/g/u/guide_biogas_engl_2012.pdf. Pregled izvršen 15.09.2014
- [8] Paus A., Nuns E.J., Naveau H. Production of methane by anaerobic digestion of domestic refuse. In: EEC Conference on Anaerobic and Carbohydrate Hydrolysis of Waste, Luxembourg, 8–10 May 1984
- [9] Voća N., Krička T., Jurišić V., Pavković B., Dragičević V., Delač B., Šegon V., Maras H., Jardas D., Čotar A., Ribić B. Studija isplativosti korištenja biogenog otpadnog materijala u postrojenju s anaerobnom fermentacijom na otoku Krku. (2012) Ed. Regionalna energetska agencija Sjeverozapadne Hrvatske.

MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE ENERGIJE IZ OTPADA

ENERGY FROM WASTE

Goran Mijić, dipl.ing^{1*}; mr. sc. Dragutin Guzovski²

¹ Zagrebački holding d.o.o. podružnica Čistoća

² Predstojnik Područne službe u Vukovaru HZZO i predavač na Veleučilištu Lavoslav Ružička Vukovar

*e-mail kontakt: goran.mijic@zgh.hr

SAŽETAK

Energija iz otpada može se dobivati bilo za direktno spaljivanje, bilo za proizvodnju bioplina iz biorazgradivog otpada, ili za proizvodnju krutog goriva koji se može koristiti u spalionicama otpada, cementarama i sličnim postrojenjima koji koriste tehnologiju izgaranja. Iskorištavanje energije iz otpada u Europski zemljama traje cca 150 godine. Energetski potencijal otpada nije samo njegova ogrjevna moć (termička obrada) npr. polimeri, nego mogućnost ponovnog korištenje nekih sirovina, iskorištavanje biootpada u proizvodnji bioplina.. Vrlo je bitno da se energetskim iskorištavanjem otpada ne dobiva samo energija, ili da se ponovnim korištenjem sirovina samo ne štedi već i da se rješava problem otpada, što bi trebao biti cilj. Za dobivanje energije iz otpada ovisno o vrsti energenta koji se želi dobiti bitna je struktura otpada.

Ključne riječi: *energija iz otpada, iskorištavanje energije iz otpada*

ABSTRACT

Waste energy can be produced either for direct incineration, either for the production of biogas from organic waste, or for production of solid fuel that can be used in waste incineration plants, cement plants and similar plants which use combustion. Waste energy exploitation lasts about 150 years in European countries. Waste energy potential does not only refer to calorific power (thermal treatment), for example, polymers, but also to the possibility of re-use of some raw materials, utilization of bio waste in biogas production. It is very important that with the energy use of waste we do not only get energy, or with reuse materials energy saving, but we also solve the problem of waste, which should be the goal. For obtaining energy from waste, depending on the type of energy that one wants to get, the structure of waste is essential.

Key words: *waste energy, waste energy exploitation,*

1. UVOD

Gospodarenje komunalnim otpadom u Republici Hrvatskoj ostao je i dalje problem i ulaskom Hrvatske u EU. Velika većina miješanog komunalnog otpada, oko 96,82% (podatak AZO za 2012 godinu), i dalje se odlaže na odlagališta otpada koja nisu adekvatna za prihvata komunalnog otpada. Problem ovakvog načina gospodarenja otpadom je ekološki i ekonomski. Ekonomski – neuređeni deponiji stvaraju mirise, skupljaju se muhe, u mjestima uz more tjeraju turiste, ruše cijene nekretnina.

Ekološki - odlagališta proizvode stakleničke plinove koji u ukupnom stakleničkom plinu koji se proizvede u EU sudjeluju s 4% ili u svjetskim razmjerima 10% emisija metana (CH₄)¹. Također neuređena odlagališta su vodopropusna pa se na taj način omogućuje opasnim tvarima zagađenje podzemnih voda.

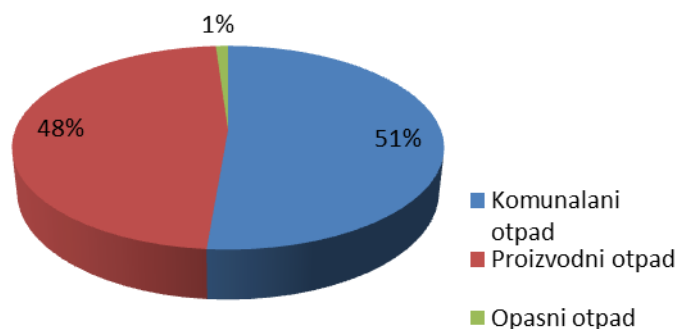
Građani Republike Hrvatske proizvode oko 360 kg otpada godišnje, dok neke zemlje EU proizvode preko 600 kg otpada godišnje. Porastom standarda velika je vjerojatnost da će i u Hrvatskoj doći do povećane proizvodnje komunalnog otpada porastom standarda, a već i danas je vidljivo da je padom BDP-a došlo do pada količina otpada što pokazuje da je otpad vrlo usko povezan sa standardom stanovništva pa na to treba računati u budućim planiranjima gospodarenja otpadom.

2. NASTAJANJE OTPADA I KLASIFIKACIJA OTPADA

Nastajanje otpada i sastav otpada ovise o ekonomskoj situaciji, industrijskoj razvijenosti, kulturi življenja i sl. U gradu Zagrebu je proizvodnja otpada porasla za 40% u odnosu na prije 30 godina. Također zbog različitih ekonomskih situacija proizvodnja otpada u Hrvatskoj varira od grada do grada, tako da neke županije kao npr. Zadarska proizvode 500 kg/stanovnik dok Koprivničko-križevačka županija proizvede oko 186 kg/ stanovnik. Budući je zadarska županija i turistički orijentirana to pokazuje da je kretanje stanovništva vrlo bitan element u nastajanju otpada. Nažalost, u Hrvatskoj većina odlagališta nema mogućnost vaganja otpada pa se ne mogu ni usporediti točne mase otpada kako bi se prema tome i klasificirali gradovi i županije.

U prošlosti otpad se klasificirao na kućni otpad i otpad iz industrije. Izdvajale su se vrijedne sirovine koje su prikupljale specijalizirane tvrtke, odnosno sirovine koje su imale vrijednost na tržištu. Zakonska regulativa o otpadu se naslanjala na Zakon o komunalnom gospodarstvu koji je određivao smjer postupanja s otpadom. Odlagališta otpada su bila određena da budu što dalje od naselja i da nisu na vidljivom mjestu, bila su neuređena te se nije vodila evidencija o količinama otpada.

U pripremnom razdoblju za ulazak u EU Hrvatska je morala i prilagođavati svoje zakonodavstvo u gospodarenju otpadom, a ujedno i uskladiti ciljeve s EU u vezi gospodarenja otpadom. Slijedom toga, izrađen je Katalog otpada gdje su klasificirane sve vrste otpada prema ključnim brojevima. Novim Zakonom o održivom gospodarenju otpadom NN 94/13 date su točne definicije pojedinih izraza kao npr. »komunalni otpad« kojim se definira kao otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede i šumarstva³. Također novim zakonom su određeni smjerovi gospodarenja otpadom koji su usklađeni s EU ciljevima.



Slika. 1 Prikazani su udjeli komunalnoga i proizvodnoga otpada u ukupnome otpadu. Od ukupno prijavljene količine otpada u Katastru otpada 51% činio je komunalni otpad, a 48% proizvodni otpad. U ukupnome proizvodnome otpadu prijavljeno je preko 2% opasnoga proizvodnoga otpad (AZO, 2006)

Jedna od tih obveza opisana je u direktivi o odlagalištima (1999/31/EC)⁴ koja obvezuje da se provede nacionalna strategija za smanjenje biorazgradivog otpada. Direktiva određuje vrijednosti koje država članica mora doseći, a to je da se udio biorazgradivog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagališta mora smanjiti na dio biorazgradivog komunalnog otpada proizvedenog u 1997. godini:

- do 31. prosinca 2013. godine na 75%
- do 31. prosinca 2016. godine na 50%
- do 31. prosinca 2020. godine na 35%

Također EU u direktivi o otpadu iz 2008. godine (2008/98/EC)⁵ nalaže da do 2020. godine udio recikliranog otpada iz domaćinstava (papir, staklo, metal, plastika) mora iznositi minimalno 50%.

Ciljevi i klasifikacije otpada omogućuju da kroz pravilnike o posebnim vrstama otpada što kvalitetnije postupamo s otpadom i da dugoročno planiramo.

3. ENERGETSKA VRIJEDNOST I SASTAV KOMUNALNOG OTPADA

Sastav otpada se kroz zadnjih 200 godina konstantno mijenjao ovisno o navikama ljudi odnosno potrošača, a prema tome se i određivao način gospodarenja otpadom. U prošlosti se počelo razmišljati o smanjenju volumena otpada koji je postao i zdravstvena prijetnja tadašnjim stanovnicima što je i jedan od razloga zašto su u Engleskoj počeli graditi prve spalionice otpada. Problem prvih spalionica bio je vlažan otpad niske ogrjevne moći, te se je stvarao efekt tinjanja otpada i veliko dimljenje. Inženjeri su već tada uvidjeli problem vlažnosti otpada, te se počelo razmišljati o novim tehnologijama. Prva funkcionalna spalionica je izgrađena u Manchesteru u Engleskoj 1876. godine, a ostatak spaljivanja pepeo koristio se u građevinarske svrhe [6].

Tablica 1. Promjene sastava otpada tijekom prošlog stoljeća u Engleskoj⁶, za 2010 godinu prikazan je sastav otpada u gradu prema ispitivanju tvrtke IPZ 2010 godine za grad Zagreb.

Vrsta otpada/ godina	1935. (%)	1963. (%)	1968. (%)	1974. (%)	1975. (%)	1978. (%)	1980. (%)	1982. (%)	1986. (%)	1988. (%)	2010.* (%)
Plastika	-	-	1	2.9	3	5.7	7	8.8	6	7.5	26.4
Papir	14	23	37	26.8	31.1	25.2	29	22.8	33	25	27.2
Ostaci hrane i biootpad	14	14	18	21.3	35.5	28.3	25	23.7	20	22.8	30.6
Metal	4	8	9	8.5	5.3	7.2	8	9.6	8	13.4	1.1
Staklo	3	9	8	9.5	9.3	11.8	10	9.6	9	3.5	3.6
Inertni otpad	57	39	22	19.8	12.3	13.9	14	16.7	10	13.4	-
Tekstil	2	3	2	3.5	1.7	2	3	2.6	4	7.6	3.4
Pelene											5.5
Ostatci	5	4	3	6.9	1.8	5.9	4	6.2	10	5.8	2.2

U tablici 1. vide se promjene u strukturi komunalnog otpada kroz stoljeće. Odmah se može uočiti početak korištenja polimernih materijala u svakodnevnom životu šezdesetih godina prošlog stoljeća. Na početku stoljeća zbog načina grijanja stambenih prostora, grijanje na biomasu ili ugljen, nastajale su velike količine pepela. U današnje vrijeme kada se koristi toplinska energija iz toplana i plin praktički je jedna vrsta otpada nestala iz komunalnog otpada.

Energetski potencijal otpada nije samo njegova ogrjevna moć (termička obrada) npr. polimeri, nego mogućnost ponovnog korištenja nekih sirovina, iskorištavanje biootpada u proizvodnji bioplina. Vrlo je bitno da se energetskim iskorištavanjem otpada ne dobiva samo energija, ili da se ponovnim korištenjem sirovina samo ne štedi već i da se rješava problem otpada, što bi trebao biti cilj. Za dobivanje energije iz otpada ovisno o vrsti energenta koji se želi dobiti bitna je struktura otpada. Za termičku obradu otpada važna je donja ogrjevna moć otpada koja ovisi o strukturi otpada.

Tablica 2 Ogrjevna moć pojedinih komponenti komunalnog otpada.[7]

Komponente	Donja ogrjevna moć komunalnog otpada(MJ/kg)
Miješani papir	15,7
Karton	16,3
Plastificirani papir	17,0
Papir od mlijeka	26,0
Otpadna hrana	4,1
Otpadno meso	17,0
Masti	38,0
Polistiren	38,0
PVC	23,1

Korištenjem aplikacije SWM-GHG Calculator (Cilj aplikacije je izračun emisije stakleničkih plinova u krutom otpadu kalkulator omogućuje i izračun vrijednosti za različite strategije gospodarenja otpadom) [8] nakon uvrštavanja sastava komunalnog otpada i ostalih podataka koje aplikacija traži može se dobiti približna ogrjevna vrijednost komunalnog otpada (konkretno za grad Zagreb prema sastavu otpada iz tablice 1. za 2010. godinu).

Tablica 3. Rezultati dobiveni korištenjem aplikacije SWM-GHG Calculator [8]

Srenja vrijednost		
Podatci su definirani prema sastavu otpada (IPZ ,grad Zagreb 2010) ⁸ i sadržaju vlage		
Rezultat - ogrjevna moć i sadržaj ugljika		
Ogrjevna moć	in MJ/kg	13,6%
Ukupni ugljik	in % wet waste	39,2%
Ugljik - neobnovljivi	in % wet waste	20,4%
Ugljik - obnovljivi	in % wet waste	18,9%

Prema dobivenim podacima o vrstama otpada (IPZ 2010.) [9] za grad Zagreb dobije se ogrjevna moć 13.6 MJ/kg. Prosječna ogrjevna moć komunalnog otpada je od 8 - 10 MJ/kg prema podacima iz spalionica otpada [10], a to ovisi i o sastavu otpada i stupnju reciklaže biootpada i polimernih materijala.

Ovakve analitičke metode omogućuju također da vidimo i potencijal proizvodnje metana iz komunalnog otpada, ovisno na koji način će se taj otpad obrađivati.

Količina proizvedenog metana ovisi o vrsti biootpada kao i njegova ogrjevna moć. Koliko se može proizvesti bioplina s obzirom na supstrat koristi se BMP test (bioplinski potencijal metana) [7].

Tablica 4. Biorazgradljivost i proizvodnja metana pojedinih komponenta iz kućnog otpada.[11]

Komponenta	Biorazgradljivost (%)	Metan mL CO ₂ /g VS (hlapljiva tvar)
Otpadna hrana	68.2	419
Papir	69.6	284.9
Drvo	43.9	213.1
Tekstil	45.1	47.5

Pomoću metode izračunavanja bioplinskog potencijala proizvodnje metana (BMP) može se prikazati anaerobna razgradivost pojedinih supstrata. Koristeći BMP metodu moguće je uz relativno niske troškove, te mogućnost ponavljanja, usporediti anaerobnu razgradivost i potencijal proizvodnje bioplina između različitih supstrata. BMP metoda može biti korištena kako bi se utvrdila količina organskog ugljika u određenom materijalu koji anaerobno može biti pretvoren u metan, a na osnovu čega se lako procjenjuje efikasnost proizvodnje bioplina određenog materijala, koji se koristi kao supstrat.[11]

Energija iz otpada se može dobivati bilo za direktno spaljivanje, bilo za proizvodnju bioplina iz biorazgradivog otpada, ili za proizvodnju krutog goriva koji se može koristiti u spalionicama otpada, cementarama i sličnim postrojenjima koji koriste tehnologiju izgaranja. Ovaj posljednji način iskorištavanja otpada se počeo koristiti 70-tih godina prošlog stoljeća za vrijeme energetske krize pod imenom „ gorivo iz otpada- GIO“ (eng. refuse- derived fuel – RDF). Od 1984. godine izgrađena su 53 postrojenja koja koriste GIO kao gorivo i to najviše u Velikoj Britaniji i Švedskoj. Zbog visoke koncentracije klora i teških metala proizvedeno gorivo iz otpada nije imalo dovoljnu potražnju u energetske sektoru. U Njemačkoj se zbog nemogućnosti da se riješi problem problema zagađivanja do 1997. godine zatvorilo oko 10 postrojenja. Gorivo iz otpada GIO ili RDF je u svakoj državi definiran drugačije. Najčešće se GIO odnosi na odvojenu ogrjevnu frakciju iz komunalnog otpada, otpada iz trgovina i industrije. Iskustvo koje je stečeno u prvom neuspješnom korištenju GIO kao goriva, iskorišteno je da danas GIO odgovara visokim standardima koje zahtjeva energetske sektor.[12]

RDF ili GIO je definiran kao gorivo određene ogrjevne moći koje je nastalo iz komunalnog neopasnog otpada bogato gorivim komponentama iz otpada kao što je plastika, papir i drvo. Proces u kojem nastaje RDF su MBO postrojenja gdje se otpad mehanički selektira te kao takav ide na daljnju obradu. RDF je u Europskim zemljama standardiziran i definiran pravilnicima kao npr. u Italiji [13]. U Italiji je prva definicija RDF-a definirana talijanskim Dekretom „RDF je gorivo iz komunalnog otpada tretirano u cilju eliminiranja opasnih supstrata za spaljivanje koje garantira nisku ogrjevnu moć i koje je u skladu s tehničkim normama za svoje karakteristike“ [14]. Tehničke norme su izdane kroz Dekret koji sadrži 14 tehničkih dokumenata (norme UNI 9903:1-14) koji su zasnovani na karakteristikama, definicijama, metodama uzorkovanja, parametrima i analitičkim metodama za RDF i za RDF visoke kvalitete. [15]

Daljnjom obradom RDF-a dobije SRF se (Solid Recovered Fuels). To je dodatno obrađeno gorivo iz otpada. Proizvodnja SRF iz neopasnog otpada je postala rastućom industrijom u EU. SRF je definiran 2006. godine od strane European Committee for Standardization (CEN) published a set of Technical Specifications (TSs) za proizvodnju i trgovinu SRF-a na EU tržištu.[16]

Tablica 5. Klase SRF-a[16]

Klasifikacijska svojstva	Jedinica	Klase				
		1	2	3	4	5
Donja ogrjevna moć	MJ/kg prosječna	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Klor (CL)	% srednja	≤ 0.2	≤ 0.6	≤ 1.0	≤ 1.5	≤ 3
Živa (Hg)	mg/MJ srednja	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	$\leq 0,08$	$\leq 0,15$	$\leq 0,50$
	mg/MJ 80 %	$\leq 0,04$	$\leq 0,06$	$\leq 0,16$	$\leq 0,30$	$\leq 1,00$

SRF se koristi u različitim industrijama od cementara pa do postrojenja za proizvodnju električne i toplinske energije gdje se SRF koristi za kao pomoćno gorivo. [16] SRF se proizvodi u posebnim postrojenjima s opremljenim laboratorijima koji određuju klasu SRF-a za tržište.

4. Tehnologije za proizvodnju energije iz otpada

Tehnologije za proizvodnju energije iz otpada mogu se podijeliti u nekoliko skupina, a skupine se fokusiraju na termičku obradu (izgaranje, plinifikacija, piroliza, plazma) i biološke procese (anaerobna i aerobna digestija) i to:

- Otpad se odlaže na odlagališta (odlagališni plin se koristi za toplinsku energiju ili kao kogeneracija)
- Otpad se koristi u spalionicama samo za proizvodnju toplinske energije
- Otpad se koristi za kogeneraciju (96% novih spalionica danas je na kogeneraciju, a 4 % za proizvodnju toplinske energije)¹⁷
- Otpad se iskorištava u kogeneracijskim postrojenjima s iskorištavanjem toplinske energije dimnih plinova (povećana učinkovitost)
- Bioplinska kogeneracijska postrojenja
- Bioplinska postrojenja – plin se koristi kao gorivo za transport
- Nove eksperimentalne tehnologije (gorivo iz otpada i sl)

Odabir tehnologije za proizvodnju energije iz otpada u današnje vrijeme temelji se na posebnim zahtjevima u pojedinim projektima. To podrazumijeva uzimanje u obzir nekoliko faktora kao što su: količina otpada, lokacija, cijena izgradnje postrojenja, način financiranja i prihvaćanje cijelog projekta od zajednice. Sva dosadašnja iskustva govore da se uvijek koristi provjerena tehnologija. Može se izgraditi postrojenje koje proizvodi puno energije, ali cijena postrojenja i operativna cijena mogu biti previsoki.

4.1. Termička obrada otpada

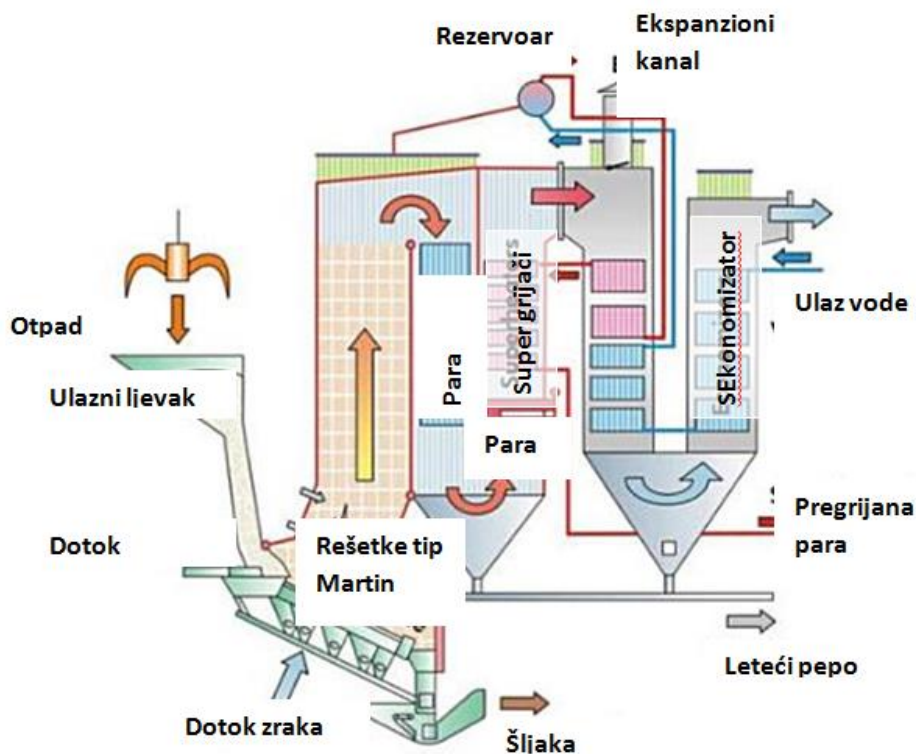
Termička obrada je najrasprostranjeniji način zbrinjavanja otpada nakon odlaganja otpada. Jedan od najprihvaćenijih načina spaljivanja otpada naziva se „masovno spaljivanje“ otpada eng. mass-burning. To je opći naziv za spalionice koje oporabljaju nesortirani otpad te iskorištavaju tako oslobođenu toplinsku energiju. Masovno spaljivanje otpada je u današnje vrijeme najčešće prihvaćen način termičke obrade otpada. Spalionice su u upotrebi dugi niz godina, pa danas postoji oko 500 spalionica diljem USA i Europa. Prvo takvo postrojenje je izgrađeno u Hamburgu u Njemačkoj 1896. godine te je već tada proizvodilo električnu energiju iz otpada.[18]

Otpad koji se koristi za mass burning termičku obradu je miješani komunalni otpad s prosječnom ogrjevnom moći 10.5 MJ/kg, a može se kretati od 8.5 MJ/kg do 15 MJ/kg. Spaljivanje se vrši na pokretnim rešetkama s modernim zračnim hlađenjem [19]. Može se spaljivati do 27.5 tona otpada na sat što je otprilike 220.000 tona otpada godišnje te pretvara 82% otpada u termičku i električnu energiju. Kapacitet takvog kogeneracijskog postrojenja je 50 MW toplinske energije i 17.3 MW električne energije [19]. Primjer takvog postrojenja je u Estoniji u mjestu Iru, investicija u postrojenje je 105 milijuna eura [19].

Prema okvirnoj direktivi za izračun energetske efikasnosti formula R1, postrojenje u Iru ima vrlo visoku iskoristivost i to 1.28 i smatra se kao R1 postrojenje t.j. energetski efikasno postrojenje.

Glave komponente postrojenja su kako slijedi [20]:

- Prostor za prihvata otpada i bunker za skladištenje
- Automatsko dodavanje i miješanje otpada (kran i lijevak)



Slika br 2. Glavne komponente lru mass- burning postrojenja [19]

- Jedinica za izgaranje (tip Martin)
- Vertikalni izmjenjivač topline
- Parna turbina i generator
- Kontrola plinova koji izgaraju

Razvojem tehnologija u gospodarenju otpadom razvili su se i RDF sistemi za termičku oporabu otpada. Kao što je već prije bilo opisano RDF nastaje u MBO postrojenjima te nastali RDF ide na daljnju termičku obradu. RDF postrojenja se dijele na sisteme gdje se termički obrađuje samo RDF i na sisteme gdje se RDF termički obrađuje s ugljenom ili drvenim otpadom i dr. [18] Glavnina RDF postrojenja proizvodi električnu energiju. U prosjeku cijena ulaganja po toni je viša za RDF postrojenja u odnosu na mass- burning i modularna postrojenja. Postrojenja za RDF zauzimaju velike površine cca od 5000 do 6000 m², a postrojenje za termičku obradu RDF-a oko 1000 m², to se odnosi na projekciju za 100 000 tona RDF-a. [21]

Korištenje RDF-a za proizvodnju električne energije nije ekonomski isplativo za razliku od postrojenja koja su namijenjena za proizvodnju električne energije (termo elektrane na ugljen i sl) [20]. RDF postrojenje kao kogeneracijsko postrojenje odnosno korištenje i električne i toplinske energije bi s ekonomskog gledišta biti isplativo. [22]

RDF se može koristiti u cementarama kao dodatak gorivu, ali problem RDF je sadržaj klora koji smanjuje tlačnu čvrstoću betona. Današnjim tehnologijama može se smanjiti utjecaj PVC-a u RDF-u te smanjiti sadržaj klora. Cementna industrija smatra da bi se 40 % toplinske energije moglo dobiti iz RDF-a [23]. Prema informacijama sa web stranica tvrtke Cemex kaže se da se koristi oko 74 % zamjenskog goriva u cementarama Rüdersdorf and Kollenbach [22]. U Njemačkoj blizu Frankfurta gradi se veliko postrojenje za RDF, te će koristiti fluidizirajuću tehnologiju za oporabu otpada. Kapacitet postrojenja je 675 000 t/godišnje i proizvodi će 70 MWel i oko 270 MWtop energije. U Finskoj je primjer korištenja SRF i biomase u

kogeneracijskom postrojenju kapaciteta 75 000 t/a SRF i isto toliko ostatka od biomase. Cijena SRF-a u Finskoj se kretala u zadnje dvije godine od 5-9 eura. Finsko postrojenje proizvede 165 MW električne energije i 340 MW toplinske energije [24].

Tablica 6. Proizvodnja i korištenje SRF-a u EU [26]

Država	Broj postrojenja za SRF	Masa proizvedenog SRF-a (kt/g)	Suspajivanje u cementarama (kt/g)	Suspajivanje u postrojenjima na ugljen (kt/g)	Kogeneracija (kt/g)	MSWI (kt/g)	Izvoz (kt/g)
Austrija	13	680	150		510	20	80-100
Belgija	5	100	100				
Finska	21	500			500		
Njemačka	>35	2400	1500	600	300		500-1000
Italija	49	1000	180	50	40	400	
Nizozemska	8	300-400					300-400

Spaljivanje u fluidiziranom sloju je tehnologija koja se primjenjuje za spaljivanje nisko energetskih goriva kao što su ugljen s visokim udjelom sumpora, gume, otpadna ulja i otpad iz biomase. Tri vrste spalionica su razvijene s fluidiziranim slojem za termičku obradu ugljena: sloj s mjehurićima, dvostrukim i cirkulirajućim slojem. Za termičku obradu otpada se najboljim pokazao cirkulirajući sloj. [26]

Fluidizirajući sloj se sastoji se od jedinstvenih čvrstih čestica (pijesak) koje su u turbulentnom gibanju zahvaljujući zraku koji struji kroz njih [27]. Turbulentna masa od čestica i zraka se ponaša se kao fluid, a ima karakteristike kipuće vode. Agresivno miješanje čestica i plina rezultira jedinstvenom raspodjelom temperature i sastava, čestice u sloju su u optimalnom kontaktu između krutine i kisika pa iz tog razloga daje veliku površinu za prijenos topline [25]. Fluidizirani sloj karakterizira visoka učinkovitost izgaranja [27]. Za spalionice s fluidiziranim slojem koristi se otpad koji ima udio s najviše polimernog otpada, ili RDF ili SRF. Ta tehnologija je raširenija u Japanu nego u Europi, upravo iz razloga što spalionice s fluidiziranim slojem traže posebno pripremljeni otpad određenih dimenzija što je za razliku od Europe u Japanu dobro organizirano [28]. Spalionice za FS proizvode puno otpadnog pepela koji se u zemljama EU smatra opasnim otpadom te kao takav po vrlo visokoj cijeni zbrinjava što utječe na isplativost takvog projekta [28]. Postrojenja s fluidiziranim slojem u odnosu na spalionice s rešetkama i rotirajućim pećima imaju manje dimenzije, daju istu izlaznu termičku energiju, imaju veliki raspon termičkog iskorištenja otpada različite ogrjevne vrijednosti [28].

4.2. Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se kompleksni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija u anaerobnim uvjetima (bez prisustva kisika) t.j. to je tehnološki proces. Miješana bakterijska populacija razgrađuje organske spojeve proizvodeći tako vrlo visoko energetski vrijednu mješavinu plinova (uglavnom CH₄) koje zovemo bioplina. Pomoću enzima koji proizvode različite vrste bakterija organski otpad će proći tri faze (hidroliza, acetogeneza i metanogeneza). [29] Tipične karakteristike metana u njemačkim postrojenjima za anaerobnu digestiju proizvedu 130 do 150 m³ plina po toni, te sadrže 55% CH₄, a donja ogrjevna moć je 19 MJ/kg. [30]

Anaerobna digestija organskog otpada nastalog u kućanstvima, privredi, poljoprivredi, i industriji je vrlo važna metoda oporabe otpada pogotovo jer je to alternativni izvor energije. Potencijal energije iz biootpada je takav da može pokriti 1% svih potreba za energijom u EU. Oporabom biootpada anaerobnom digestijom proizvedeni bioplin je obnovljivi izvor energije. Najveća postrojenja za AD se nalaze u Francuskoj te obrade oko 56.130 tona/god a najmanje u Švedskoj s 10.000 tona godišnje biootpada [24]. U Europi je instalirano oko 244 postrojenja, od toga najviše u Njemačkoj. [31]

Primjer modernog AD postrojenja suhe fermentacije je u Njemačkoj smješten je pored odlagališta otpada Erfurt-Schwerborn kapaciteta 23 500 tona biootpada, snage 660 KW električne i 800 kW toplinske energije, a također proizvodi vrlo kvalitetan kompost s certifikatom. Godišnje se proizvede 3,424,772 kWh električne energije, 4,305,630 kWh toplinske energije, te 1,761,714 Nm³ bioplina. [32]

Bioplin iz AD se može koristiti u kogeneraciji, pročišćeni bioplin u transportu ili spojiti na gradsku mrežu. U Europi se najviše koristi za kogeneraciju, a u nordijskim zemljama se koristi i za pogon vozila javnih poduzeća a to je vrlo zanimljivo s ekološkog stajališta. Za iskorištavanje toplinske energije iz kogeneracije je potrebno imati bliskog potrošača.

4.3. Iskorištavanje odlagališnog bioplina

Anaerobna razgradnja prirodan je proces koji se svakodnevno događa u prirodi npr. u morskom sedimentu, u probavi preživača ili prilikom nastanka treseta [33]. Odlagališni plin je mješavina CH₄ i CO₂ kao posljedica anaerobne razgradnje organskog otpada u odlagalištu. Odlagališni plin može biti vrlo opasan za okoliš jer može doći do eksplozije na odlagalištu. Emisije metana u UK s odlagališta otpada su činile 46% ukupnog metana koji se emitirao u UK [34]. Korištenjem odlagališnog plina smanjujemo metan koji se emitira u okoliš, te također smanjujemo potrebe za fosilnim gorivima.

Današnja odlagališta u zapadnim zemljama imaju tehnologiju hvatanja metana unutar odlagališta te ga na taj način iskorištavaju za proizvodnju električne energije i toplinske energije. Jedna tona otpada koja se nalazi na odlagalištu godinu dana može generirati oko 83 m³ metana. [35] U Danskoj se na 21 odlagalištu otpada proizvede 5800 m³ bioplina na sat što je jednako 27.4 MW električne energije. Najveće bioplinsko postrojenje za odlagališni plin se nalazi u Sjedinjenim Američkim Državama na odlagalištu Puente Hills kod Los Angelesa koje ima instaliranu parnu turbinu snage od 50 MW. [35]

Bioplin nastao u odlagalištu se može koristiti za proizvodnju električne energije, proizvodnju toplinske energije te za transport kao pogonsko gorivo. Najčešće se koriste motori s unutarnjim izgaranjem te turbine. Također može se koristiti za keramičke peći, puhanje stakla, grijanje plastenika, grijanje vode za bazene i sl.

4.4. Iskorištavanje energija iz otpada u Hrvatskoj i mogućnosti

Hrvatska nema izgrađena energetska postrojenja isključivo za termičku obradu otpada, već se radi o postrojenjima gdje se otpad koristi kao zamjensko gorivo t.j. suspaljivanje.. Suspaljivanje otpadnih guma u energetske svrhe obavljaju cementare Holcim Hrvatska d. o. o. , Koromačno te Nexa grupa d.d. Našice, dok se cementara CEMEX Hrvatska d.d. bavi suspaljivanjem otpadnih ulja te otpadnog drveta.

Korištenje energije iz biootpada (bioplin ili odlagališni plin) u Hrvatskoj se trenutno provodi na odlagalištu Prudinec-Jakuševac u Zagrebu gdje se proizvodi 1 MW električne energije, te u Gradecu gdje je Tvrtka Agrogor izgradila kogeneracijsko postrojenje za proizvodnju biooplina iz

organskog otpada snage 1MW koje proizvede 8000 kWh električne i 9000 kWh toplinske energije godišnje.

5. ZAKLJUČAK

Budućnost termičke obrade otpada u Hrvatskoj ovisi o više faktora, a najviše o državnoj strategiji gospodarenja otpadom. Hrvatska se trenutno orijentirala na centre za gospodarenje otpadom kao najbrži način postizanja EU ciljeva. Centri kao takvi bi generirali određene količine RDF-a, a problem je na koji način termički obraditi dobiveni RDF. U Dalmaciji postoji mogućnost iskorištavanja RDF-a u cementarama kao što je to praksa u većini EU zemalja, a pogotovo Njemačkoj. Cementare su rizične iz razloga što uvijek postoji rizik da prestanu raditi radi loše ekonomske situacije, što treba imati na umu pri planiranju MBO postrojenja. Također postoji mogućnost da se RDF obrađuje u regionalnoj energani. Problem kogeneracije u Dalmaciji je nemogućnost iskorištavanja toplinske energije (iskustva Italije). Druge županije imaju mogućnost iskorištavanje RDF u kogeneracijskim postrojenjima za obradu otpadne drvene sječke (primjer Finske) i to u mjestima gdje su izgrađena postrojenja za obradu drveta (Slavonija, Banija i sl.), Tako bi mogli proizvoditi toplinsku i električnu energiju. Vrlo važno je da RDF dobiven iz regionalnih centara bude ujednačen u kvaliteti, jer to će definirati i njegovu tržišnu potražnju, tj. važna je kvaliteta MBO postrojenja.

Grad Zagreb kao najveći generator otpada vjerojatno će se usmjeriti na dva izvora proizvodnje energije iz otpada i to termičku obradu i anaerobnu obradu otpada. Za termičku obradu otpada moguće je primijeniti mass- burning (spaljivanje čitavog otpada cca 120.000 t i mulja) sa kogeneracijskim postrojenjem u kombinaciji s primarnom reciklažom. U slučaju da se grad Zagreb odluči na mass- burning spaljivanje 120.000 t otpada, tada bi morao kroz primarnu reciklažu izdvojiti oko 100.000 tona otpada do 2020. godine iz razloga postizanja ciljeva iz EU direktiva.

Druga mogućnost je izrada MBO postrojenja kapaciteta 1000 t/sat koji bi po slobodnoj procjeni generirao oko 60.000 t RDF-a i 60.000 t biootpada (to je biootpad onečišćen opasnim tvarima iz komunalnog otpada, skraćenica engleski – (CLO-comopost like output) . Izgradnja postrojenja za RDF su se pokazala ekonomski i energetske neučinkovitim u odnosu na mass- burning spalionice, ali korištenjem RDF za suspaljivanje (elektrane na ugljen, biomasa i sl.) taj bi se odnos promijenio. To zahtjeva koordinaciju hrvatskog energetskog sektora (HEP) koji bi u suradnji sa generatorom otpada t.j. gradom Zagrebom izgradio jedno takvo postrojenje u blizini grada Zagreba. Grad Zagreb može postati i regionalni obrađivač RDF-a (Slovenija, Bosna i Srbija) u dogovoru sa okolnim državama (primjer Nordic) [30].

6. LITERATURA:

- [1] S Tuhkanen, R. Pipatti, K.Sipila,.TMakinen,Greenhouse Gas Control Technologies: Proceedings of the 5th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, the effect of new solid waste treatment system on greenhouse gas emission, CSIRO Publishing (April 2001), ISBN-13: 978-0643066724(str .1236)
- [2] Komunlani otpad I odlagališni otpad, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, rujan, 2012,
- [3] Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Zagreb, 18. srpnja 2013.
- [4] Direktiva 1999/31/EZ o odlagalištima otpada
- [5] Direktiva o otpadu Directiva 2008/98/EC

- [6] A.J. Chandler,T.T. Eighmy,O. Hjelmars,D.S. Kosson,S.E. Sawell,J. Vehlows,H.A. van der Sloot,J Municipal Solid Waste Incinerator Residues,. Hartlén,ISBN – 0-444-82563-0, 1997 Esvier science B.V. Netheralnds, str. (3,17)
- [7] Waste Management for the Food Industries, Ioannis S. Arvanitoyannis, Dr, Ph.D., Copyright © 2008 Elsevier Inc. All rights reserved,2008, ISBN: 978-0-12-373654-3, str.
- [8] Sandra SPIES, GTZ, Wolfgang PFAFF-SIMONEIT, KfW Entwicklungsbank, Regine VOGT, IFEU, Jürgen GIEGRICH, SWM GHG Calculator – a Tool for Calculating Greenhouse Gases in Solid Waste Management (SWM), IFEU, Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Postfach 5180, 65762 Eschborn
- [9] Program unaprijeđenja reciklaže u gradu Zagrebu, Elaborat o količini i sastavu komunalnog otpada na području Grada Zagreba u 2010. Godin, IPZ Uniprojekt TERRA d.o.o., 2010 god
- [10] Karagiannidis Avraam, Waste to energy: opportunities and challenges for developing and transition economies, London ; New York : Springer, c2012, ISBN: 9781447123064, 1447123069, 9781447123057 str (98,99)
- [11] E.J. Jeon, S.J. Bae*, D.H. Lee*, D.C. Seo*, S.K.C Hun**, N.H.Lee ans J.Y.Kim Methane generation potential and biodegradability of MSW components, Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 1 - 5 October 2007
- [12] Thomas Christensen, Solid Waste Technology and Management, 2 Volume Set, (Editor), ISBN: 978-1-4051-7517-3, November 2010
- [13] M. Ragazzi & E. C. Rada, RDF/SRF evolution and MSW bio-drying, Waste Management and the Environment VI, Southampton: Witt Press, 2012, p. 199 -208. - ISBN: 9781845646066. Proceedings of: Waste Management 2012, New Forest, 4 - 6 July 2012.
- [14] Talijanski Dekret 22/97 art.6
- [15] Talijasnski Dekret 5/02/1998
- [16] Amaya Arias-Garcia, Solid Recovered Fuel Regional Assessments. Coventry and Derbyshire. Department for Environment, Food and Rural Affairs. Prepared by:, RPS Planning and Development Ltd. Registered in England No. 02947164 Centurion Court, 85 Milton Park, Abingdon, Oxfordshire, OX14 4RY AMember of the RPS Group Plc, January 2009
- [17] Marie Muunste, Henrik Lund, Use of waste for heat, electricity and transport—Challenges when performing energy system analysis, Department of Development and Planning, Aalborg University, Fibigerstraede 13, DK-9220 Aalborg East, Denmark, 2008 Elsevier Ltd. All rights reserve
- [18] Marc J. Rogoff And Francois Screve, Waste-to-Energy (Second Edition) Technologies and Project Implementation Copyright © 2012 Elsevier Inc. All rights reserved , ISBN: 978-1-4377-7871-7
- [19] Karagiannidis Avraam, Waste to energy: opportunities and challenges for developing and transition economies, The case of Iru waste to energy unit in Estoina London ; New York : Springer, c2012, ISBN: 9781447123064, 1447123069, 9781447123057 str (248,249)
- [20] Walter R. Niessen, Combustion And Incineration Processes, ISBN 0-203-90836-8, New York 2002
- [21] Nicholas P. Cheremisinoff, Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies, Ph.D., ISBN: 978-0-7506-7507-9, Copyright © 2003 Elsevier Inc. All rights reserved
- [22] Antonio C. Caputo *, Mario Palumbo, Federica Scacchia, Perspectives of RDF use in decentralized areas:comparing power and co-generation solutions, Faculty of

- Engineering, University of L'Aquila, 67040 Monteluco di Roio (AQ), L'Aquila, Italy, 3 August 2003;
- [23] G. Genon, E. Brizio, Politecnico di Torino, Corso Duca, Perspectives and limits for cement kilns as a destination for, degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy, Waste Management 28 (2008) 2375–2385
- [24] www.cemex.com
- [25] Publication Paper, Anjalankoski Mill Anjalankoski Cogeneration Stora Enso, Finland
- [26] Report on RDF/SRF utilization applications and technical specifications, Reporting Date, 30/06/2011, LIFE+ PROJECT NAME or Acronym, Energy waste.
- [27] Henry S. Kwon, Waste disposal by fluid bed incineration and energy recovery modes, Dorr-O liver Incorporated, Stamford, Connecticut
- [28] Josef Stubenvoll , Siegmund Bhmer, Ilona Szednyj , State of the Art for Waste Incineration Plants, Vienna, November 2002 Published by: Federal Ministry of Agriculture and Forestry, Environment and Water Management, Devision VI/3, Stubenbastei 5, 1010 Wien, ISBN 3-902 338-13-X
- [29] Lastella G.; Testa C.; Cornacchia G.; Notornicola M.; Voltasio F.; Sharma, Anaerobic digestion of semi solid organic waste : biogas production and its purification, Energy Conversion and Management, Volume 43, Number 1, January 2002 , pp. 63-75(13)
- [30] Ciprian Cimpan, Henrik Wenzel, Energy implications of mechanical and mechanical–biological treatment compared to direct waste-to-energy, Institute of Chemical Engineering, Biotechnology and Environmental Technology, University of Southern Denmark, Denmark. cic@kbm.sdu.dk
- [31] Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in Europe Status, Experience and Prospects,
- [32] Dr. Michael Kern, Thomas Raussen, Thomas Graven (Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH [Witzenhausen Institute for Waste, Environment and Energy]) Dr. Claus-Gerhard Bergs (BMU, Division WA II 4), Tim Hermann (UBA, Section III 2.4) Ecologically sustainable recovery of bio-waste, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), Public Relations Division, 11055 Berlin, Germany
- [33] Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen, Bioplin priručnik, , ISBN 978-87-992962-2-4, listopad 2008.
- [34] Aitchison Etsu, Methane generation from UK landfill sites and its use as an energy resource Elisabeth Harwell, Oxen OXI1 0RA, UK
- [35] Nickolas J. Themelis_ , Priscilla A. Ulloa Earth Methane generation in landfills Engineering Center and Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia University, New York, NY 10027, USA

NUMERIČKO MODELIRANJE TRIAKSIJALNOG POKUSA PROVEDENOG NA UZORKU KRUTOG KOMUNALNOG OTPADA

NUMERICAL MODELING OF TRIAXIAL TEST CONDUCTED ON A MUNICIPAL SOLID WASTE SAMPLE

Doc. dr. sc. Igor Petrović*¹

¹ Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, Varaždin

*e-mail kontakt: igor.petrovic@gfv.hr

SAŽETAK

Posljednji sastavni element svakog centra za gospodarenje otpadom jest odlagalište otpada. Da bi odlagalište otpada ispravno funkcioniralo potrebno je prilikom projektiranja odlagališta koristiti se provjerenim znanstvenim metodama. U ovom članku diskutira se o primjenjivosti Duncan-Changovog modela za numeričku simulaciju CU triaksijalnog pokusa provedenog na uzorku krutog komunalnog otpada.

Ključne riječi: *Duncan-Chang model, odlagalište, numerički model, triaksijalni pokus*

ABSTRACT

The last integral element of any waste management center is the waste landfill. For proper functioning of waste landfill it is necessary to use proven scientific methods for designing the landfill. In this article, it is discussed about the applicability of Duncan-Chang model for the numerical simulation of CU triaxial tests conducted on a municipal solid waste sample.

Key words: *Duncan-Chang model, landfill, numerical model, triaxial test*

1. UVOD

Posljednjih godina je interes za mehaničko ponašanje komunalnog otpada, a vezano uz odlaganje krutog otpada, značajno porastao. Mnogi problemi, poput izvedbe brtvenih slojeva, stabilnosti, slijeganja, proizvodnje plina i upravljanja procjednim vodama, uobičajeni su svugdje u svijetu. Buduća istraživanja sve više i više su usmjerena k ostvarenju sve dubljeg znanstvenog razumijevanja mehaničkog ponašanja krutog komunalnog otpada.

Iz mikro-mehaničke perspektive komunalni otpad je u naravi heterogen materijal te se sastoji od bitno različitih organskih i anorganskih komponenti koje značajno variraju po dubini i horizontalnoj rasprostranjenosti, dok mu je stišljivost usporediva s tresetnim tlom. Komunalni otpad može sadržavati i komponente koje doprinose vlaknastoj čvrstoći te se, posljedično, uslijed kompresije ili smicanja ponaša kao anizotropan materijal. Nadalje, pojedine njegove komponente su biorazgradive te u tom procesu stvaraju odlagališni plin koji utječe na njegova hidraulička i mehanička svojstva.

Mnogi istraživači, kao na primjer [3, 4, 9, 10, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23], ispitivali su mehanička svojstva krutog komunalnog otpada. Mehanička svojstva krutog komunalnog otpada

dobivenog iz bioreaktorskih odlagališta istraživali su primjerice [7, 8, 16]. Konstitutivne odnose za otpadni materijal istraživali su primjerice [1, 2, 6, 13].

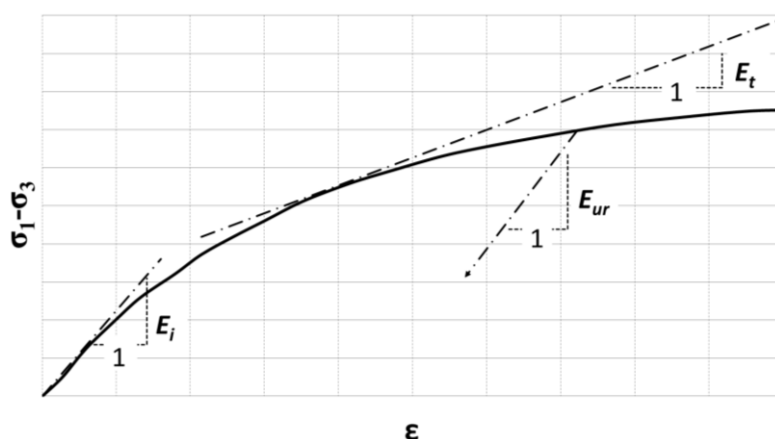
U ovom radu provjerit će se primjenjivost Duncan-Chang-ovog modela za numeričku simulaciju triaksijalnog pokusa provedenog na uzorku krutog komunalnog otpada.

Duncan-Chang model

Duncan-Chang model je nelinearni elastični konstitutivni model koji su razvili [5]. Parametri modela mogu se dobiti iz rezultata troosnog pokusa. Krivulja koja opisuje odnos između napreznja i deformacija je hiperbola (slika 1) koja povezuje devijatorsko napreznje i osnu deformaciju prema izrazu (1):

$$\frac{\varepsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)} = a - b\varepsilon \quad (1)$$

Ovisno o stanju napreznja i tragu deformacije, model sadrži tri modula: početni modul E_i , tangenti modul E_t i modul opterećenje – rasterećenje E_{ur} .



Slika 1. Hiperbolični odnos između napreznja i deformacija prema Duncan-Chang modelu

Početni modul E_i

Kada je materijal u hidrostatskom stanju napreznja tj. kada je $\sigma_1 - \sigma_3 = 0$, krivulja odnosa napreznje – deformacija se modelira koristeći početni, tangenti modul E_i prema Jambuovom izrazu (2) i ovisi o manjem glavnom napreznju σ_3 .

$$E_i = K_L p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (2)$$

gdje je E_i početni tangenti modul, K_L modulski broj opterećenja, p_a atmosferski pritisak, σ_3 manje glavno napreznje i n eksponent kojim se određuje utjecaj bočnog napreznja na početni modul. Pritom su n i K_L konstante koje se dobivaju iz rezultata dreniranih troosnih pokusa u laboratoriju.

Tangentni modul E_t

Tlo će slijediti putanju opterećenja kada je izloženo posmičnom naprezanju većem od onog kojem je bilo ranije izloženo, od točke O do točke A, kao što je prikazano na slici 1. Na toj putanji opterećenja ponašanje tla se modelira tangentnim modulom E_t . Tangentni modul u Duncan Chang modelu definiran je kao funkcija $(\sigma_1 - \sigma_3)$ i bočnog naprezanja σ_3 preko izraza (3):

$$E_t = \left[1 - \frac{R_f (\sigma_1 - \sigma_3) (1 - \sin \varphi)}{2c \cdot \cos \varphi + 2\sigma_3 \sin \varphi} \right]^2 E_i \quad (3)$$

gdje je φ kut unutrašnjeg trenja, c kohezija, R_f omjer asimptotske hiperbole i posmične čvrstoće i kreće se u granicama od 0,75 do 1,00, ali se može odrediti i iz rezultata dreniranog troosnog pokusa, σ_1 veće glavno naprezanje i σ_3 manje glavno naprezanje.

Modul opterećenje - rasterećenje E_{ur}

Kada se tlo rastereti iz stanja najvećih posmičnih naprezanja, od točke B do točke C, kao što je prikazano na slici 1, nelinearni model tla koristi modul opterećenje - rasterećenje E_{ur} . Oblik jednadžbe je sličan kao za početni modul E_i . Moduluski broj opterećenja K_L iz jednadžbe 1 zamijenjen je moduluskim brojem opterećenja-rasterećenja K_{ur} . Tako se modul opterećenja - rasterećenja E_{ur} dobije iz izraza (4):

$$E_{ur} = K_{ur} p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (4)$$

Za razliku od tangentnog modula E_t , modul opterećenja-rasterećenja E_{ur} nije ovisan o stanju posmičnih naprezanja. Ovaj se modul može izračunati izravno iz krivulja rezultata dreniranog troosnog pokusa.

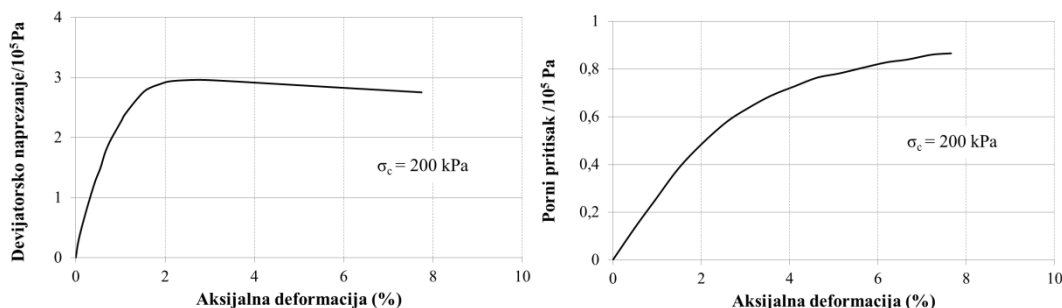
Osim već spomenutog članka samih autora modela [5], za detaljnije objašnjenje Duncan-Chang-ovog modela može se konzultirati još i sljedeća literatura: [11,14]

2. USPOREDBA REZULTATA NUMERIČKE SIMULACIJE S REZULTATIMA TRIAKSIJALNOG POKUSA

Parametre Duncan-Chang modela za neobrađeni komunalni otpad, koji su dobiveni triaksijalnim pokusima objavili su [9]. Za potrebe usporedbe numeričke simulacije s rezultatima triaksijalnog pokusa odabran je uzorak s oznakom 210-1 iz spomenutog članka. Parametri za Duncan-Chang model prikazani su u tablici 1, dok su na slici 2 prikazani rezultati CU pokusa na uzorku otpada s oznakom 210-1 pri čelijskom pritisku od 200 kPa.

Tablica 1. Parametri Duncan-Chang modela za uzorak komunalnog otpada [9]

Oznaka uzorka	Gustoća uzorka	C (kPa)	Φ (°)	K_L (-)	n (-)	R_f (-)
210-1	1,63	16	30,3	350	0,05	0,95



Slika 2. Rezultati CU pokusa na provedenog na uzorku otpada s oznakom 210-1 pri ćeljskom pritisku od 200 kPa [9]

Za potrebe modeliranja promjene pornog tlaka u uzorku tijekom CU pokusa odabrani parametri prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Parametri potrebni za modeliranje promjene pornog tlaka u CU pokusu [9]

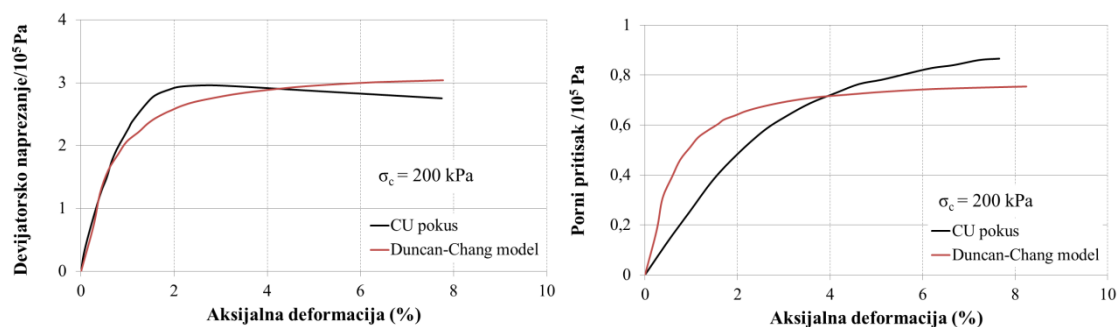
Oznaka uzorka	Gustoća suhog uzorka (g/cm ³)	k (m/s)	m_v (m ² /kN)	n
210-1	1,63	$1,11 \times 10^{-7}$	$6,67 \times 10^{-5}$	0,29

gdje je k koeficijent propusnosti otpada, m_v modul promjene volumena otpada i n je volumetrijski sadržaj vode u uzorku otpada koji je pri punoj zasićenosti uzorka jednak porozitetu uzorka.

Numerička simulacija konsolidiranog nedreniranog pokusa provedena je kombinacijom programa SVFlux i SVSolid. Programski paket SVFlux služi za modeliranje tečenja vode u tlu dok SVSolid služi za analizu naprezanja i deformacija. Oba programa sastavi su dio programskog paketa SVOOffice.

3. ZAKLJUČAK

Rezultati numeričke simulacije prikazani su na slici 3.



Slika 3. Rezultati numeričke simulacije CU pokusa na provedenog na uzorku otpada s oznakom 210-1 i pri ćeljskom pritisku od 200 kPa

Sa slike 3 moguće je uočiti da model vjerno simulira porast devijatorskog naprezanja do iznosa aksijalne deformacije od 1%. Nakon što se premaši aksijalna deformacija od 1 %, modelom predviđena devijatorska naprezanja nešto su manja od stvarnih, a pri aksijalnoj deformaciji većoj od 4 % predviđena devijatorska naprezanja veća su od izmjerenih devijatorskih naprezanja. Sa slike je također vidljivo da je u CU pokusu došlo do blagog deformacijskog oslabljivanja uzorka što Duncan-Chang-ov model ne može simulirati. U odnosu na rezultate CU pokusa i numeričkog modela koji prikazuju promjenu devijatorskih naprezanja s porastom aksijalne deformacije, usporedba porasta pornih pritisaka predviđenih modelom i rezultata stvarnih mjerenja pokazuje nešto veće odstupanje. Dok model predviđa nagli porast pornog pritiska pri malim deformacijama, u CU pokusu zabilježen je nešto blaži porast pornih pritisaka uz veću aksijalnu deformaciju.

Općenito govoreći, Duncan-Changovim modelom moguće je, uz određena odstupanja, približiti se rezultatima triaksijalnog CU pokusa. Za točnije rezultate potrebno je provesti analizu osjetljivosti izlaznih rezultata na ulazne parametre. Za one ulazne parametre modela za koje se ustanovi da najviše utječu na rezultat potrebno je prilikom kalibracije modela posvetiti najviše pažnje. Također treba uzeti u obzir da ovim modelom nije moguće uzeti u obzir promjene tijekom vremena uslijed razgradnje otpada.

4. REFERENCE

- [1] Babu, S.G.L., Reddy K.R., Chouksey, S.K. (2010), "Constitutive model for municipal Solid waste incorporating mechanical creep and biodegradation-induced compression", Waste Management, 30 (2010), 11-22.
- [2] Bente, S., Kowalski, U., Dinkler, D., Krase, V. (2009), "Modelling long term settlement of MSW landfills", Proceedings Sardinia 2009, Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy
- [3] Bray, D.J., Zekkos, D., Kavazanjian Jr., E., Athanasopoulos, G. A., Reimer, M.F. (2009), "Shear Strength of Muncipal Solid Waste", Jorunal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 709-722.
- [4] Cho, Y.M., Ko, J.H., Chi, L., Townsend, T.G. (2011), "Food waste impact on municipal solid waste angle of internal friction", Waste Management, 31 (11), 26-32.
- [5] Duncan, J.M., Chang, C.Y. (1970), „Nonlinear analysis of stress and strain in soils“, Journal of Solis Mech. And Fuond. Engineering, ASCE, vol. 96, NoSM5, 1629-1653.
- [6] Gourc, J.-P., Staub, M.J., Conte, M. (2010), "Decoupling MSW settlement into mechanical and biochemical precesses – Modelling and validation on large-scale setups“, Waste Management 30 (2010) 1556-1568.
- [7] Hossain, M.S., Haque, M.A. (2009), "The effects of daily cover soils on shear strength of municipal solid waste in bioreactor landfills", Waste Management, 29 (2009) 1568-1579.
- [8] Hossain, M.S., Gabr, M.A, Asce, F. (2009), "The effect of shredding and test apparatus size on compressibility and strength parameters of degraded municipal solid waste", WasteManagement, 29 (2009) 2417-2424.
- [9] Jie, Y.-X., Xu, W.-J., Dunzhu, D., Peng, T., Zhou, Z.-Y. (2013), „Laboratory testing of a densified municipal solid waste in Beijing“, Journal of Central South University, 20(7), 1953–1963, DOI: 10.1007/s11771-013-1695-4
- [10] Karimpour-Fard, M. and Machado, S. L. (2011), "Deformation Characteristics of MSW Materials," EJGE, Vol. 16, Bundle U

- [11] [11] Krahn J., (2004), Stress and Deformation Modeling with SIGMA/W, GEO-SLOPE/W International Ltd., Calgary, Canada
- [12] Machado, S. L., Karimpur-Fard, M., Shariatmadari, N., Carvalho, M.F., Nascimento, J.C.F. (2010), "Evaluation of the geotechnical properties of MSW in two Brazilian landfills", Waste Management 30 (2010) 2579-2591.
- [13] Needham, A.D., Jones, D.R.V., McDougall, J., Dixon, N., Braithwaite, P., Rosevear, A. (2007), "Assessment of landfill settlement data for evaluation of a hydro-bio-mechanical settlement model", Proceedings Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy
- [14] Nordal, S., (2008), „Soil Modeling“, Norwegian University of Science and Technology, Geotechnical Division, Trondheim
- [15] Reddy, K.R., Hettiarachchi, H., Parakalla, N.S., Gangathulasi, J., Bogner, J.E., (2009), „Geotechnical properties of fresh municipal solid waste at Orchard Hills Landfill, USA“, Waste Management, 29 (2009), 952-959.
- [16] Reddy, K.R., Hettiarachchi, H., Gangathulasi, J., Bogner, J.E. (2011), „Geotechnical properties of municipal solid waste at different phases of biodegradation“, Waste Management, 31 (2011), 2275-2286.
- [17] Shariatmadari, N., Machado, S.L., Noorzad, A., Karimpour-Fard, M. (2009), "Municipal solid waste effective stress analysis", Waste Management, 29 (2009) 2918-2930.
- [18] Singh, M.K., Sharma, J.S., Fleming, I.R. (2009), "Shear strength testing of intact and recompacted samples of municipal solid waste", Can. Geotech. J. 46: 1133-1145.
- [19] Stark, T.D., Huvaj-Sarihan, N., Li, G. (2009), "Shear strength of municipal solid waste for stability analysis", Environ Geol (2009) 57:1911-1923, DOI 10.1007/s00254-008-1480-0
- [20] Zekkos, D., Athanasopoulos, G.A., Bray, J.D., Grizi, A., Theodoratos, A. (2010), "Large scale direct shear testing of municipal solid waste", Waste Management, 30 (2010) 1544-1555.
- [21] Zekkos, D., Bray, J.D., Riemer, M.F. (2012), "Drained response of municipal solid waste in large-scale triaxial shear testing", Waste Management 32 (2012) 1873-1885.
- [22] Zhan, T.L.T., Chen, Y.M., Ling, W.A. (2008), „Shear strength characterization of municipal solid waste at the Suzhou landfill“, China, Engineering Geology 97 (2008) 97 111.
- [23] Zhu, X., Jin, J., Fang, P. (2003), „Geotechnical behavior of the MSW in Tianziling landfill“, Journal of Zhejiang University, Vol.4, No.3, May-June, 324-330.

**OBRADA PROCJEDNIH VODA BILJNIM UREĐAJEM U
LABORATORIJSKOM MJERILU**

TREATMENT OF LEACHATE WATER BY THE PILOT-SCALE
CONSTRUCTED WETLAND

**doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić.¹; doc. dr. sc. Dinko Vujević*¹;
mr. sc. Vitomir Premur*¹; Ivana Melnjak, mag. ing. geoling.¹**

¹ Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, Varaždin

*e-mail kontakt: dvujevic@gfv.hr

SAŽETAK

S obzirom na sadržaj velikih količina organskih hranjivih tvari, patogenih mikroorganizama i teških metala, procjedne vode predstavljaju vrlo ozbiljnu prijetnju za okoliš, ukoliko se prethodno ne obrade. Općenito, za obradu procjednih voda na raspolaganju su fizikalne, kemijske i biološke metode obrade. Biljni uređaji, kao biloška metoda obrade, nude se kao prikladna tehnika obrade procjednih voda, s obzirom da podrazumijevaju simulaciju prirodnih uvjeta uz pomoć različitih fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa. U ovom je radu studirana mogućnost obrade procjedne vode s odlagališta Jakuševac/Prudinec uz pomoć laboratorijskog podpovršinskog biljnog uređaja. Učinkovitost rada biljnog uređaja procijenjena je na temelju stupnja uklonjenog željeza, kroma, fosfata, ukupnog organskog ugljika, kemijske potrošnje kisika i obojenja. U svrhu povećanja učinkovitosti, procjedna voda je recirkulirana unutar biljnog uređaja. Dobiveni rezultati pokazuju povećanje učinkovitosti uklanjanja željeza i sadržaja ukupnog organskog ugljika, dok istovremeno recirkulacija nije imala nikakav značajniji utjecaj na stupanj uklanjanja kroma. S druge strane, primijećeno je smanjenje vrijednosti kemijske potrošnje kisika i stupnja obojenja u prvih 10 dana recirkulacije dok se koncentracija fosfata povećala.

Ključne riječi: procjedne vode, biljni uređaji, laboratorijsko mjerilo, obrada otpadnih voda

ABSTRACT

Leachate water contains large concentrations of organic nutrients, pathogens and heavy metals, so it can pose a significant threat to the environment if remain untreated. In general, leachate water can be treated by physical, chemical and biological methods. Constructed wetland system, a biological technique, seems to be convenient for treatment of leachate water since it considers the simulation of a natural regime which is able to treat wastewater by using the support of different physical, chemical and biological processes. In this study, a pilot-scale subsurface constructed wetland was used for the treatment of leachate water from the Jakuševac/Prudinec landfill. The efficiency of a constructed wetland used has been assessed on the basis of iron, chromium, phosphates, total organic carbon (TOC), chemical oxygen demand (COD) and colour removal extents. In order to increase the efficiency, the leachate water has been recirculated in the constructed wetland system. The results obtained has shown the increase of the efficiency for the

removal extents of iron and TOC content, while at the same time, recirculation did not show any significant impact on the chromium removal extent. On the other hand, decrease of COD value and colour removal extent was observed in the first 10 days of recirculation, while phosphate concentration increased.

Key words: *Leachate water, Constructed wetland, Pilot-scale, Wastewater treatment*

1. UVOD

Koliko god da se propagiraju i zagovaraju moderniji, ekološki prihvatljiviji i ekonomičniji načini gospodarenja komunalnim otpadom, odlaganje takvog otpada na gradskim odlagalištima je još uvijek najrašireniji način gospodarenja otpadom u većini hrvatskih gradova i naselja [1]. Mnoga od tih odlagališta nisu opremljena odgovarajućim sustavom za sprječavanje opasnih emisija u okoliš tj. obradu procjednih voda i plinova koji nastaju u velikim količinama, osobito u ranoj fazi stabilizacije otpada pa je i povećan rizik od negativnog utjecaja po okoliš i ljudsko zdravlje. Naime, odlagališta otpada djeluju kao veliki biološki i kemijski reaktori te je za postizanje potpune stabilizacije odloženog otpada potrebno dugo vremensko razdoblje. Za pojedine vrste otpada vrijeme stabilizacije može iznositi i nekoliko desetljeća [2]. Za procjenu mogućih dugoročnih utjecaja na okoliš, vrlo je važno konstantno praćenje svih pokazatelja kakvoće okolnog tla i zraka a posebno nastale procjedne vode. Prema trenutno važećem hrvatskom zakonodavstvu, procjedne vode treba sakupljati i obrađivati na odgovarajući način. Sustav biljnih uređaja predstavlja jedno od mogućih rješenja za obradu takve vode. Biljni uređaji su konstruirani na način da iskorištavaju prednosti mnogih procesa koji se odvijaju u prirodnim sustavima (močvare) ali u uvjetima kontroliranih procesnih parametara [3]. Niski energetske zahtjevi, mogućnost variranja protoka, mogućnost konstrukcije na mjestima nastanka onečišćenja kao i jednostavna izvedba i niski troškovi, predstavljaju najznačajnije prednosti koje idu u prilog upotrebi biljnih uređaja. S druge strane, jedan od nedostataka takvih sustava je relativno velika površina koja je potrebna za obradu procjedne vode, bez obzira na stupanj njene onečišćenosti.

Procjedna voda je otpadna voda koja nastaje procjeđivanjem oborinskih voda kroz sloj otpada odloženog na odlagalištu a izloženog atmosferskim uvjetima. Karakteristike procjedne vode ovise o vrsti otpada iz kojeg su nastale i debljini sloja otpada kroz koji su se procijedile. Zbog anaerobnih uvjeta i dugog vremena zadržavanja koje je karakteristično za odlagališta, procjedne vode sadrže visoke koncentracije organske tvari i nutrijenata, patogena i teških metala koji mogu uzrokovati onečišćenje neposrednog okoliša i podzemnih voda, ako se ne obrade na odgovarajući način. Tehnologije pročišćavanja otpadnih voda koje se temelje na sustavu biljnih uređaja poznate su oko 40 godina s tim da su se našle u fokusu interesa u posljednjih 10 godina. Trenutno je u svijetu instalirano nekoliko tisuća takvih sustava. Mogućnost primjene biljnih uređaja u Hrvatskoj, istraživana je na razini pilot-uređaja instaliranog od strane Hrvatskih voda na području rijeke Save [4]. Primjenom ovakvog sustava moguće je pojedina onečišćivala iz otpadne vode pretvoriti u bezopasne produkte ili hranjive tvari koje mogu za svoj rast i razvoj koristiti mikroorganizmi prisutni u sustavu [5]. Općenito, sustav biljnog uređaja sastoji se od vodenog medija, supstrata i biljaka koji svi zajedno imaju ulogu obrade onečišćenja iz točkastog ili difuznog izvora. U takvom jednom sustavu se voda obrađuje kombinacijom fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa. Proces uključuje taloženje i filtraciju suspendiranih tvari, asimilaciju hranjivih tvari u biljkama i kemijske reakcije [6].

U okviru ovog rada je u laboratorijskom mjerilu, u razdoblju od tri tjedna, ispitivana učinkovitost sustava biljnog uređaja za obradu procjednih voda s odlagališta Prudinec/Jakuševac s ciljem utvrđivanja utjecaja recirkulacije na djelotvornost takvog sustava za obradu procjednih voda.

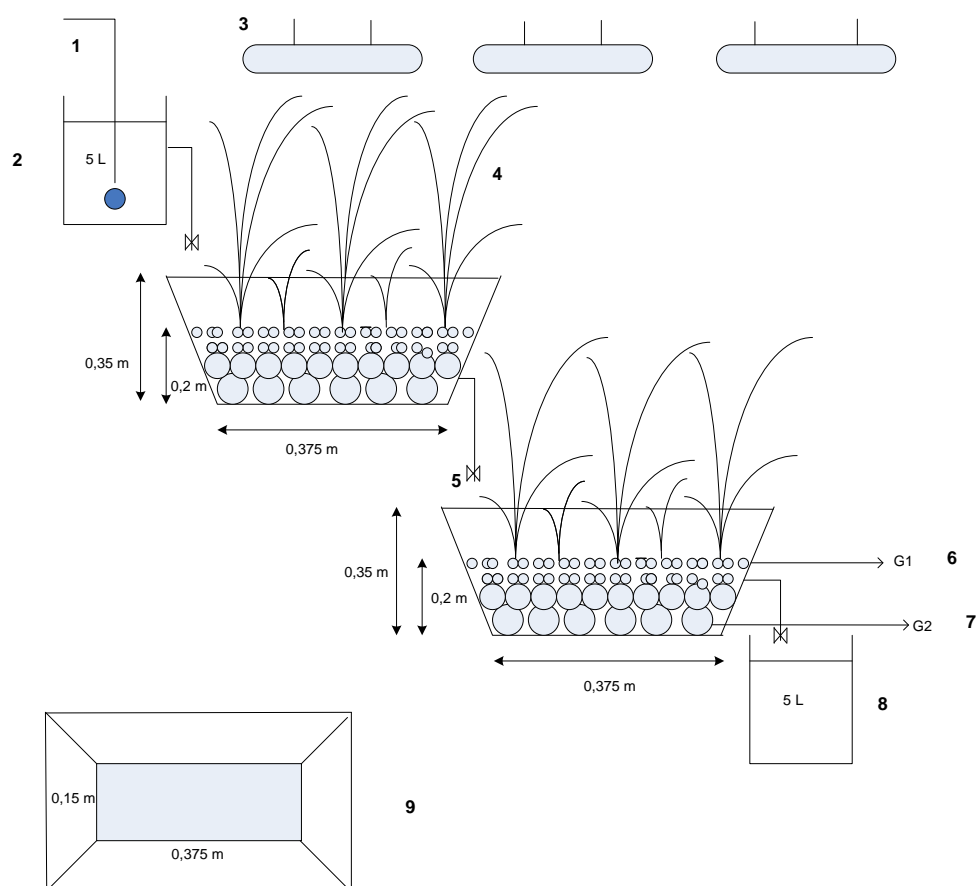
2. EKSPERIMENTALNI DIO

Mogućnosti pročišćavanja procjedne vode istraživane su u kontroliranim laboratorijskim uvjetima u konstruiranom biljnom uređaju s podpovršinskim protokom. Konstruirani sustav sastojao se od 5 litarskog spremnika za procjednu vodu, dva spojena linearna bazena, prihvatnog spremnika od 5 litara i tri fluorescentne lampe (Slika 1).

Širina, duljina i visina spremnika iznosile su 0,15 m; 0,375 m i 0,35 m s visinom ispuna od 0,2 m. Svaki bazen bio je ispunjen sa supstratom veličine 4 – 32 mm i poroznosti $\varepsilon = 0,35$ te zasađen biljkama – trskom (*Phragmites australis*), 4 – 6 biljaka po bazenu. Bazeni su bili spojeni gumenom cijevi opremljenim ventilom za regulaciju protoka procjedne vode. Gumena cijev bila je spojena sa spremnikom iz kojeg se obrađena voda prebacivala u prihvatni spremnik. Protok vode bio je potpomognut i gravitacijom. Recirkulacija je osigurana ručno a aeracija pomoću pumpice. Lampe kao izvor svjetlosti za pospješivanje rasta biljaka bile su u funkciji po 10 sati dnevno za vrijeme razdoblja od tri tjedna.

Biljni uređaj bio je izveden kao pravokutna površina do omjera 1 : 10, gdje površina biljnog uređaja (A_u) predstavlja umnožak dužine i širine prema izrazu 1:

$$A_u = L \times H \quad (1)$$



Slika 1. Shematski prikaz biljnog uređaja (1 - pumpica za aeraciju, 2 - rezervoar, 3 - fluorescentne lampe, 4 - trska, 5 – gumene cijevi s ventilima za podešavanje protoka, 6 – supstrat granulacije 4-8 mm, 7 – supstrat granulacije 16-32 mm, 8 – prihvatni spremnik, 9 – tlocrt bazena)

$A_u = 0,056 \text{ m}^2$. Podpovršinski biljni uređaj, korišten u ovom radu, sadržavao je supstrat čija je poroznost iznosila $\varepsilon = 0,35 - 0,45$. Uzimajući u obzir ovu vrijednost, realni volumen vode (V_R) je izračunat pomoću izraza 2:

$$V_R = \varepsilon \times A_u \times h \quad (2)$$

te iznosi $V_R = 0,0039 \text{ m}^3$. Međutim, realni volumen (V_R) duplo je manji od ove dobivene vrijednosti, budući da pilot biljni uređaj nije bio napunjen do vrha, već samo do polovice. Zato realni volumen u ovom slučaju iznosi $V_R = 0,00195 \text{ m}^3$.

Nominalno vrijeme zadržavanja (NVZ) volumena vode u uređaju izračunato je temeljem zadanih parametara pomoću izraza 3 i 4:

$$NVZ = \frac{-\ln \frac{c_0}{c_i}}{-k_v} \quad (3)$$

$$k_{v(T)} = k_v \times \Theta^{(T-20)} \quad (4)$$

gdje je:

$k_{v(T)}$ – volumetrijska brzina konstante na T °C [d⁻¹]

$k_{v(20)}$ – volumetrijska brzina konstante na 20 °C [d⁻¹]

T – temperatura [°C]

Θ – temperaturni faktor -1,1 [-]

Radna temperatura u laboratoriju iznosila je 20 °C pa je volumetrijska konstanta brzine reakcije iznosila $k_v = 0,54 \text{ (d}^{-1}\text{)}$ [5].

$$NVZ = \frac{-2,31 \log 0,43}{0,54 \text{ d}^{-1}}$$

$$NVZ = 1,56 \text{ d}$$

Iz nominalnog vremena zadržavanja i realnog volumena dobiven je protok pomoću izraza 5:

$$Q = \frac{V_R}{NVZ} \quad (5)$$

$$Q = \frac{0,00195 \text{ m}^3}{1,56 \text{ d}}$$

$$Q = 0,00125 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$$

Budući da se radi o relativno malom protoku bilo je potrebno svaki dan regulirati ventile te usklađivati protoke na ulazu u prvi i drugi bazen.

Tri tjedna prije punjenja konstruiranog biljnog uređaja procjednom vodom, zasađene su biljke te su im dodana hranjiva kako bi se pospješio njihov rast. Protok otpadne vode podešen je na $0,00125 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$. Zbog tako niske vrijednosti protoka i malog promjera gumene cijevi, protok je variran od $0,0002 - 0,0014 \text{ m}^3 \text{ dan}^{-1}$. Nakon 10 dana, uvedena je recirkulacija kako bi se postigla što bolja učinkovitost. Proces obrade procjedne vode podijeljen je na tri faze. Prva faza trajala je tri dana. U tom razdoblju je u biljni uređaj uvedena procjedna voda. Prethodno je uređaj bio ispunjen vodovodnom vodom. U drugoj fazi, koja je trajala deset dana, cijeli sustav

biljnog uređaja sadržavao je procjednu vodu te je započela njena obrada. Treća faza obuhvaćala je recirkulaciju.

Procjedna voda koja je pročišćavana u biljnom uređaju, potejčala je sa zagrebačkog odlagališta otpada Prudinec/Jakuševac. Originalni uzorak razrijeđen je s vodovodnom vodom u omjeru 1 : 1. Analizirani su sljedeći pokazatelji kakvoće procjedne vode: koncentracija željeza, kroma, fosfata, sadržaj ukupnog organskog ugljika, kao i kemijska potrošnja kisika te stupanj obojenja. Vrijednosti početnih pokazatelja prikazani su u Tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti početnih pokazatelja

Pokazatelj	Početna vrijednost
Željezo (mg dm^{-3})	2,42
Krom (mg dm^{-3})	1,16
Fosfati (mg dm^{-3})	2,71
Ukupni organski ugljik (mg dm^{-3})	223
Kemijska potrošnja kisika (mg dm^{-3})	437
Zamućenje (NTU)	808
pH	8,53

2.1. Određivanje željeza i kroma

Određivanje koncentracije željeza i kroma u uzorcima procjedne vode provedeno je pomoću molekulske apsorpcijske spektroskopije u ultraljubičastom (UV) i vidljivom (VIS) dijelu spektra. Određivanje željeza temelji se na reakcijama nastanka kompleksnih spojeva metalnih iona ili anorganskog ili organskog liganda ili pak na apsorpciji elektromagnetskog zračenja samog iona (aniona). Željezo u obliku trovalentnog iona reagira u kloridno kiselom mediju s tiocijanatom te stvara kompleksni crveno obojeni $[\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$ ion koji ima maksimum apsorpcije na $\lambda_{\text{max}} = 480 \text{ nm}$. Određivanje kroma temelji se na reakciji Cr^{6+} s difenilkarbazidom u kiselom mediju, pri čemu nastaje intenzivno obojen kompleks s maksimumom apsorpcije pri $\lambda_{\text{max}} = 545 \text{ nm}$. Mjerenja apsorpcije su provedena na spektrofotometru MA 9535 – SPEKOL 210, Iskra, Kranj.

2.2. Određivanje sadržaja ukupnog organskog ugljika (TOC)

Sadržaj ukupnog organskog ugljika (TOC) određen je pomoću Shimadzu TOC - V_{WS} Total Organic Carbon Analyzer-a.

2.3. Određivanje obojenja, kemijske potrošnje kisika (KPK) i fosfata

Obojenje, KPK i fosfati određeni su pomoću spektrofotometra HACH DR/2500. U svrhu određivanja stupnja obojenja, uzorak je profiltriran a apsorpcija je izmjerena u rasponu valnih duljina od $\lambda = 455 - 465 \text{ nm}$. Vrijednosti KPK određene su prema metodi broj 8000 iz HACH-ovog kataloga pri valnoj duljini od $\lambda = 620 \text{ nm}$. Koncentracije fosfata određene su pomoću metode broj 8048 iz HACH-ovog kataloga. Nakon razrjeđenja uzorka u omjeru 1 : 10, filtriranja i dodatka potrebnih reagensa, izmjerena je koncentracija fosfata na spektrofotometru pri valnoj duljini od $\lambda = 420 \text{ nm}$.

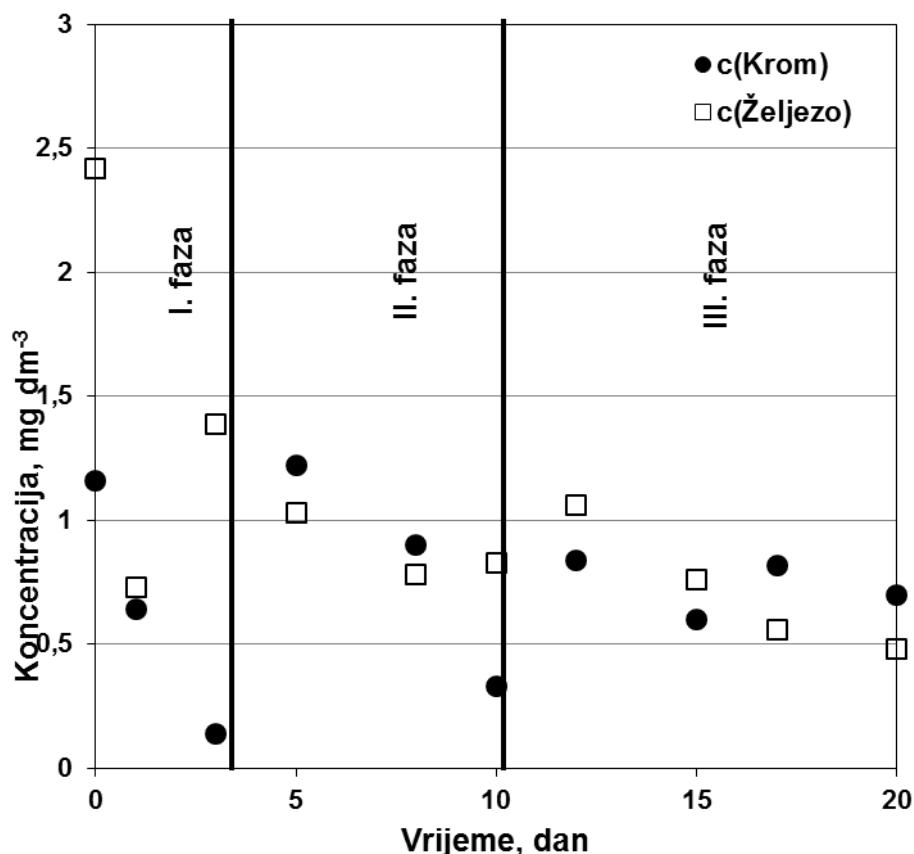
2.4. Određivanje koncentracije kisika i pH sustava

Koncentracija kisika i pH sustava određeni su pomoću oksimetra WTW Oxi-330 i pH metra WTW pH-330.

3. REZULTATI I RASPRAVA

3.1. Učinkovitost uklanjanja željeza i kroma

Rezultati učinkovitosti uklanjanja željeza i kroma iz procjedne vode pomoću konstruiranog biljnog uređaja, prikazani su slikom 2.



Slika 2. Profil koncentracija željeza i kroma u ovisnosti o vremenu

Vidljivo je da u prvoj fazi obrade koja je trajala tri dana, koncentracija željeza i kroma varira. Ova varijacija koncentracije može se obrazložiti različitom raspodjelom ovih metala unutar konstruiranog biljnog uređaja. Naime, u tom je razdoblju procjedna voda započela svoj protok kroz biljni uređaj. Treba imati na umu da je prije početka pokusa, uređaj bio napunjen vodovodnom vodom pa se dobiveni rezultati ne mogu uzeti kao relevantni. U početku druge faze koja je trajala sedam dana, konstruirani sustav biljnog uređaja se adaptirao na procjednu vodu te je stupanj uklonjenog željeza i kroma postao značajniji. Treća faza je uključivala recirkulaciju procjedne vode u sustavu. Recirkulacija je poduzeta u svrhu povećanja učinkovitosti uklanjanja kroma. Koncentracija željeza smanjila se od početne 2,420 mg dm⁻³ pa sve do 0,483 mg dm⁻³, nakon 20 dana u podzemnom biljnom uređaju. Na slici 2. je također vidljivo smanjenje koncentracije kroma od početne 1,160 mg dm⁻³ na 0,6 mg dm⁻³ u trećoj fazi. Relativno mala učinkovitost uklanjanja kroma u usporedbi s uklanjanjem željeza može ukazati na to da recirkulacija ima manji utjecaj na stupanj uklonjenog kroma.

Na temelju podataka objavljenih u literaturi [7], može se pretpostaviti da je glavni mehanizam uklanjanja željeza oksidacija željeza i stvaranje željezovog hidroksida. Nadalje, prethodno objavljene studije [8], pokazuju da je aktivnost mikroorganizama u zoni korijenja značajniji mehanizam pri nižim koncentracijama željeza. Mikroorganizmi koriste trovalentno željezo kao krajnji akceptor elektrona, pri čemu ono prelazi u dvovalentno željezo.

U površinskim vodama je krom uglavnom prisutan kao trovalentan i šesterovalentan. Ovaj šesterovalentni oblik je najtoksičniji oblik kroma i uglavnom potječe iz industrijskih otpadnih voda. Nestabilan je pri atmosferskim uvjetima te se transformira u manje toksičan trovalentni oblik. Trovalentni kromov hidroksid je relativno netopiv u vodi i njegov nastanak uglavnom smanjuje dostupnost kroma mikroorganizmima. Osjetljivost na određene koncentracije kroma varira kod mikroorganizama, čak i onih koji su vrlo srodni. Redukcija teških metala pomoću biljaka je vrlo učinkovit način detoksifikacije. Redukcija Cr(VI) u Cr(III) javlja se u zoni korijenja. Nekoliko studija je pokazalo da biljke imaju sposobnost redukcije kroma i njegove akumulacije u lišću ili korijenju [9-12].

Utjecaj nazivnog vremena zadržavanja (NZV) na koncentraciju kroma i željeza predstavljen je Tablicom 3. Iz tablice je vidljivo da se povećanjem nazivnog vremena zadržavanja, koncentracija željeza i kroma u konstruiranom biljnom uređaju smanjuje. Smanjenjem nominalnog vremena zadržavanja povećava se protok, a povećanjem protoka smanjuje se sposobnost biljaka i mikroorganizama da obrade procjednu vodu koja prolazi kroz sustav.

Tablica 3. Ovisnost koncentracije željeza i kroma i nazivnog vremena zadržavanja

Dan	$\gamma(\text{Cr})$, mg dm ⁻³	$\gamma(\text{Fe})$, mg dm ⁻³	NZV, dan
0	1,16	2,42	0
1	0,64	0,73	1
3	0,14	1,39	3
5	1,22	1,03	3
8	0,90	0,78	6
10	0,33	0,83	3
12	0,84	1,06	3
15	0,60	0,76	6
17	0,82	0,56	6
20	0,70	0,48	0

Također je iz Tablice 3. jasno vidljivo da se u drugoj fazi, povećavanjem nominalnog vremena zadržavanja za šest dana, znatno smanjuje koncentracija željeza ali i kroma.

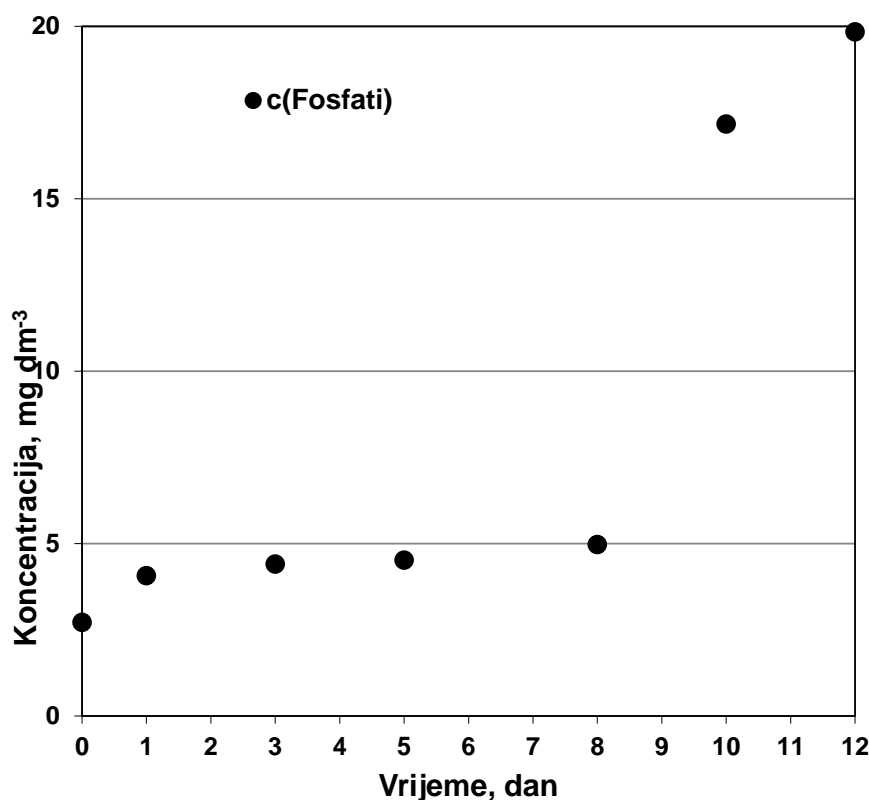
3.2. Učinkovitost uklanjanja fosfata

Rezultati uklanjanja fosfata iz procjedne vode u konstruiranom podpovršinskom biljnom uređaju prikazani su Slikom 3. Na slici je vidljivo da se koncentracija fosfata od početne, koja je iznosila 2,71 mg dm⁻³, nakon 12 dana obrade u biljnom uređaju, povećala do 19,84 mg dm⁻³. Neučinkovito uklanjanje fosfata pomoću biljnog uređaja može se objasniti njihovim otpuštanjem iz sedimenta u vodu pod određenim uvjetima [13]. Naime, fosfati se primarno uklanjaju ionskom izmjenom s molekulama vode ili hidroksidnim ionima na površini željeza ili aluminijevog

hidroksida. Supstrat koji se koristi u podpovršinskom biljnom uređaju, obično ne sadrži dovoljnu količinu željeza, aluminija ili kalcija što čini uklanjanje fosfata neučinkovitim općenito [14].

3.3. Učinkovitost uklanjanja TOC-a i KPK

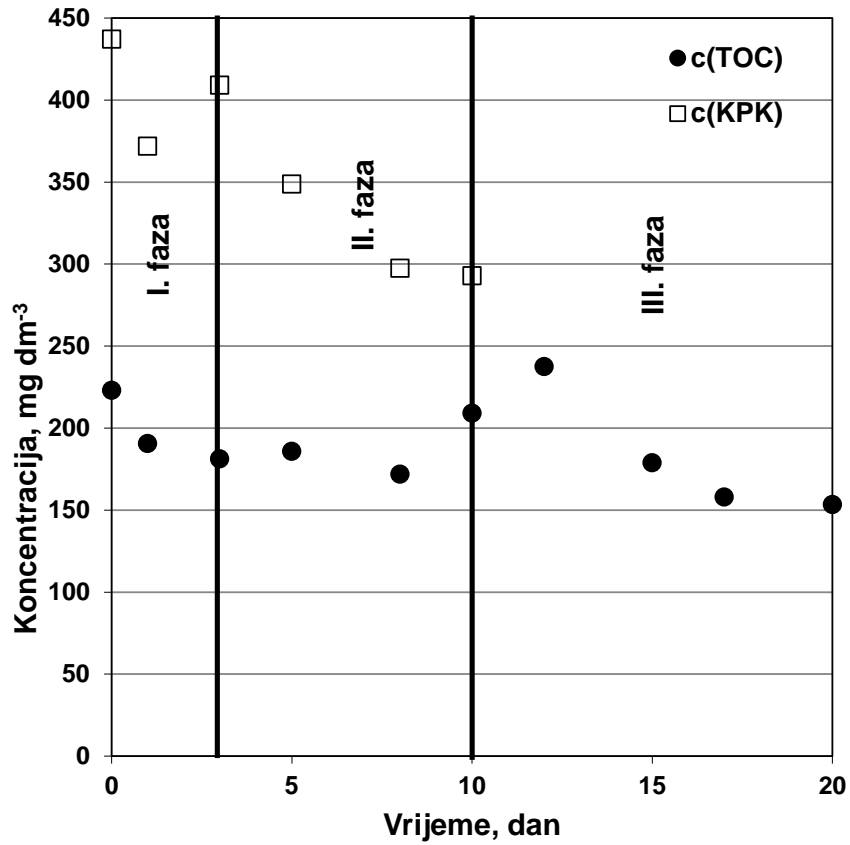
Rezultati uklanjanja TOC-a i KPK iz procjedne vode u studiranom podpovršinskom uređaju prikazani su na Slici 4. S obzirom na ukupni sadržaj organskog ugljika, vidljivo je konstantno opadanje TOC vrijednosti, osim u trećoj fazi obrade koju karakteriziraju manje oscilacije TOC vrijednosti. Maksimalno izmjerena vrijednost u toj fazi iznosi $237,4 \text{ mg dm}^{-3}$. U drugoj fazi obrade su se mikroorganizmi prilagodili biljnom uređaju što je rezultiralo porastom biomase. Moguće je pretpostaviti da je do povećanja TOC vrijednosti od početnih 223 mg dm^{-3} do $237,4 \text{ mg dm}^{-3}$ došlo zbog nastanka metaboličkih produkata mikroorganizama. Zbog tehničkih nedostataka ovisnost KPK o vremenu povećana je samo u prvoj i drugoj fazi obrade. Može se pretpostaviti da je smanjenje KPK vrijednosti posljedica odvijanja fizikalnih procesa (sedimentacija i filtracija) te je manje pod utjecajem zbog odvijanja biloških procesa [15].



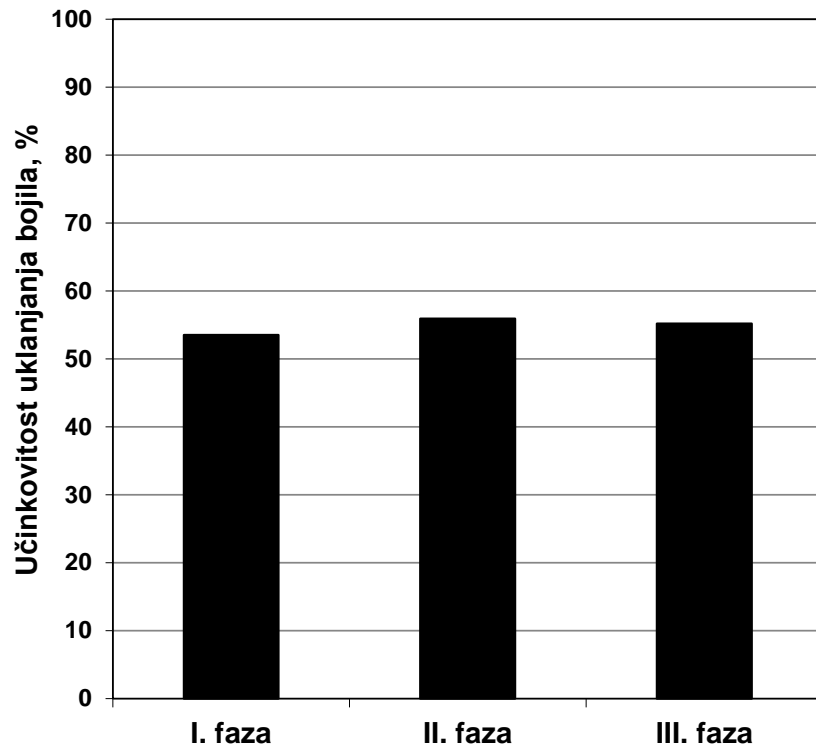
Slika 3. Profil koncentracija fosfata u ovisnosti s vremenom

3.4. Učinkovitost uklanjanja obojenja

Rezultati uklanjanja obojenja iz procjednih voda u podpovršinskom biljnom uređaju prikazani su Slikom 5. Vidljivo je da je učinkovitost uklanjanja obojenja gotovo identična u sve tri faze procesa (oko 55%). Nadalje, dobiveni rezultati pokazuju da recirkulacija nije imala nikakav utjecaj na uklanjanje obojenja. Inače, procjedna voda je prije obrade bila tamno-žute do smeđe boje dok je obrađena otpadna voda bila svijetlo-žute boje.



Slika 4. Koncentracije TOC-a i KPK u ovisnosti s vremenom



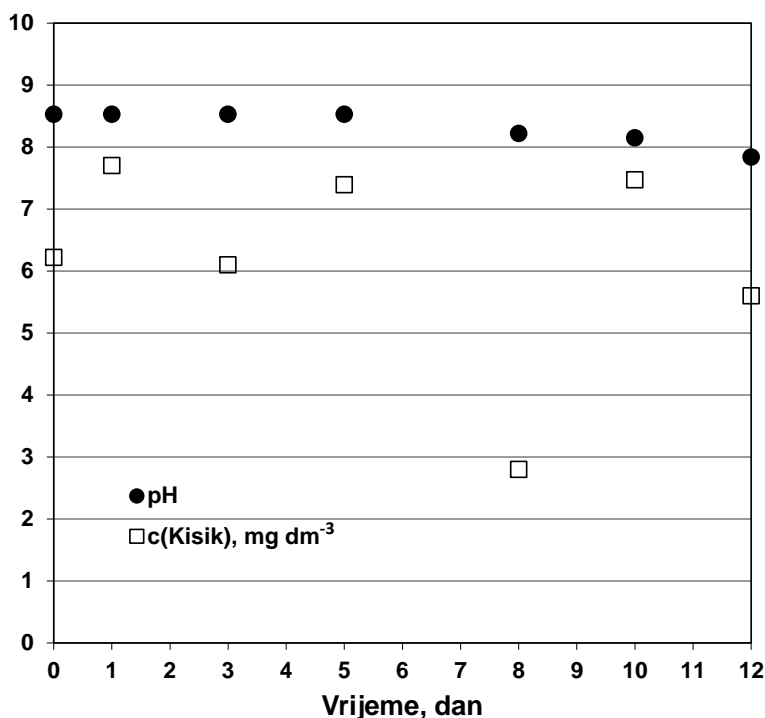
Slika 5. Učinkovitost uklanjanja bojila

3.5. Utjecaj koncentracije kisika i pH vrijednosti sustava na učinkovitost obrade

Općenito gledajući, procjedne vode su anaerobni sustavi. Stoga je u ovom istraživanju za poticanje aerobne mikrobne aktivnosti u biljnom uređaju korištena aeracija. Aeriran je ulazni tok procjedne vode, a koncentracija kisika podešena je na $6,2 \text{ mg dm}^{-3}$. Na Slici 6. moguće je vidjeti da se koncentracija kisika znatno smanjuje, što se može pripisati aktivnosti mikroorganizama koji su se već adaptirali u ovoj fazi.

pH vrijednost sustava utječe na mnoge biološke procese i nastankom neioniziranih i ioniziranih kiselih oblika kontrolira topljivost plinova i krutina. Vodikovi ioni aktivno sudjeluju u procesu ionske izmjene unutar biljnog uređaja.

Kemijski i biološki procesi koji se odvijaju u biljnom uređaju ovise o pH vrijednosti sustava. Optimalna pH vrijednost sustava većine bakterijskih vrsta kreće se u rasponu od 4 – 9. pH vrijednost prirodnih močvara je blago lužnata (pH 7 – 8) pa sve do snažno kisela (pH 3 – 4) [16]. Iz Slike 6. je vidljivo da su blago lužnati uvjeti optimalni za bakterijske vrste korištene u ovom biljnom uređaju.



Slika 6. Koncentracija kisika i pH sustava u ovisnosti o vremenu

4. ZAKLJUČAK

U ovom je radu, u razdoblju od tri tjedna, procjedna voda sa zagrebačkog odlagališta Jakuševac/Prudinec, obrađivana uz pomoć podpovršinskog biljnog uređaja. Učinkovitost samog procesa obrade procijenjena je na temelju koncentracije željeza, kroma, fosfata, TOC-a, KPK te stupnja uklonjenog obojenja. Pri tome je uočeno da se koncentracija željeza i kroma u obrađenoj otpadnoj vodi smanjila za 80 odnosno 48,3%. S druge strane, koncentracija fosfata se povećala za više od sedam puta, u usporedbi s početnim vrijednostima. Sadržaj ukupnog organskog ugljika smanjio se za 31,3% nakon 20 dana obrade u konstruiranom biljnom uređaju. Stupanj obojenja obrađene otpadne vode ostao je gotovo nepromijenjen u odnosu na početnu vrijednost. U svrhu poboljšanja aerobne biološke razgradnje, sustav podpovršinskog biljnog uređaja je dodatno aeriran. Istodobno, uočeno je da su blago alkalni uvjeti optimalni za rast

bakterijskih vrsta unutar sustava koji je korišten u ovom radu. Dobiveni rezultati ukazuju da studirani podpovršinski biljni uređaj ima znatan potencijal za primjenu u obradi procjednih voda, kao moguća metoda za uklanjanje teških metala i ukupne organske tvari.

5. REFERENCE

- [1] Stegmann R., Concepts of waste landfilling, u: Christensen, T.H., Cossu, R., Stegmann, R. (ur.), Proceedings of the 5th international landfill Symposium, Sardinia, 1995. (str. 2-12)
- [2] Belevi H., Baccini P., Long-term leachate emissions from municipal solid waste, u: Christensen T.H., Cossu R., Stegmann R. (ur.), Landfilling of waste: leachate, Elsevier Applied Science, London, 1992. (str. 431-440)
- [3] Vymazal J.: Constructed wetlands for wastewater treatment; Ecological Engineering 25 (2005) 475-477
- [4] Mudrovčić, J., (2009). Biološko pročišćavanje otpadnih voda/biljni uređaji za pročišćavanje otpadnih voda. Dostupno na:
[http://slobodnalika.com/novosti/4236_biolosko+prociscavanje+otpadnih+voda++biljni+ure daji+ za+prociscavanje+otpadnih+voda.html](http://slobodnalika.com/novosti/4236_biolosko+prociscavanje+otpadnih+voda++biljni+ure+daji+ za+prociscavanje+otpadnih+voda.html) [01. listopada 2014.]
- [5] Kadlec R. H., Knight R.L., Treatment Wetlands, Lewis Publisher, Boca Raton, Florida, 1996. (str. 359.)
- [6] Mulqueen J., Rodgers M., O' Leary G., Carty G., Wastewater treatment manuals – treatment systems for single houses, Environmental Protection Agency – EPA, Wexford, Ireland, 2000.
- [7] Tousingnant E., Guidance Manual for the Design, Construction and Operations of Constructed Wetlands for Rural Applications in Ontario, Stantec Consulting Ltd., Ontario, Canada, 1999.
- [8] Vohla, C., Alas, R., Nurk, K., Baatz, S., Mander, U., Sci. Total Environ., 380 (2007) 66.
- [9] Vymazal J.: Removal of BOD₅ in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Czech experience; Water Science and Technology 40 (1999) 133-138
- [10] Vrhovšek D., Kukanja V., Bulc T.: Constructed wetland (CW) for industrial waste water treatment; Water Research 30 (1996) 2287-2292
- [11] Molle P., Liénard A., Grasmick A., Iwema A.: Effect of reeds and feeding operations on hydraulic behaviour of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads; Water Research 40 (2006) 606-612
- [12] Chung A. K. C., Wu Y., Tam N. F. Y., Wong M. H.: Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater; Ecological Engineering 32 (2008) 81-89
- [13] Ghermandi A. et al., The Removal of Patoghens in Constructed Wetlands and it's Implications for Water Reuse, u: Eduardo S., et al. (ur.), The Eye, MAOTDR, Lisabon, Portugal, 2006. (str. 385-398)
- [14] European Commission. Council Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. Dostupno na: http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill_index.htm [01. listopada 2014.]
- [15] Sawaittayothin V., Polprasert C.: Nitrogen mass balance and microbial analysis of constructed wetlands treating municipal landfill leachate; Bioresource Technology 98 (2007) 565-570
- [16] Batty L., Hooley D., Younger P.: Iron and manganese removal in wetland treatment systems: Rates, processes and implications for management; Science of The Total Environment 394 (2008) 1-8

PERSPEKTIVA I POTENCIJAL KORIŠTENJA KULTURE MISCANTHUS X GIGANTEUS U REPUBLICI HRVATSKOJ

PERSPECTIVE AND POTENTIAL USE OF MISCANTHUS X GIGANTEUS CULTURE IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Nikola Bilandžija, dipl. ing. agr.*¹

¹ Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Svetošimunska cesta 25, Zagreb

*e-mail kontakt: nbilanzija@agr.hr

SAŽETAK

Najosnovnije ljudske potrebe, kao i sve gospodarske i izvan gospodarske djelatnosti i aktivnosti, zahtijevaju potrošnju energije. Temeljem energetske scenarija (smanjenje zaliha neodrživih izvora energije, konstantno povećanje cijena fosilnih goriva) i energetske težnje (sigurna, održiva i kontinuirana opskrba energijom) u narednih desetak godina očekuje se povećani rast proizvodnje i potrošnje obnovljivih izvora energije na globalnoj razini. Obnovljivi izvori energije predstavljaju energetske resurse koji se koriste za proizvodnju električne i/ili toplinske energije, a čije rezerve se konstantno ili ciklički obnavljaju. Pod klasifikacijom obnovljivih izvora energije ubraja se i biomasa dobivena uzgojem kultura za proizvodnju energije. Cilj uzgoja kultura za proizvodnju energije je proizvodnja što veće količine biomase po jedinici površine s ciljem njene pretvorbe u energiju, a jedna od takvih kultura je vrsta *Miscanthus x giganteus*. Glavne karakteristike trave *Miscanthus x giganteus* su: izuzetna prilagodljivost uzgoju u različitim klimatsko-pedološkim uvjetima (od razine mora do 3000 m nadmorske visine), mogućnost uzgoja na tlima lošije kvalitete, prirodan je sterilni hibrid (ne postoji mogućnost nekontroliranog širenja), visoki prinosi suhe tvari po jedinici površine (prosjeak 15-20 t/ha), izuzetna otpornost na bolesti i štetočinke (tretiranje pesticidima nije potrebno), mali zahtjevi za gojdbom te visoka energetska vrijednost (17,05 do 19,21 MJ/kg). Agronomski fakultet u Zagrebu započeo je 2011. godine istraživanja kulture *Miscanthus x giganteus*.

Ključne riječi: obnovljivi izvori energije, biomasa, kulture za proizvodnju energije, *Miscanthus x giganteus*

ABSTRACT

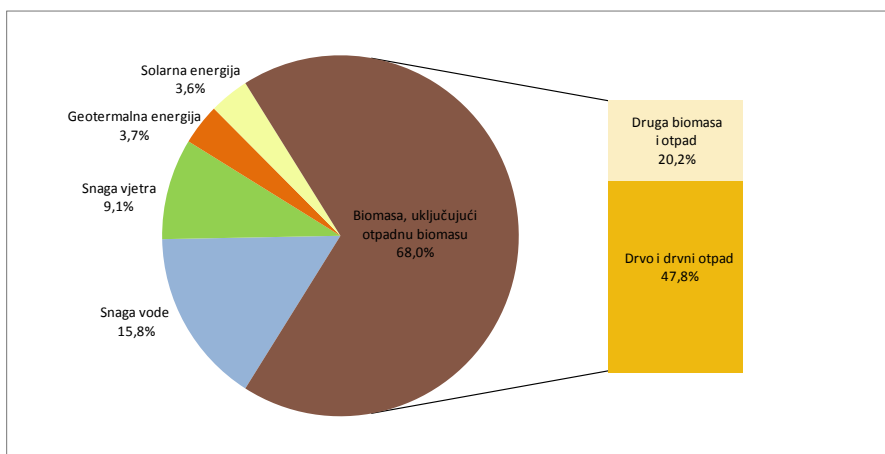
The basic human needs, as well as all economic and non economic activities require energy consumption. Based on the energy scenarios (reduction of unsustainable energy reserve resources, constant increase of fossil fuel prices) and energy aspirations (safe, sustainable and continuous energy supply), the increased production and consumption of renewable energy on the global scale in the next ten years is expected. Renewable energy sources represent energy resources whose reserves are continuously or cyclically renewed and are used for the production of electrical and / or heat energy. Biomass that is obtained by cultivation of crops for energy production is also classified as renewable energy resources. The aim of cultivation of crops for energy production is production of highest quantity of biomass per unit of area and one of such crops is *Miscanthus x giganteus*. The main characteristics of grass *Miscanthus x giganteus* are:

exceptional adaptability of cultivation to different climatic and soil conditions (from sea level up to 3000 m above sea level), the possibility of cultivation on low quality soils, it is natural sterile hybrid (there is no possibility of uncontrolled spread), high yields of dry matter per unit of area (average 15-20 t / ha), exceptional resistance to diseases and pests (pesticides treatment is not necessary), low fertilization demands and high energy value (17.05 to 19.21 MJ/kg). Faculty of Agriculture in Zagreb has started research on *Miscanthus x giganteus* in 2011.

Key words: "green" energy, CO₂-neutral fuel, biomass, *Miscanthus x giganteus*

1. UVOD

Temeljem energetske scenarije (smanjenje zaliha neodrživih izvora energije, konstantno povećanje cijena fosilnih goriva) i energetske težnje (sigurna, održiva i kontinuirana opskrba energijom) u narednih desetak godina očekuje se povećani rast proizvodnje i potrošnje obnovljivih izvora energije na globalnoj razini [33-35]. Nadalje, intenzivno i nekontrolirano korištenje fosilnih izvora energije dovelo je do ozbiljnih ekoloških posljedica s kojima se danas suočavamo [26], pri čemu je izgaranje fosilnih energenata definirano kao jedno od najznačajnijih izvora onečišćenja okoliša. Stoga, proizvodnja i korištenje obnovljivih izvora energije nameću se kao jedno od mogućih rješenja za ublažavanje prethodno navedenih problema. Obnovljivi izvori energije predstavljaju energetske resurse koji se koriste za proizvodnju električne i/ili toplinske energije, a čije rezerve se konstantno ili ciklički obnavljaju. Sam naziv obnovljivi, potiče od činjenice da se određena količina energije troši u iznosu koji ne premašuje brzinu kojom se ona nanovo stvara u prirodi. Obnovljive ili tzv. neiscrpane izvore energije na Zemlji dijelimo na energiju vjetra, geotermalnu energiju, energiju položaja vode, energiju sunčevog zračenja te energiju biomase, a potiču od tri primarna izvora: raspadanja izotopa u dubini Zemlje, gravitacijskog djelovanja planeta i termonuklearnih pretvorbi na Suncu [12,30]. Početkom 2014. godine Europska komisija proširuje Energetsku strategiju za Europu do 2020. godine te definira ciljeve i scenarije do 2030. godine propisivanjem Okvira za klimatske i energetske politike [15]. Navedenim Okvirom predlaže se smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40%, povećanje udjela obnovljivih izvora energije od najmanje 27% uz kontinuirano poboljšanje energetske učinkovitosti te osiguranje konkurentne, pristupačne i sigurne energije. Temeljem posljednjih dostupnih podataka iz 2013. godine (slika 1.) vidljivo je da je u Europskoj uniji tijekom 2011. godine najveći udio potrošene „zelene“ energije proizašao iz biomase (68%) dok se ostali izvori obnovljive energije kreću u razmjeru od 3,6% (solarna energija) do 15,8% (energija vode) [1].



Slika 1. Potrošnja obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji 2011. godine

2. BIOMASA KAO OBNOVLJIVI IZVOR ENERGIJE

Trenutno biomasa predstavlja četvrti najveći izvor energije nakon nafte, plina i ugljena te se od nje proizvodi oko 14 % ukupne potrebe za energijom godišnje s tendencijom rasta u razvijenim zemljama [16]. Pod pojmom biomase podrazumijevaju se sve biorazgradive tvari biljnog i životinjskog porijekla, dobivene od ostataka poljoprivredne i šumske industrije. Biomasa, kao i njezini produkti, su dovoljno slični krutim i nakon prerade tekućim fosilnim gorivima te je moguća njihova izravna zamjena [19]. Prerađena ili dorađena biomasa predstavlja biogoriva u krutom (npr. sječka, peleti, briketi, bale), tekućem (npr. biodizel, bioetanol, biometanol, ETBE) i plinovitom stanju (npr. bioplina, deponijski plin, plin iz rasplinjavanja biomase). Osim podjele biogoriva obzirom na oblik krajnjeg korištenja (kruta, tekuća i plinovita), ona se također mogu podijeliti i obzirom na vrstu korištene biomase za proizvodnju istih (prva, druga i treća generacija goriva). Naime, za proizvodnju prve generacije koriste se sirovine istovjetne onima kojima je primarna namjena hrana za ljude, dok navedeno nije slučaj kod druge i treće generacije goriva [4]. Biomasa se može transformirati u korisne oblike energije koristeći nekoliko različitih procesa. Izbor procesa pretvorbe ovisi o tipu, svojstvu i količini raspoložive biomase, željenom krajnjem obliku energije, standardima okoliša te ekonomskim uvjetima [25,27]. Poljoprivredna lignocelulozna biomasa ima znatan energetski potencijal jer predstavlja ostatke primarne poljoprivredne proizvodnje, odnosno nusproizvode nakon prerade/dorade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji [18]. S ekološkog aspekta, važna je činjenica da je moguće postići 93%-tno smanjenje neto CO₂ emisija po jedinici ogrjevne vrijednosti, zamjenom ugljena s biomasom, kao i 84%-tno smanjenje, zamjenom prirodnog plina s biomasom [14]. Prema [3] poljoprivrednu biomasu možemo podijeliti na:

1. Biomasu ratarske proizvodnje (sijeno, slama, stabljike, kukuruzovina, oklasak, ljuške ratarskih kultura),
2. Biomasu voćarsko vinogradarske proizvodnje (orezani ostatci trajnih nasada),
3. Biomasu iz prerade i dorade poljoprivrednih sirovina u prehrambenoj industriji (komina grožđa, komina masline, komina uljarica, koštice voća, ljuške jezgričavog voća),
4. Biomasu iz povrčarstva i ukrasne hortikulture (otpad iz vrtova i parkova),
5. Biomasu stočarske proizvodnje (gnoj, gnojnica, klaonički otpad, otpad u ribarstvu, mesno – koštano brašno),
6. Biomasu kultura za proizvodnju energije na zasebno oformljenim nasadima (*Miscanthus* sp., *Arundo donax*, *Sudannian grass*, *Reed canary grass*).

2.1. Kulture za proizvodnju energije

Ostaci usjeva ratarske proizvodnje definirani su kao vrijedan izvor energije za proizvodnju biogoriva druge generacije [17,29]. Obzirom da navedeni ostaci predstavljaju dragocjenu sirovinu bitnu za očuvanje kvalitete tla, njihovo nesmotreno uklanjanje može ozbiljno ugroziti kvalitetu tla [36]. Štetni utjecaji uklanjanja ostataka na kvalitetu tla moraju biti objektivno i kritički preispitani prije njihovog iskorištenja u energetske svrhe. Prema naputcima Europske komisije, maksimalno 30% od potencijalno dostupne biomase može se koristiti u energetske svrhe. Stoga, glavina lignocelulozne biomase mora biti proizvedena na zasebno oformljenim plantažama sadnjom kultura za proizvodnju energije [20,32].

Kulture za proizvodnju energije (energetske kulture) su one koje su uzgojene isključivo za svrhu proizvodnje biomase. Cilj uzgoja energetske kulture je proizvodnja, što je moguće veće količine biomase po jedinici površine s ciljem njene pretvorbe u energiju. Energetske kulture mogu biti jednogodišnje ili višegodišnje biljke [12]. Za razliku od jednogodišnjih, višegodišnje energetske kulture nemaju veće zahtjeve tijekom uzgoja i to prvenstveno u smislu agrotehnike i kvalitete

poljoprivrednog tla. Mogućnost uzgoja na tlima lošije kvalitete je izuzetno bitno svojstvo kako bi se izbjegla kolizija u proizvodnji energije i hrane. Jedna od takvih višegodišnjih kultura je i rizomatska trava *Miscanthus x giganteus*.

3. MISCANTHUS X GIGANTEUS

3.1. Osnovne značajke kulture

Miscanthus x giganteus karakterizira višegodišnji rast (15 - 20 godina i više), visoka produkcija biomasa (15 – 20 t/ha od treće godine uzgoja; slika 2) te mogućnost žetve suhe biomase (vlaga < 16%). Nadalje, važno je napomenuti visoki stupanj otpornosti na bolesti i štetoinje (tretiranje pesticidima se ne provodi) te mogućnost racionalnog korištenja hranjivih tvari (poglavito dušika) iz tla uslijed izražene sposobnosti translokacije minerala i hranjiva iz nadzemnih organa u rizome na kraju vegetacije te re-translokacije iz rizoma u nadzemne organe početkom nove vegetacijske sezone [9-11,22,31]. Uz navedeno, na ekološki aspekt navedene kulture dodatno utječe i činjenica da se tretiranje herbicidima, kao i većina ostalih agrotehničkih zahvata provodi samo u prvoj i eventualno drugoj godini od zasnivanja usjeva [8]. Nadalje, *Miscanthus x giganteus* je sterilna vrsta, dakle ne postoji mogućnost njegovog ne kontroliranog širenja.



Slika 2. Trogodišnji nasad trave *Miscanthus x giganteus*

3.2. Iskorištenje biomase kulture

3.2.1. Energetska mogućnost korištenja

Miscanthus x giganteus se trenutno najviše koristi za suspaljivanje s ugljenom i/ili samostalnim izravnim spaljivanjem za proizvodnju toplinske i/ili električne energije. Upotrebom različitih tehnologija zbijanja, proizvedena biomasa se dorađuje u čvrsta biogoriva (briketi, pelete – slika 3. i 4.) te se nakon procesa briketiranja/peletiranja može učinkovitije koristiti za proizvodnju „zelene“ energije.



Slika 3. *Miscanthus x giganteus* u formi briketa



Slika 4. *Miscanthus x giganteus* u formi peleta

Kako bi se izbjegli dodatni troškovi sabijanja *Miscanthus x giganteus* se može koristiti i u tzv. „rinfuznom stanju“, odnosno u formi bale ili sječke (slika 5. i 6.). Međutim, u tom slučaju energetskeg iskorištenja gubi se efikasnost tijekom procesa izgaranja u odnosu na peletirani i briketirani oblik.



Slika 5. *Miscanthus x giganteus* u formi bale



Slika 6. *Miscanthus x giganteus* u formi sječke

Miscanthus x giganteus se može koristiti i u kombinaciji s drugim sirovinama tijekom anaerobne fermentacije u proizvodnji bioplina, ali i za proizvodnju tekućih biogoriva i to prvenstveno bioetanola druge generacije (zahvaljujući visokom prinosu i visokom sadržaju celuloze i hemiceluloze). Previđa se da bi u budućnosti energetske usjevi, kroz proizvodnju bioetanola, mogli u potpunosti zamijeniti potrošnju fosilnih izvora energije [5]. Predviđa se proizvodnja bioetanola od 7000 do 7393 litara/ha/godišnje, uz 35 do 75%-tno smanjenje emisije stakleničkih plinova [21]. Međutim, zbog relativno visokih troškova faze predtretmana u proizvodnji bioetanola druge generacije, danas je njegovo korištenje u krutom obliku još uvijek ekonomski najprihvatljivija opcija [5].

Energetskim iskorištenjem kulture *Miscanthus x giganteus* omogućuje se značajno očuvanje fosilnih izvora energije, primjerice 20 t biomase *Miscanthus x giganteus* predstavlja ekvivalent 12 t kamenog ugljena [24], dok je 30 t navedene biomase ekvivalent 12 000 litara loživog ulja [13]. Slijedom svega navedenog, može se sa sigurnošću reći da proizvodnja „zelene“ energije

ima potencijal pozitivnog doprinosa pitanjima vezanim uz zaštitu okoliša kako iz poljoprivrednog sektora tako i na globalnoj razini [20].

3.2.2. Neenergetska mogućnost korištenja

Trava *Miscanthus x giganteus* se također može koristiti u neenergetske svrhe i to za proizvodnju papira, građevinskog materijala, malča, plastike te kao prostirka za sve domaće životinje [6] (slika 7.).



Slika 7. Prostirka za domaće životinje od trave *Miscanthus x giganteus* [37,38]

Nadalje, može se koristiti i za poboljšavanje strukture tla, smanjenje erozije ali i za proces fitoakumulacije. Fitoakumulacija je način sanacije onečišćenog tla pomoću nižih ili viših biljaka. Primjenom te tehnologije najbolji rezultati ostvareni su upravo uklanjanjem teških metala i eksploziva iz tla. Riječ je o biljkama koje su sposobne akumulirati onečišćujuće tvari korijenovim sustavom i translocirati ih i/ili akumulirati ih do nadzemnih dijelova. Nakon što biljke vežu teške metale, uklanjaju se s površine i spremaju u odlagalište otpada ili spalionice smeća i tvornice cementa ili željeza, gdje se spaljuju. Postupak se ponavlja nekoliko puta, u skladu sa stupnjem onečišćenja, kako bi se tlo što bolje očistilo i postalo pogodno za druge svrhe. Različite biljne vrste mogu usvajati i koncentrirati različite teške metale, pa čak i radioaktivne elemente [7].

4. POTENCIJAL VRSTE MISCANTHUS X GIGANTEUS U NIZINSKIM I BRDSKO - PLANINSKIM UVJETIMA REPUBLIKE HRVATSKE

Pokusna polja trave *Miscanthus x giganteus* na 2000 m² postavljena su na 2 lokacije: Centar za travnjaštvo Agronomskog fakulteta na Medvednici (N 45° 55' 37,2", E 15° 58' 24,4", n.v. 650 m) i Donja Bistra (N 45° 55' 06,2", E 15° 50' 32,5", n.v. 144 m). *Miscanthus x giganteus* je posađen u razdoblju od kraja travnja do početka svibnja 2011. godine. Za sadnju su korištene reznice rizoma dužine oko 15 cm podrijetlom iz Austrije. Razmak između redova bio 1 m, kao i razmak unutar redova (10.000 biljaka/ha).

4.1. Morfološko - gospodarska svojstva

Obzirom da je *Miscanthus x giganteus* nova kultura u Republici Hrvatskoj, autori [23] su na kraju vegetacijske sezone 2. godine uzgoja (studeni 2012.) utvrdili visinu biljke, broj izboja po biljci te prinos suhe tvari. Rezultati navedenih mjerenja su prikazani u tablici 1. Ukoliko se prikazani rezultati usporede s istraživanjima koje su proveli [28,39] može se vidjeti visoki potencijal uzgoja kulture *Miscanthus x giganteus* na područjima istraživanja u Republici Hrvatskoj.

Tablica 1. Morfološko - gospodarska svojstva kulture *Miscanthus x giganteus* uzgojene na području Republike Hrvatske

Lokacija / Parametar	Prinos ST (t/ha)	Visina biljke (m)	Broj izboja po biljci
Medvednica	16,84	2,28	30,86
Donja Bistra	20,08	3,38	31,00
[28,39]	7,30 – 15,50	1,41	24,30

Kemijski sastav ali i građa stanične stjenke biomase, istraživanih u svrhu energetskog iskorištenja, primarni su pokazatelji kvalitativne vrijednosti iste. Pri tome, pod kemijskim sastavom, ubrajaju se ogrjevne vrijednosti (gornja i donja), gorive (ugljika, vodika, kisika, sumpora, hlapljivih tvari) i negorive (voda, dušik, pepeo, fiksirani ugljik, koks) tvari, te makro i mikro elementi biomase, dok se pod građom stanične stjenke valorizira lignocelulozni sastav (lignin, celuloza i hemiceluloza). Autori [2] su u svojem istraživanju pratili neka od spomenutih parametara na biomasi trave *Miscanthus x giganteus* uzgojene na području Republike Hrvatske (tablica 2.). Usporedbom s istraživanjima koja su proveli autori [16] vidljiva je podudarnost ili određeno, očekivano odstupanje između analiziranih podataka.

Tablica 2. Neka energetska svojstva kulture *Miscanthus x giganteus* uzgojene na području Republike Hrvatske

Parametar / lokacija	Medvednica	D. Bistra	[16]
Pepeo (%)	4,72	4,82	9,60
Fiksirani ugljik (%)	9,80	12,46	11,40
Hlapive tvari (%)	79,92	76,72	79,00
Gornja ogrjevna vrijednost (MJ kg ⁻¹)	18,00	18,00	18,07
C (%)	48,72	48,55	47,09
N (%)	0,65	0,31	0,10
H (%)	4,30	4,24	6,30
O (%)	45,52	46,44	46,42
S (%)	0,08	0,08	0,10

5. ZAKLJUČAK

Početakom 2014. godine Europska komisija proširuje Energetsku strategiju za Europu do 2020. godine te definira ciljeve i scenarije do 2030. godine, propisivanjem Okvira za klimatske i energetske politike. S težnjom ostvarenja propisanih ciljeva (među ostalim, smanjenje emisija stakleničkih plinova za 40% i povećanje udjela OIE od najmanje 27%) biomasa, kao sastavni dio obnovljivih izvora energije, imati će važnu ulogu u ispunjenju istih. Kao jedan od potencijalno značajnih izvora biomase nameću se kulture za proizvodnju energije. Kultura *Miscanthus x giganteus* dokazala se kao zahvalna vrsta, kojom se uz relativno mala financijska ulaganja postižu značajni prinosi suhe tvari (biomase) po jedinici površine. Istraživanja trave *Miscanthus x giganteus* uzgojene na području Republike Hrvatske (Donja Bistra i Sljeme) potvrđuju njegov potencijal za proizvodnju značajnih količina kvalitetne biomase. Međutim, obzirom da na produkciju i kemijski sastav biomase utječe čitav niz agroekoloških i agrotehničkih čimbenika, svaki lokalitet uzgoja zahtjeva individualan pristup.

6. POPIS LITERATURE

- [1] AEBIOM: European biomass association, European bioenergy outlook, 2013.
- [2] Bilandžija N., Jurišić V., Leto J., Matin A., Voća N.: Energetske karakteristike trave *Miscanthus x giganteus* kao CO₂-neutralnog goriva; Zbornik radova 48. hrvatskog i 8. međunarodnog simpozija agronoma (2013) 55 – 59.
- [3] Bilandžija N., Krička T., Voća N., Jurišić V., Matin A., Leto J., Kuže J.: Biomasa trave *Miscanthus x giganteus* kao CO₂ neutralni energent u procesu suspaljivanja; Zbornik radova - Zaštita okoliša i održivo gospodarenje resursima, (2014) 177 - 187
- [4] Bilandžija N., Voća N.: Klasifikacija i osnovne značajke biogoriva; *Gospodarski list*, 7, (2014) 51-52.
- [5] Bilandžija N.: Proizvodnja biogoriva iz energetske kulture *Miscanthus x giganteus*; *Gospodarski list* 10 (2012), 21.
- [6] Bilandžija N.; Leto J.; Jurišić V.; Matin A.: Uzgoj i korištenje trave *Miscanthus x giganteus* kao prostirke za domaće životinje; XIX Međunarodno savjetovanje Krmiva 2012.- Zbornik sažetaka 51 (2012) 139.
- [7] Brooks R.R.: *Plants and Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity.* (ed. Gargo M E). – VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany, (1994) 88-105.
- [8] Caslin B., Finnan J., McCracken, A. (2010). *Miscanthus best practice guidelines.* Belfast, Ireland.
- [9] Clair S.S., Hillier J., Smith P.: Estimating the pre-harvest greenhouse gas costs of energy crop production; *Biomass and Bioenergy* 32 (2008) 442 – 452.
- [10] CRES: Final Report – European *Miscanthus* Network AIR–CT–92–0294. Greece, (2006).
- [11] Davis S., Parton W., Dohleman F., Smith C., Grosso S., Kent A., DeLucia E.: Comparative biogeochemical cycles of bioenergy crops reveal nitrogen-fixation and low greenhouse gas emissions in a *Miscanthus x giganteus* agro-ecosystem; *Ecosystems* 13 (2010) 144 – 156.
- [12] Đonlagić M., *Energija i okolina.* Printcom – Tuzla, Bosna i Hercegovina, 2005.
- [13] El - Bassam, N.: Performance of C4 plant species as energy sources and their possible impact on environment and climate. In: Chartier, P., Ferrero, G.L., Henius, U.M., Hultberg, S., Sachau, J. and Wiinblad, M. (eds), *Biomass for Energy and the Environment* (1996).
- [14] Eldabbagh F., Ramesh A., Hawari J., Hutny W., Kozinski J.A.: Particle–metal interactions during combustion of pulp and paper biomass in a fluidized bed combustor; *Combustion and Flame* 142 (2005) 249-257.
- [15] *Europska komisija - 2030 framework for climate and energy policies*, Brussels, Belgium: European Commission (EC), 2014.
- [16] Garcia R., Pizarro C., Lavín A.G., Bueno J.L.: Characterization of Spanish biomass wastes for energy use; *Bioresour Technol.* 103 (2012) 249-258.
- [17] Graham R.L., Nelson R., Sheehan J., Perlack R.D., Wright L.L.: Current and potential U.S. corn stover supplies; *Agronomy Journal* 99 (2007) 1 – 11.
- [18] Krička T., Kiš D., Jurišić V., Bilandžija N., Matin A., Voća N.: Ostaci poljoprivredne proizvodnje kao visokovrijedni “zeleni” energent u istočnoj Hrvatskoj; *Poljoprivreda i šumarstvo kao proizvođači obnovljivih izvora energije*, Hrvatska Akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, (2014) (u tisku).
- [19] Krička T., Voća N., Tomić, F., Janušić V.: Experience in production and utilization of renewable energy sources in EU and Croatia; Zbornik radova, The 5th International Conference "Integrated systems for agri-food production, Sibiu, (2007) 203-210.
- [20] Lal R.: Carbon sequestration; *Philosophical Transaction of the Royal Society Biological Sciences* 363 (2007) 815 - 830.

- [21] Lemus R., Parrish D.J.: Herbaceous crops with potential for biofuel production in the USA; *Persp. Agr. Veter. Sci. Nutr. Nat. Res.* 4 (2009) 1–23.
- [22] Leto J., Bilandžija N.: Rodnost energetske trave *Miscanthus x giganteus* u 1. godini na različitim lokacijama; *Zbornik radova, 48. hrvatskog i 8. međunarodnog simpozija agronoma* (2013) 55 – 59.
- [23] Leto, J.; Bilandžija, N.; Stojanović, L.; Sever, M.: Proizvodnost i morfološka svojstva energetske trave *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. u drugoj godini uzgoja; *Zbornik radova, 48. hrvatskog i 8. međunarodnog simpozija agronoma* (2014) 397 – 401.
- [24] Lewandowski I., Kicherer A., Vonier P.: CO₂ - balance for the cultivation and combustion of *Miscanthus*; *Biomass and Bioenergy* 8 (1995) 81 - 90.
- [25] McKendry P.: Energy production from biomass (part 1): overview of biomass; *Bioresource Technology* 83 (2002) 37–46.
- [26] NEP - Nacionalni energetski program, Energetski institut „Hrvoje Požar“, Zagreb, 1998.
- [27] Saxena D.K., Adhikari H.B.: Goyal Biomass-based energy fuel through biochemical routes: A review Review Article; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 167-178.
- [28] Schwarz, H.: Untersuchungen zu einer bedarfsgerechten Nährstoffversorgung und Optimierung weiterer steuerbarer Produktionsfaktoren bei *Miscanthus sinensis* 'Giganteus'. Dissertation der Universität für Bodenkultur, Wien, Austria, (1993).
- [29] Somerville C.: The billion ton biofuel vision; *Science* 312 (2006) 1277.
- [30] Šljivac D., Šimić Z.: *Obnovljivi izvori energije. Energija iz biomase*, Osijek, 2009.
- [31] Tilman D., Hill J., Lehman C.: Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass; *Science* 314 (2006) 1598 – 1606.
- [32] Tomić F., Krička T., Matić S., Šimunić I., Voća N., Petošić D.: Potentials for biofuel production in Croatia, with respect to the provisions set out by the European Union; *Journal of environmental protection and ecology* 12 (2011) 1121-1131.
- [33] Tomić, F., Krička, T., Matić S.: Available agricultural surfaces and potentials for biofuels production in Croatia; *Sumarski list* 7 – 8 (2008) 323 -330.
- [34] Van Dam J., Faaij A.P.C., Lewandowski I., Fischer G.: Biomass production potentials in Central and Eastern Europe under different scenarios; *Biomass and Bioenergy* 31 (2007) 345-366.
- [35] Višković A., *Svijetlo ili mrak: Energetska sigurnost – političko pitanje*. Lider press d.d. Zagreb, 2009.
- [36] Wilhelm W.V., Johnson J.M.F., Hatfield J.L., Vorhees W.B., Linden D.R.: Crop and soil productivity response to crop residue management: a literature review; *Agronomy Journal* 96 (2004) 1 – 17.
- [37] www.animalschoice.ie [07. veljače 2012.]
- [38] www.prjengineering.co.uk [07. veljače 2012.]
- [39] www.sciencedirect.com Christian D.G., Riche A.B., Yates N.E.: Growth, yield and mineral content of *Miscanthus x giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests; *Industrial crops and products* 28 (2008) 320–327. [07. rujna 2014.]

PRIMJENA RAZLIČITIH REKTORSKIH SUSTAVA ZA BIOLOŠKU OBRADU OTPADNIH RAFINERIJSKIH TOKOVA

THE USE OF DIFFERENT REACTOR SYSTEMS FOR BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTE REFINERY STREAMS

**doc. dr. sc. Lucija Foglar^{1*}; Dunja Margeta^{*}; prof. dr. sc. Sanja Papić^{1*};
dr. sc. Ivana Grčić, viši asistent^{*1}; prof. dr. sc. Katica Sertić-Bionda^{*1}**

¹ Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Savska c. 16, Zagreb
*e-mail kontakt: lfoglar@fkit.hr, dmargeta@fkit.hr, spapic@fkit.hr, igrbic@fkit.hr, kserti@fkit.hr

SAŽETAK

S ciljem zaštite okoliša i zbog zakonskih propisa iz otpadnih rafinerijskih tokova se moraju ukloniti štetni organski i anorganski spojevi. Učinkovito uklanjanje ovih spojeva se istražuje i primjenom različitih bioloških metoda. U ovom radu je opisana primjena različitih rektorskih sustava za biološku obradu otpadnih rafinerijskih tokova. U preglednom dijelu dan je osvrt na različite rektorske sustave koji se koriste u obradi rafinerijskih otpadnih voda i opisana je provedba procesa biološke obrade sa suspendiranom i imobiliziranom biomasom, s naglaskom na podatke o različitim parametrima provedbe procesa, kao što su kemijska potrošnja kisika (KPK), ulazno organsko opterećenje (UOO), hidrauličko vrijeme zadržavanja (Hvz), prisutnost različitih nosioca i mikroorganizama, pH i temperatura provedbe procesa. Pregledom literaturnih podataka, može se zaključiti da se biološkom obradom, odabirom odgovarajućeg rektorskog sustava, pogodnih mikroorganizama i odabirom optimalnih parametara provedbe procesa može postići vrlo učinkovito uklanjanje štetnih organskih tvari prisutnih u otpadnim rafinerijskim tokovima.

Ključne riječi: *biološke metode obrade, hidrauličko vrijeme zadržavanja, kemijska potrošnja kisika, rafinerijski otpadni tokovi, rektorski sustavi.*

ABSTRACT

In order to protect the environment and due to the regulations, harmful organic and inorganic compounds must be removed from waste refinery streams. The effective removal of these compounds, even with biological methods was studied. In this paper, the application of different reactor systems for biological treatment of waste refinery streams was described. In a review section, the use of different reactor systems in the treatment of refinery waste water were described and the performance of the biological treatment process with suspended and immobilized biomass was described with emphasis on working parameters, such as chemical oxygen demand, organic load, hydraulic retention time, the presence of different carriers and microorganisms, the pH and the working temperature. According to the review of the literature data, it can be concluded that biological treatment, with the selection of a suitable reactor system, favourable microorganisms and the optimal working parameters, enables very efficient removal of organic substances present in the waste refinery streams.

Keywords: *biological treatment, biomass, hydraulic retention time, chemical oxygen demand, refinery wastewater, reactor systems*

1. UVOD

Biološka obrada je najraširenija tehnologija obrade za uklanjanje otopljenih organskih spojeva u otpadnim vodama industrije prerade nafte. Općenito, biološka obrada može se svrstati u dvije kategorije koje obuhvaćaju procese sa suspendiranom biomasom i procese sa imobiliziranom biomasom. Biološka obrada u reaktorima sa suspendiranom biomasom je metoda biološke obrade, u kojoj su mikroorganizmi u suspenziji s organskim tvarima u otopini, odnosno miješanje je u ovakvim reaktorskim sustavima intenzivno. Mikroorganizmi koriste organske komponente iz otpadnih voda kao izvor hranjivih tvari za svoj rast, pri čemu se otpadne tvari razgrađuju, a mikroorganizmi tvore nakupine mikrobne biomase koje se nazivaju aktivni mulj. Proces biološke obrade s aktivnim muljem je jedan od najučinkovitijih bioloških sustava i koristi se u mnogim rafinerijama diljem svijeta za biološku obradu otpadnih voda. Mikroorganizmi koriste organsku tvar iz rafinerijske otpadne vode (ROV) kao izvor ugljika i energije za rast, prevodeći te tvari u stanično tkivo, vodu i oksidirane produkte.

U procesima s imobiliziranom biomasom, mikroorganizmi nisu suspendirani u tekućini, već se vežu na inertni nosioc. Nosioc, koji se koristi u procesima s modificiranom biomasom može biti sitno kamenje, šljunak, plastični materijal i drugi različiti sintetički materijali. Tvari prisutne u otpadnoj vodi dolaze u kontakt s mikroorganizmima koji su pričvršćeni na nosioce te dolazi do njihove razgradnje i nastanka nove biomase i razgradnih produkata [19].

2. PRIMJENA RAZLIČITIH REKTORSKIH SUSTAVA SA SUSPENDIRANOM BIOMASOM ZA BIOLOŠKU OBRADU OTPADNIH RAFINERIJSKIH TOKOVA

Najčešće primjenjivani proces obrade koji uključuje suspendiranu biomasu je obrada u šaržnim i protočnim reaktorima s aktivnim muljem, a vrlo često se za obradu otpadnih rafinerijskih tokova primjenjuju šaržni reaktori sa sekvencama u radu i membranski bioreaktori. U ovu skupinu procesa obrade ubrajaju se i procesi obrade u aeriranim lagunama, odnosno sustavi projektirani kao ekosustav močvare [19].

U procesu obrade s aktivnim muljem, otpadni rafinerijski tokovi ulaze u aeracijski spremnik s mikroorganizmima (reaktor), u koji se uvodi zrak kako bi se održala struktura aktivnog aerobnog mulja i homogenost suspenzije s čvrstim tvarima, prisutnim u otopini. Općenito, u sustavima za obradu rafinerijskih otpadnih voda, suspendirane tvari u smjesi tekućina (mixed liquor suspended solids, MLSS) sadrže 70-90% aktivnih otopljenih suspendiranih tvari u smjesi tekućina (mixed liquor volatile suspended solids, MLVSS) i 10-30% inertnih čvrstih tvari [19]. Obrada otpadnih rafinerijskih tokova uz primjenu aktivnog mulja iz šest različitih rafinerija u Sjedinjenim Američkim Državama je praćena u nedavno provedenom istraživanju [15]. Rezultati istraživanja ukazuju da je obrada učinkovita u smanjenju KPK vrijednosti i da se značajno smanjuju koncentracije naftalenskih kiselina, a ujedno se smanjuje i toksičnost izlaznog toka. Slično tome, Mizzouri i Shaaban [16] su pratili kinetiku razgradnje otpadnog rafinerijskog toka u protočnom reaktoru sa suspendiranom biomasom (PRSB) i opaženo je 89,9-96,5%-tno smanjenje KPK, a identifikacijom prisutnih bakterija je dokazano da prevladavaju bakterije *Pseudomonas putida*, *Acidovorax delafieldii* i *Aeromonas hydrophila*. Pregledom dostupnih literaturnih podataka, vrijednosti pojedinih parametara provedbe procesa obrade ROV u različitim tipovima reaktora sa suspendiranom biomasom su prikazane u tablici 1.

Tablica 1. Literaturni pregled različitih vrijednosti parametara provedbe procesa obrade ROV u reaktorskim sustavima sa suspendiranom biomasom.

Reaktorski sustav	UOO* KPK**	Mikroorganizmi/ Nosioč	pH T(°C)	Hvz (h)	Učinkovitost (% KPK)	Ref.
Reaktor s aktivnim muljem	– 467-1117(700)	Rafinerijski otpadni mulj	7-7,6 22-24	–	24,17-75,6	[15]
PRSB	0,177-0,744 –	Mješovita kultura	– –	19,2-25,6	89,9-96,5	[16]
UASB	0,2-1,2 500-1200	Otpadni mulj	6,5-7,7/ 38±1	10-48	30-81	[21]
SBR	0,3-0,93 920-1620	Aktivni mulj	6,7-7,3 27±2	12,8-4,8	75-95	[17]
Kombinacija UASB i IBAF reaktora	– 129,8-1238	Aktivni mulj (UASB) i komercijalne kulture (IBAF)/Policin urepan	7,8-8,3 25-35	40-12	20-90	[12]
MBR	–/KPK:616±231 –/KPK:1010±45 –/KPK:765±187	Aktivni mulj/ Membrane-polieterimidna vlakna	8,0 25	10	15-79 48-77 41-69	[30]
MBR	30-65 mg/d (160-2300)10 ³	Aktivni mulj (3000 mg MLSS/L)	6-8	16 20 33	93,8-94,3 94-95 94,5-95,5	[20]
MBR	24-67 mg/d / (370-2300)10 ³	Aktivni mulj (5000 mg MLSS/L)	–	17 22 34	93,5-94 93,5-94,5 94,7-95,8	
MSBR	***Toluen: 25 Etilbenzen: 25 Nonan: 25-3000	Aktivni mulj/ Poletilen mikrofiltracijski membranski modul	– 27±1	8 16 24	Uklanjanje CH: 97	[23]
Ekosustav močvare	KPK:165-347 Fenol: 3-9 Ulja i masti: 24-66	Pijesak-šljunak Pijesak-kompost	8-10,5 5-20	–	45-78 33-62	[2]

UOO*-Ulazno organsko opterećenje (kg KPK/kg MLSS/d)

KPK**-Ulazna vrijednost KPK (mg/dm³)

***Koncentracije različitih ugljikovodika (CH)

Osim aerobne obrade za obradu rafinerijskih otpadnih voda može se koristiti i anaerobni bioreaktor s uzlaznim tokom (upflow anaerobic sludge blanket bioreactor - UASB) [21]. Anaerobno obradom ROV iz rafinerije u Teheranu, Iran, postignuto je 30-81%-tno smanjenje KPK pri čemu je najveća učinkovitost procesa opažena uz UOO 0,4 kg/m³d i Hvz 48 h. Nakon provedbe ovih istraživanja, uz primjenu modela za optimiranje procesa je određen optimalni raspon provedbe procesa, pri čemu je uz ulazni KPK 630 mg/dm³ i Hvz 21,4 h opaženo 76,3-78,3%-tno smanjenje KPK [21].

U šaržnim reaktorima procesi obrade se mogu odvijati uz pojedine cikluse poput ciklusa punjenje/taloženje/praznjenje. Ovi reaktori nazivaju se reaktori sa sekvencama u radu ("Sequencing Batch Reactor" - SBR). U nedavno provedenoj studiji [17], u reaktoru sa sekvencama u radu je istraživana utjecaj toksičnosti (dodatak Cr⁺⁶ iona; $\gamma_0 = 0,02-20$ mg Cr⁺⁶/dm³), Hvz i UOO na tijek provedbe obrade ROV iz rafinerije u Kuala Lumpuru. Rezultati istraživanja ukazuju da je uz primjenu UOO u rasponu 0,53-0,93 kg KPK/kg MLSSd, učinkovitost procesa iznosila 86-68,9% (Tablica 1). Tijekom istraživanja utjecaja toksičnosti opaženo je da povećanje koncentracije Cr⁺⁶ iona smanjuje učinkovitost, tako dodatak 10 mg Cr⁺⁶/dm³ uzrokuje smanjenje učinkovitosti na vrijednost 79,4%, ali se vrlo brzo postiže prilagodba sustava i učinkovitost obrade se povećava na vrijednost 88%. Nasuprot tome, dodatak 20 mg Cr⁺⁶/dm³ uzrokuje naglo smanjenje učinkovitosti na vrijednost 77,1% i oporavak procesa obrade je znatno dulji. Osim toga, pri istovremenoj primjeni povećanog UOO i sniženog Hvz, je opažen i potpuni kolaps sustava odnosno gubitak aktivnosti biomase i ispiranje iz sustava obrade [17].

Osim navedenih reaktorskih sustava, u nedavno objavljenoj studiji [12] je istražena mogućnost obrade ROV u reaktorskom sustavu koji kombinira reaktor uzlaznog toka s anaerobnim muljem (UASB) i reaktor s imobiliziranim biološkim aeriranim filterima (IBAF). Tijekom 252 dana rada ovog pilot postrojenja postavljenog u blizini naftnog polja praćene su vrijednosti KPK, koncentracija amonijaka i suspendiranih čvrstih tvari, i prisutnost i razgradnja alkana. Postignuto je 74%-tno smanjenje KPK, 94%-tno smanjenje koncentracije NH₃-N i 98%-tno smanjenje suspendiranih čvrstih tvari (Tablica 1). Analizom uzoraka je određeno da je većina alkalnih spojeva razgrađena u UASB reaktoru, dok IBAF reaktor ima važnu ulogu u razgradnji drugih organskih tvari i smanjenju NH₃-N i suspendiranih čvrstih tvari. Analiza biomase je ukazala da su u UASB reaktoru prevladavale bakterije, koje pripadaju rodovima *Bacillales* i *Rhodobacterales*, dok je u IBAF reaktoru prevladavala prisutnost neindetificirane bakterijske vrste [12].

Membranski bioreaktori (MBR) su biološki postupci obrade koji predstavljaju varijaciju primjene sustava aktivnog mulja. MBR kombinira membranski proces (npr. mikrofiltraciju) sa suspendiranim rastom biomase, što eventualno može dovesti do izbjegavanja potrebe za korištenjem jedinice za bistrenje, koja je nužna u radu sustava s aktivnim muljem [19]. Primjena MBR za obradu ROV [30] je istraživana pri različitim UOO i Hvz 10 h, pri 25 °C tijekom 93 dana i rezultati istraživanja ukazuju na učinkovito uklanjanje organske tvari (Tablica 1). Usporedbom rezultata uz primjenu MBR s rezultatima opaženim samo uz primjenu biomase, može se zaključiti da primjena membrane omogućava 17 i 20%-tni porast učinkovitosti smanjenja KPK i ukupnog organskog ugljika [30]. Uz primjenu membranskog bioreaktora s križnim protokom [20] za obradu ROV u prisutnosti 3000 mg MLSS/dm³ i 5000 mg MLSS/dm³ i pri Hvz 16-34 h opaženo je 82 do 97%-tno smanjenje KPK, a najveća učinkovitost postignuta pri Hvz 34 h je iznosila više od 95%. [20]. Osim navedenih membranskih sustava, i u nedavno provedenom istraživanju [23] je određivan utjecaj različitih Hvz na provedbu obrade pripravljene ROV u tri paralelno spojena membranska SBR reaktora (MSBR). Faze rada ovih reaktora, ovisno o Hvz (8, 16 i 24 h) sastojale su se od faze punjenja - 11 min., reakcijske faze (149; 389 i 629 min.) i

faze taloženja i odjeljivanja - 80 min. Proces je praćen pri 27 ± 1 °C, a pripravljena ROV je sadržavala mineralne soli nužne za optimalni rast i razvoj mikrobne biomase i toluen, etilbenzen i nonan, kao ugljikovodične komponente. Iako je porast Hvz imao za posljedicu statistički značajno smanjenje vrijednosti MLSS, opaženo je da je učinkovitost uklanjanja ugljikovodičnih komponenti iznosila više od 97% pri sve tri istraživane vrijednosti Hvz (Tablica 1) [23]. Primjena SBR tehnologije je korištena i u brojnim drugim istraživanjima, pri čemu je također opaženo učinkovito smanjenje KPK tijekom obrade ROV [9, 11].

Ekosustavi močvare mogu biti projektirani kao prirodni i konstruirani ekosustavi, prirodni ekosustavi se uglavnom koriste za uklanjanje suspendiranih tvari, dušika, fosfora, elemenata u tragovima i mikroorganizama koji su prisutni u otpadnim vodama. Sustav konstruiranih močvara se koristi s ciljem obrade gradskih, industrijskih i poljoprivrednih otpadnih voda [18]. Kako bi se istražila praktična primjena, u Pakistanu je od 2002. god. praćen rad dva paralelna ekosustava močvare i njihova učinkovitost u obradi ROV [2]. Dva identično projektirana ekosustava močvare sadržavala su različite filter medije (pjesak/kompost i pjesak/šljunak) i posađene izbojke močvarne trske (Tablica 1). U prvom periodu, praćen je rast biljaka uz dodatak svježe vode, a potom je započet dotok ROV i nakon perioda prilagodbe, praćena je učinkovitosti ovog sustava. Učinkovitost primjene ovog sustava očituje se u smanjenju ukupnih suspendiranih čvrstih tvari koje je iznosilo 48-73% u sustavu s kompostom i 39-58% u sustavu pijesak/šljunak. Učinkovitost je iznosila 45-78% za sustav s kompostom i 33-62% za sustav pijesak/šljunak. Osim toga, opaženo je učinkovito smanjenje biološke potrošnje kisika (BPK) i smanjenje koncentracije teških metala. Rezultati ove studije ukazuju da se primjenom ekosustava močvare može postići učinkovito smanjenje KPK i BPK, ali i značajno smanjenje koncentracije teških metala kao što su Fe, Cu i Zn. [2]. Obrada ROV u ekosustavima projektiranim kao ekosustav močvare, istraživana je i u drugim radovima, pri čemu je opaženo da primjena ovakvog ekosustava omogućuje učinkovito uklanjanje štetnih tvari iz ROV [24].

3. BIOLOŠKA OBRADA OTPADNIH RAFINERIJSKIH TOKOVA U REKTORSKIM SUSTAVIMA S IMOBILIZIRANOM BIOMASOM

Rektorski sustavi, u kojima se koriste mikroorganizmi vezani ili imobilizirani na nosiocu, nazivaju se općenito rektori s imobiliziranom biomasom. Nosioci biomase mogu biti čestice pijeska, šljunka, gline, zeolita, različiti hidrogelovi, polimerne granule i različiti plastični i sintetički materijali, a ovisno o načinu rada, postoje različiti šaržni i kontinuirani rektorski sustavi, koji ovisno o brzini protoka mogu biti rektori s nasutim slojem (rektori s punilom) ili rektori s fluidiziranim slojem sa i bez miješanja.

Tijekom posljednjih 10-tak godina istražuje se i uporaba rektorskih sustava s fluidiziranim slojem (RFS) za učinkovitu obradu organskih zagađivala [3, 7, 27, 31]. Ovi rektorski sustavi su učinkovitiji od rektora sa suspendiranom biomasom jer omogućavaju provedbu procesa uz veće koncentracije biomase, niže vrijednosti Hvz i osnovna ulaganja su manja [13]. Razgradnja dizelskog goriva u otpadnim vodama praćena je uz primjenu aerobnih kultura mikroorganizama i rezultati tih studija [6, 14] ukazuju da primjena aerobnih procesa pogoduje učinkovitoj razgradnji dizelskog goriva. U nedavno provedenoj studiji [13], istraživana je aerobna biološka razgradnja otpadne vode koja sadrži dizelsko gorivo u trofaznom RFS rektoru s česticama vulkanskog kamena kao punilom. Fluidizacija je omogućena primjenom uzlaznog toka vode i zraka, a rezultati istraživanja ukazuju da se postiže 100%-tno uklanjanje dizelskog goriva i 90-97%-tno smanjenje KPK [13]. Vrijednosti parametara provedbe procesa obrade ROV u rektorima sa imobiliziranom biomasom i učinkovitost obrade su prikazane u tablici 2.

Tablica 2. Literaturni pregled različitih vrijednosti parametara provedbe procesa obrade ROV u reaktorskim sustavima sa imobiliziranom biomasom.

Reaktorski sustav	UOO* KPK**	Mikroorganizmi/ Nosioč	pH T(°C)	HVZ (h)	Učinkovitost (% KPK)	Ref.
RFS	– 547-4025 – 200 i 1237	Čestice vulkanskog kamena	6,7-7,8 –	4 h	90-97 96 i dizel: 100%	[13]
RFS	– 45000	Polipropilenske KMT® čestice	6,5-7,0 28-30	–	90-95	[25]
RFS	– 36650	Polipropilenske čestice	6,5-7,0 28-30	3,33-30	KPK: 40-95	[26]
RFS	– 215-613	Sintetska smola	7-8 25-35	6,5	> 53-84	[32]
RBF	– 510±401,9 i fenol: 30±6,2	Poliuretanska pjena i fiberglas	6,0-8,5 15-39	16 8	KPK: 85-90 Fenol: 100	[10]
RBAF	0,4-1,07 124	B350 i B350M kulture/ Poliamonijačni	8,0 18-24	20-4	83-99	[33]
RBK sustav s	27,33 g/m ² d 2677,30- 5406,38	Fototrofni mikroorganizmi	7,5 28±2	24 21	97,19-78,56 84,6-97,8	[4]
Kombinirani reaktorski sustav	– 3600-5300	<i>Pseudonymous putida</i> /Polivinil alkoholni gel	7,2-8,2 30 i sobna	–	KPK: 97 Fenol: 100 Krezol: 100	[5]
Elektrolizna ćelija	– 136-1400	Mikroorganizmi prisutni u OV	7,2-8,9 30	–	40-79	[22]

UOO*-Ulazno organsko opterećenje (kg KPK/kg MLSS/d)

KPK**-Ulazna vrijednost KPK(mg KPK/L)

U reaktoru s fluidiziranim slojem polipropilenskih KMT® čestica je uz razne omjere volumena punila i volumena bioreaktora (V_p/V_R), pri različitim brzinama zraka opaženo da je 90%-tno smanjenje KPK postignuto pri radu bioreaktora uz (V_p/V_R)_m omjer 0,55 i pri brzini zraka 0,029 m/s [25]. Sličan reaktorski sustav je korišten za istraživanje obrade ROV u pilot postrojenju [32], pri čemu je aerobna obrada provedena u reaktoru sa 7 cijevi fiksiranih u glavnoj reaktorskoj cijevi promjera 3,6 m i visine 8,5 m, s kuglicama sintetske smole kao punilom. ROV je uvođena na dnu bioreaktora, a aeracija i fluidizacija su omogućene uvođenjem zraka preko mlaznica s protokom 0,5-4,2 m³_{zraka}/m³_{otopine}·h. Istraživanje utjecaja pH, protoka zraka i H_{vz} ukazuju da je u optimalnim uvjetima rada postignuta 53-84% učinkovitost (Tablica 2).

Biološka obrada ROV je praćena i u drugim reaktorskim sustavima kao što je na primjer modificirani reaktor s biofilmom (RBF) [10]. Modifikacija reaktorskog sustava je istražena uz primjenu većih UOO kako bi se poboljšala učinkovitost obrade ROV i smanjilo nastajanje

otpadnog mulja. Reaktorski sustav je izrađen uz primjenu porozne poliuretanske pjene kao punila, a kao ojačanje su korišteni specifični cilindrični plastični perforirani prsteni, koji čine čvrstu strukturu punila. Pilot postrojenje je sadržavalo reaktor s biofilmom, koji se sastojao od 4 fiberglasom ojačane plastične komore, a svaka komora je sadržavala punilo. Praćenjem ulaznih/izlaznih vrijednosti KPK i fenola je opaženo 85-90%-tno smanjenje KPK i 100%-tna razgradnja fenola. U ovom radu je također praćena i konvencionalna obrada s aktivnim muljem, pri čemu je opaženo 50-60%-tno smanjenje KPK i 99%-tna razgradnja fenola. Usporedbom rezultata opaženo je da se u RBF sustavu stvara svega 1/3 otpadnog mulja u odnosu na otpadni mulj nastao tijekom konvencionalne obrade [10].

Primjena reaktorskog sustava s imobiliziranim stanicama je istraživana za obradu ROV (naftno polje Huabei, Renqiu, Sjeverna Kina) u reaktoru s biološki aeriranim filtrom (RBAF) [33]. Rad dva paralelno spojena polimetil-metakrilatna reaktora s kockicama sintetiziranog polimernog poliamonijačnog nosioca i dvije različite komercijalne kulture mikroorganizama B350M i B350 je praćen uz primjenu UOO 0,4-1,07 kg/m³d pri različitim H_{vz} (20-4 h) i postignuto je 83-99%-tno smanjenje KPK. Praćenjem rada RBAF sustava tijekom 142 dana i usporedbom rezultata, opažena je veća učinkovitost reaktora s imobiliziranom B350M kulturom (Tablica 2). Praćenjem policikličnih aromatskih ugljikovodika je opaženo da se u oba reaktora njihove koncentracije smanjuju i učinkovitost razgradnje u reaktorima s kulturama B350M i B350 je iznosila 90% i 84% [33].

Osim ovih reaktorskih sustava, u obradi otpadnih rafinerijskih tokova, mogu se koristiti i reaktorski sustavi s prokapavajućim filtrom (RPF) koji se sastoje od jednog ili više slojeva podloge u spremniku iznad kojeg se raspršuje otpadna voda. Ulazni tok otpadne vode se raspodjeljuje pomoću rotacijskog razdjelnika i prolazi, odnosno "curi ili prokapava" kroz podlogu filtra u tankome sloju što omogućuje kontakt s bakterijama na podlozi i skuplja se u spremniku ispod njega [19, 28]. Primjena RPF je istraživana u nedavno objavljenom radu, kako bi se istražila učinkovitost uklanjanja toluena iz otpadnog toka uz primjenu aluminosilikatnih kuglica (molekularno sito) i poliuretanske pjene kao filtera medija, pri tome je veća učinkovitost opažena uz primjenu aluminosilikatnih kuglica [8]. Osim RPF, u praksi se koriste i uronjeni biofilmski filtri među kojima i rotirajući biološki kontaktori (RBK). RBK se sastoje od niza okruglih ploča na vodoravnoj osovinu, pri čemu su diskovi koji čine površinu za rast bakterija, izrađeni uglavnom od plastičnih materijala, postavljeni u spremnik koji je djelomično ispunjen otpadnom vodom, tako da je 40-50% filtra uronjeno. Diskovi se kontinuirano okreću pomoću motora kojeg pokreće zrak, a brzina rotacije mora biti prilagođena tako da bakterije naizmjenice budu izložene zraku i otpadnoj vodi. Prednosti RBK nad drugim tipovima filtera su brojne jer nema potrebe za dodavanjem kisika i ne ovisi o koncentraciji kisika u vodi, a mikroorganizmi su vezani za površinu diska, stoga je začepljenje filtera vrlo rijetko, a imaju i male energijske zahtjeve. Nakon početne faze, obrada otpadnih voda pomoću RBK je uglavnom pouzdana i učinkovita [19, 28]. Biorazgradljivost ROV je istraživana u laboratorijskom mjerilu uz primjenu modificiranog RBK s poliuretanskom pjenom [29]. Razgradnja ROV je praćena u dva paralelno spojena RBK pri različitim ulaznim hidrauličkim opterećenjima (0,01-0,04 m³/m²d) uz brzinu rotacije 10 o/min. i učinkovitost smanjenja KPK i ulja je bila veća od 87% odnosno 80%, a opaženo je 99%-tno uklanjanje NH₃-N i 85%-tno uklanjanje fenola [29]. Primjena RBK je također istražena za obradu otpadne vode koja je sadržavala dizelsko ulje [4]. U reaktorskom sustavu je određena prisutnost bakterije *Burkholderia cepacia* i cijanobakterija (*Phormidium*, *Oscillatoria* i *Chroococcus*), a nakon stvaranja biofilma i perioda prilagodbe, u izljevnom toku je određena prisutnost svega 0,003% zaostalog dizela. Učinkovitost obrade otpadne vode koja je sadržavala od 0,2 do 0,8% dizela je praćena pri H_{vz} 21 h i UOO 27,33 g/m²d i postignuto je 84-98%-tno smanjenje KPK i više od 99%-tna učinkovitost smanjenja ukupnog sadržaja naftnih ugljikovodika (Tablica 2).

RBK se koriste i za obradu različitih otpadnih voda, tako je istražena mogućnost biorazgradnje toluena u RBK, i pri UOO 1,5-10,6 g/m²d je opaženo 77-88,3%-tno smanjenja KPK [1].

Primjenom bioelektrokemijskih sustava, a osobito primjenom elektrokoagulacije u obradi i pročišćavanju otpadnih voda, postiže se učinkovito uklanjanje suspendiranih čvrstih tvari, ulja i masti [5]. U ovom radu je za obradu ROV korišten kombinirani sustav, koji se sastojao od elektrokemijskog procesa, biološke obrade u reaktoru s punilom i adsorpcije u koloni s granuliranim aktiviranim ugljikom. Tijekom rada su analizirani uzorci iz svakog pojedinog izlaznog toka i određivana je koncentracija fenola, kezoala i KPK i postignuto je 100%-tno uklanjanje fenola i kezoala i 97%-tno smanjenje KPK (Tablica 2). Mikrobnim elektroliznim reaktorima kojima je anoda grafitna ploča, a mrežica od nehrđajućeg čelika katoda su korišteni u nedavno objavljenom radu za obradu različitih ROV [22]. U anaerobnim šaržnim uvjetima, uvođenjem uzorka ROV ili smjese ROV sa kućanskim otpadnim vodama je opaženo 79%-tno smanjenje KPK i 82%-tno smanjenje BPK vrijednosti.

4. ZAKLJUČAK

Prema prikazanim podacima o provedbi biološke obrade otpadnih rafinerijskih tokova, može se zaključiti da odabir odgovarajućeg reaktorskog sustava i uvjeta provedbe procesa, kao i odabir pogodnih mikroorganizama mogu znatno utjecati na učinkovitost biološke obrade ROV. Sukladno tome, može se zaključiti da je primjena membranskih bioreaktora vrlo učinkovita i omogućuje više od 93%-tno smanjenje KPK, dok se primjenom imobiliziranih stanica također postiže vrlo visoka učinkovitost procesa, osobito u reaktorskim sustavima s punilom u kojemu je opažena do 96%-tna učinkovitost procesa. Osim toga, primjena kombiniranih reaktorskih sustava koji sadrže elektrokoagulacijsku ćeliju, reaktor s punilom i adsorpcijsku kolonu, također omogućuje 97%-tno smanjenje KPK ali i 100%-tno uklanjanje fenola i kezoala.

Na tijek procesa utječu i drugi parametri provedbe procesa, poput temperature, pH vrijednosti i Hvz. Analizom prikazanih podataka, može se zaključiti da se procesi obrade provode uglavnom u neutralnom pH području (6,0-8,9) i pri temperaturama 25-35 °C, što su ujedno vrijednosti koje osiguravaju optimalan rast i razvoj mikroorganizama koji mogu razlagati organske tvari prisutne u ROV.

Usporedbom reaktorskih sustava sa suspendiranom i imobiliziranom biomasom, učinkovitosti i Hvz može se zaključiti da je učinkovitost procesa veća, a Hvz većinom manje u reaktorskim sustavima s imobiliziranom biomasom, što doprinosi ekonomičnosti provedbe biološke obrade ROV.

5. REFERENCE

- [1] Alemzadeh I., Vossoughi M.: Biodegradation of toluene by an attached biofilm in a rotating biological contactor; *Process Biochemistry* 36 (2001) 707-711.
- [2] Aslam M.M. et al.: Treatment performances of compost-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for refinery wastewater treatment in Pakistan; *Ecological Engineering* 30 (2007) 34-42.
- [3] Buchtamann C. et al.: Performance of three phase fluidized bed reactor for quinoline degradation on various supports at steady state and dynamic conditions; *Biotechnology and Bioengineering* 56 (1997) 295-303.
- [4] Chavan A., Mukherji S.: Treatment of hydrocarbon-rich wastewater using oil degrading bacteria and phototrophic microorganisms in rotating biological contactor: Effect of N:P ratio; *Journal of Hazardous Materials* 154 (2008) 63-72.

- [5] El-Naas M.H., Alhaija M.A., Al-Zuhair S.: Evaluation of a three-step process for the treatment of petroleum refinery wastewater; *J Environ. Chem. Eng.* 2 (2014) 56–62.
- [6] Erikson M., Swartling A., Dalhammar G.: Biological degradation of diesel fuel in water and soil monitored with solid-phase micro-extraction and GC–MS; *Applied Microbiology and Biotechnology* 50 (1998) 129–134.
- [7] Gonzales G. et al.: Biodegradation of phenolic wastewater in a fluidized bed bioreactor with immobilized cells of *Pseudomonas putida*; *Bioresource Technology* 80 (2001) 137–142.
- [8] He Z. et al.: Comparative study of the eliminating of waste gas containing toluene in twin biotrickling filters packed with molecular sieve and polyurethane foam; *Journal of Hazardous Materials* 167 (2009) 275–281.
- [9] Hudson N. et al.: Sequencing batch reactor technology: the key to a BP refinery (Bulwer Island) upgraded environmental protection system – A low cost lagoon based retro-fit; *Water Science and Technology* 43 (2001) 339–346.
- [10] Jou C.J.G., Huang G.C.: A pilot study for oil refinery wastewater treatment using a fixed-film bioreactor; *Advances in Environmental Research* 7 (2003) 463–469.
- [11] Lee L.Y. et al.: Two-stage SBR for treatment of oil refinery wastewater; *Water Science and Technology* 50 (2004) 243–249.
- [12] Liu G. et al.: Biotreatment of heavy oil wastewater by combined upflow anaerobic sludge blanket and immobilized biological aerated filter in a pilot-scale test; *Biochemical Engineering Journal* 72 (2013) 48–53.
- [13] Lohi A. et al.: Biodegradation of diesel fuel-contaminated wastewater using a three-phase fluidized bed reactor; *Journal of Hazardous Materials* 154 (2008) 105–111.
- [14] Margesin R., Schinner F.: Bioremediation of diesel fuel-oil-contaminated alpine soils at low temperature; *Applied Microbiology and Biotechnology* 47 (1997) 462–468.
- [15] Misiti T., Tezel U., Pavlostathi, S.G.: Fate and effect of naphthenic acids on oil refinery activated sludge wastewater treatment systems; *Water Research* 47 (2013) 449–460.
- [16] Mizzouri N.S., Shaaban M.G.: Kinetic and hydrodynamic assessment of an aerobic purification system for petroleum refinery wastewater treatment in a continuous regime; *International Biodeterioration and Biodegradation* 83 (2013) 1–9.
- [17] Mizzouri N.S., Shaaban M.G.: Individual and combined effects of organic, toxic, and hydraulic shocks on sequencing batch reactor in treating petroleum refinery wastewater; *Journal of Hazardous Materials* 250-251 (2013) 333–344.
- [18] Pardue M.J. et al.: Treatment of oil and grease in produced water by a pilot-scale constructed wetland system using biogeochemical processes; *Chemosphere* 103 (2014) 67–73.
- [19] Petroleum refinery waste management and minimization An IPIECA Good Practice Guide 2010, IPIECA London, UK, Dostupno na: <http://www.ipieca.org>, [28.04.2014.]
- [20] Rahman M.M., Al-Malack M.H.: Performance of a crossflow membrane bioreactor (CF–MBR) when treating refinery wastewater; *Desalination* 191 (2006) 16–263.
- [21] Rastegar S.O. et al.: Optimization of petroleum refinery effluent treatment in a UASB reactor using response surface methodology; *Journal of Hazardous Materials* 197 (2011) 26–32.
- [22] Ren L. et al.: Treatability studies on different refinery wastewater samples using high-throughput microbial electrolysis cells (MECs); *Bioresource Technology* 136 (2013) 322–328.
- [23] Shariati, S.R.P. et al.: The effect of hydraulic retention time on the performance and fouling characteristics of membrane sequencing batch reactors used for the treatment of synthetic petroleum refinery wastewater; *Bioresource Technology* 102 (2011) 7692–7699.

- [24] Simi A.L., Mitchell C.A.: Design and hydraulic performance of a constructed wetland treating oil refinery wastewater; *Water Science and Technology* 40 (1999) 301–307.
- [25] Sokol W.: Treatment of refinery wastewater in a three-phase fluidised bed bioreactor with a low density biomass support; *Biochemical Engineering Journal* 15 (2003) 1–10.
- [26] Sokół W., Ambawb A., Woldeyes B.: Biological wastewater treatment in the inverse fluidised bed reactor; *Chemical Engineering Journal* 150 (2009) 63–68.
- [27] Sutton P.M., Mishra P.N.: Activated carbon based biological fluidized beds for contaminated water and wastewater treatment: A state of the art review; *Water Science and Technology* 29 (1994) 309–317.
- [28] Šarić I. i dr.: Biološki filtri u akvakulturi; *Ribarstvo*, 68 (2010) 117–132.
- [29] Tyagi R.D., Tran F.T., Chowdhury A.K.M.M.: Biodegradation of petroleum refinery wastewater in a modified rotating biological contactor with polyurethane foam attached to the disks; *Water Research* 27 (1993) 91–99.
- [30] Viero A.F. et al: The effects of long-term feeding of high organic loading in a submerged membrane bioreactor treating oil refinery wastewater; *Journal of Membrane Science* 319 (2008) 223–230.
- [31] Wilson G. et al.: Anaerobic/Aerobic biodegradation of pentachlorophenol using GAC fluidized bed reactors: Optimization of the empty bed contact time; *Water Science and Technology* 38 (1998) 9–17.
- [32] Xianling, L. et al.: The pilot study for oil refinery wastewater treatment using a gas–liquid–solid three-phase flow airlift loop bioreactor; *Biochemical Engineering Journal* 27 (2005) 40–44.
- [33] Zhao X. et al.: Oil field wastewater treatment in Biological Aerated Filter by immobilized microorganisms; *Process Biochemistry* 41 (2006) 1475–1483.

PROCJENA GENERIRANJA KOMUNALNOG OTPADA PRIMJENOM NEURONSKIH MREŽA

ESTIMATION OF MUNICIPAL WASTE GENERATION USING NEURAL NETWORKS

Bojan Ribić, dipl.ing ^{*1}; dr. sc. Nenad Bolf, izv.prof. ²;

dr. sc. Dinko Sinčić, znanstveni savjetnik²

¹ Zagrebački Holding, Podružnica Čistoća

² Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Marulićev Trg 19

*e-mail kontakt: bojan.ribic@zgh.hr;

SAŽETAK

Zakonska regulativa Europske unije vezana uz zaštitu okoliša, koja je već implementirana u nacionalno zakonodavstvo Republike Hrvatske, ima za cilj uvođenje sustava cjelovitog i održivog gospodarenja otpadom. U sklopu takvog sustava od iznimnog značaja je i što bolja procjena količina generiranog komunalnog otpada o kojoj direktno ovisi i buduće planiranje u sektoru gospodarenja otpadom. Jedan od načina procjene je i primjena umjetne inteligencije, odnosno neuronskih mreža. Model za procjenu količina generiranog komunalnog otpada primjenom neuronskih mreža uzima u obzir, pored dosadašnjih tokova i količina komunalnog otpada, i podatke indirektno vezane uz sam proces gospodarenja otpadom. U obzir se uzima socio-ekonomski utjecaj (broj kućanstava, ekonomska kretanja i sl.), budući da i ti parametri značajno utječu na proces stvaranja otpada. Kod razvoja modela procjene upotrebljavaju se raspoloživi podaci o kretanjima količina karakterističnih tokova komunalnog otpada. Imajući u vidu dinamičnost i nelinearnost procesa generiranja otpada, očekuje se da će razvijeni modeli značajno poboljšati procjenu generiranja komunalnog otpada što će zasigurno doprinijeti boljem planiranju izgradnje objekata za gospodarenje otpadom, a u cilju zadovoljavanja preuzetih EU obveza.

Ključne riječi: *gospodarenje otpadom, generiranje komunalnog otpada, neuronske mreže,*

ABSTRACT:

Current EU legislation on environmental protection, which has been already implemented in the Republic of Croatia's national legislation, is aimed to introduce the integrated and sustainable waste management. One of the priorities within such a system is a more accurate and dependable estimation of generated waste quantities, which is directly related to the planning in the waste management sector. One of the possible solutions is utilization of artificial intelligence, i.e. neural networks.

Model for estimation of the amounts of generated municipal waste using the neural networks is taking into account the current waste streams and quantities of municipal as well as separately collected waste. Besides the input data related to the process of waste management, socio-economic impact (number of households, economic trends, etc.) will be taken into account, because it has been observed that these aspects significantly affect the process of waste generation. Development of the model will use actual data of various waste streams. Having in mind the dynamics and non-linearity of the process of waste generation, it is

expected that the developed model and its application will significantly improve assessment of waste generation process which will certainly contribute to better planning of the future waste management facilities in order to fulfil EU obligations.

Keywords: *waste management, waste generation, neural networks*

1. UVOD

Jedan od najznačajnijih i najvidljivijih dokaza ljudske egzistencije je otpad. Zakonska regulativa Europske unije u području zaštite okoliša, koju je Republika Hrvatska implementirala u nacionalno zakonodavstvo, ima za cilj uvođenje cjelovitog i održivog gospodarenja otpadom. Zbog takvog načina gospodarenja otpadom određene frakcije otpada postale su resurs, odnosno sirovina za materijalnu ili energetske uporabu. Pored provođenja mjera vezanih uz prevenciju nastajanja otpada i povećanje stupnja recikliranja (putem odvojenog sakupljanja/sekundarne separacije) otpada, jedan od većih zahtjeva je i smanjenje otpada koji se odlaže na odlagalištima. To je moguće ispuniti jedino što boljim planiranjem budućih objekata vezanih uz gospodarenje otpadom, a oni su usko vezani uz količine otpada koji se generira. Ovo naročito dolazi do izražaja u velikim gradovima gdje gospodarenje komunalnim otpadom predstavlja jedan od najvećih ekoloških, a time i ekonomskih izazova, prvenstveno iz razloga što takvi objekti moraju biti održivi u svakom pogledu (ekološkom, ekonomskom, društvenom i sl.).

Pri praćenju generiranja komunalnog otpada, prevencije nastajanja otpada te usporedbe njegovih različitih ekonomskih i ekoloških utjecaja, uz prikupljanje i obradu samih podataka, istraživanja u sektoru zaštite okoliša usmjerena su na razvoj modela optimiranja trenutnog načina gospodarenja otpadom. Neka od dosadašnjih istraživanja [1,2] bave se predviđanjem i razvojem modela generiranja komunalnog otpada i ne oslanjaju se na parametre vezane direktno uz same aktivnosti u gospodarenju otpadom, već i na demografsko-ekonomska kretanja ili moguća poboljšanja vezana uz skupljanje i odvoz otpada, kao što je planiranje i optimizacija postojećih i novih ruta komunalnih vozila.

U procesu praćenja generiranja komunalnog otpada prikupljaju se i pohranjuju velike količine podataka (vrsta i količine otpada, tokovi nastajanja, način i učestalost skupljanja, broj proizvođača otpada, vrste i načini obrade otpada i sl.), što otvara mogućnost za njihovu primjenu i analizu te razvoj modela za procjenu budućih trendova. Iz tog razloga je izrazito bitno da se svi prikupljeni podaci prethodno obrade kako bi se mogli adekvatno analizirati. Prilikom razvoja modela treba uzeti u obzir i činjenicu da je, pored aktivnosti vezanih uz samo gospodarenje otpadom, izrazito bitan i socio-ekonomski utjecaj (demografska i ekonomska kretanja i sl.) kao glavni determinatori količine proizvedenog komunalnog otpada. Socio-ekonomski utjecaj najviše je izražen u velikim urbanim sredinama budući da je u takvim sredinama i najveća proizvodnja otpada, a direktno utječe i na samu kvalitetu proizvedenog otpada.

U Republici Hrvatskoj je potreba za što preciznijom procjenom generiranog komunalnog otpada posebno došla do izražaja u posljednjih nekoliko godina kad je unatoč istovjetnim načinima gospodarenja otpadom (najveći dio skupljenog komunalnog otpada i dalje se odlaže) došlo do smanjenja ukupnih količina generiranog komunalnog otpada uslijed ekonomske krize. Prema dostupnim saznanjima, kapaciteti objekata za obradu otpada nisu adekvatno planirani pa se danas nazire bojazan od eventualne prekapacitiranosti budućih centara za gospodarenje otpadom.

Iz svega gore navedenog da se zaključiti da je za identifikaciju procesa i budućeg generiranja komunalnog otpada potrebno primijeniti drukčiji pristup utemeljen na modelima i softverskim rješenjima koji omogućuju precizniju procjenu budućih količina otpada. Same metode procjene uglavnom su linearnog ili nelinearnog karaktera, sa svim svojim prednostima i nedostacima.

Linearne metode imaju ograničenu primjenu zbog nelinearnosti većine procesa, a dok nelinearne mogu biti:

- nelinearne tehnike regresijske analize,
- tehnike umjetne inteligencije (neuronske mreže),
- metoda parcijalnih najmanjih kvadrata (PLS - Partial Least Squares),
- nelinearne tehnike parcijalnih najmanjih kvadrata (NLPLS);

Kod razvoja modela procjene izrazito je važno, osim velikog broja ulaznih varijabli vezanih uz generiranje otpada (proizvođači otpada, količine miješanog komunalnog otpada, vrste i količine odvojeno skupljenog otpada, načini obrade i sl.) te različitih demografsko-ekonomskih parametara (broj stanovnika i kućanstava, godišnja kretanja ekonomskih pokazatelja i sl.), i povijesno praćenje ulazno/izlaznih podataka te istovremena simulacija i obrada u sustavu kao cjelini. Jedan od takvih pristupa i načina razvoja modela procjene je korištenje neuronskih mreža u sektoru gospodarenja otpadom.

2. MOGUĆNOST PRIMJENE NEURONSKIH MREŽA

Neuronske mreže su dio kompjuterskih znanosti koja se bavi dizajnom inteligentnih kompjuterskih sustava, odnosno karakteristika koje pridružujemo inteligentnom ljudskom ponašanju te su relativno noviji način primjene informatičkih tehnologija u cilju rješavanja raznih kompleksnih zadataka, a njihova primjena kao metode razvoja modela procesa s nelinearnom zavisnošću ulazno/izlaznih varijabli detaljno je opisana i u literaturi [3]. To je u biti računski sustav sačinjen od nekog broja jednostavnih, visokopovezanih „čvorova“ ili procesuirajućih elemenata koji obrađuju podatke po njihovom dinamičkom odgovoru na vanjske ulaze, a sastoji se od niza visokopovezanih i međusobno ovisnih „čvorova“ koji matematički međudjeluju i tako na temelju ulaznih parametara daju makroskopsku sliku izlaza, bez korisnikovog znanja o međusobnom utjecaju. Neuronske mreže se sastoje od tri glavna sloja:

- ulazni sloj: prima podatke iz vanjskog izvora i prosljeđuje ih mreži,
- skriveni sloj: prima podatke iz ulaznog sloja i „tiho“, bez korisnikovog poznavanja međudjelovanja, obrađuje informacije i računa izlaze,
- izlazni sloj: prima obrađene podatke iz cijele mreže i prikazuje podatke odnosno prosljeđuje ih;

Kompleksna struktura neuronske mreže naglasak stavlja na njihovu paralelnu arhitekturu te sam postupak identifikacije i razvoja nelinearnih sustava. Problem nedostatnosti podataka potrebnih za učenje i ocjenu valjanosti neuronskih mreža, odnosno nedovoljno velikog skupa podataka koji opisuju strukturu mreže određuje se primjenom statističkih metoda.

Primjena neuronskih mreža u procesima vezanim uz gospodarenje otpadom izrazito je vezana uz statističku obradu dobivenih podataka o generiranom otpadu te međusobnu povezanost unutar susjednih slojeva neuronskih mreža i primjenu različitih struktura prilikom izrade modela za procjenu generiranja komunalnog otpada. Naročito je bitno navesti da primjena modela neuronskih mreža ima veliku prednost zbog brže obrade i veće pouzdanosti za kontinuirano praćenje procesa generiranja komunalnog otpada, što je detaljno objašnjeno u stručnoj literaturi [4].

Softverska rješenja i njihova primjena u sektoru gospodarenja otpadom trebaju dovesti do značajnog poboljšanja praćenja procesa generiranja otpada, a optimiranje modela za procjenu generiranog komunalnog otpada poboljšat će učinkovitost, te vođenje i planiranje ovakvih složenih sustava. Zbog sve strožih zahtjeva iz područja zaštite okoliša i zadovoljavanja propisa u zadanom roku, primjena rezultata dobivenih istraživanjem direktno će utjecati na ekološke i ekonomske koristi u sektoru gospodarenja otpadom.

Također, zbog kompleksnosti procesa praćenja tokova komunalnog otpada (kao npr. prateći listovi za svaku vrstu otpada, vođenje očevidnika i sl.), potencijalno se može stvoriti pogreška u sustavu evidentiranja komunalnog otpada te je stoga što preciznije vođenje i analiza tokova otpada iznimno bitno. Isto tako, iako se redovito prate ključne veličine u procesu ponekad se javlja i nedostatak pojedinih veličina bitnih za modeliranje procesa procjene, a što se uglavnom rješava primjenom neke od metoda generiranja podataka, kao što su metode bazirane na vjerojatnosti ili na kriteriju najveće sličnosti.

U svrhu razvoja i optimizacije modela za procjenu generiranja komunalnog otpada primjenom neuronskih mreža potrebno je:

- utvrditi ulazne čimbenike koje utječu na proces generiranje komunalnog otpada,
- izraditi modele procjene primjenom neuronskih mreža,
- analizirati i pratiti pouzdanost razvijenih modela,
- optimirati parametre modela;

Nakon navedenih pripremnih radnji kao sljedeći korak uglavnom je izrada modela neuronske mreže kao nelinearne metode predviđanja odabranih veličina. Razvoj i optimiranje modela provodi se primjenom softverskih alata za modeliranje i simuliranje modela neuronskih mreža, a najčešće se sastoji od:

- Analiza ulaznih varijabli koje utječu na proces generiranja komunalnog otpada te proučavanje tokova raznih vrsta otpada,
- Analiza sustava praćenja i evidencije vrsta i količina komunalnog otpada,
- Analiza ostalih ulaznih varijabli koje utječu na proces,
- Odabir i obrada podataka potrebnih za analizu,
- Generiranje potrebnih podataka u svrhu razvoja modela,
- Analiza osjetljivosti ulazno/izlaznih varijabli procesa te njihova međudjelovanja,
- Računalna simulacija modela,
- Optimizacija i procjena parametara modela,
- Usporedba i ocjena valjanosti dobivenih modela,
- Izrada softverske aplikacije modela,
- Analiza mogućnosti primjene razvijenog modela procjene;

Neuronske mreže, kao jedan od načina izrade modela procesa s nelinearnom zavisnošću ulaznih i izlaznih varijabli, imaju prednost zbog mogućnosti implementacije kompleksnih struktura, paralelno regulirane arhitekture te svojih validacijskih performansi kao potvrde samog modela.

3. ZAKLJUČAK

U cilju unaprjeđenja sustava cjelovitog i održivog gospodarenje komunalnim otpadom, a u skladu sa zahtjevima europskog i nacionalnog zakonodavstva, od izrazite važnosti je pouzdana procjena količina generiranog komunalnog otpada.

Primjena neuronskih mreža za procjenu generiranja otpada je jedan od načina određivanja budućih tokova otpada gdje je izrazito bitno što preciznije određivanje ključnih parametara a razvijeni modeli i softverska rješenja se moraju oslanjati, osim na veliki broja ulaznih varijabli, i na povijesno praćenje ulazno/izlaznih demografsko-ekonomskih podataka.

Također, njihova primjena u procesima vezanim uz gospodarenje otpadom ima za rezultat bržu obradu podataka te veću pouzdanost kontinuiranog praćenja generiranja otpada.

4. REFERENCE

- [1] Zorpas, K. Lasaridi, Measuring waste prevention, *Waste Manag.* 33 (2013) 1047-1056.
- [2] S. Lebersorger, P. Beigl, Municipal solid waste generation in municipalities: Quantifying impacts of household structure, commercial waste and domestic fuel, *Waste Management* 31 (2001) 1907–1915.
- [3] J. Zupan, Introduction to Artificial Neural Network (ANN) methods: What they are and how to use them, *Acta Chim. Slov.* 41 (1994) 327-352.
- [4] D. Antanasijević, V. Pocajt, I. Popović, N. Redžić, M. Ristić, The forecasting of municipal waste generation using artificial neural networks and sustainability indicators, *Sustain. Sci* 8 (2013) 37–46.

**PROCJENA UTJECAJA TRENUTAČOG GOSPODARENJA KOMUNALNIM KRUTIM
OTPADOM NA DEPONIJU U BANALUCI SA PREPORUKAMA ZA DALJNI RAD U CILJU
SMANJENJA UTJECAJA NA OKOLIŠ**

IMPACT ASSEMET OF CURRENT COMMUNAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM
AT LANDFILL BANJALUKA WITH RECOMMENDATIONS FOR FURTHER WORK IN ORDER
TO REDUCE ENVIRONMENTAL IMPACT

**mr. sc. Draženko Bjelić ^{*1}; prof. dr. Ljiljanja Vukić¹; prof. dr. Anđelka N. Mihajlov ²;
mr. sc. Dragana Nešković-Markić³; mr. sc. Željka Šobot-Pešić³**

¹ Tehnološki fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

² Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija

³ Ekološki fakultet, Nezavisni univerzitet Banja Luka, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

*e-mail kontakt: drazen_bj@yahoo.com

SAŽETAK

Trenutni način gospodarenja komunalnim krutim otpadom na deponiju u Banjaluci nije u skladu sa EU standardima. U radu je opisan trenutačni sistem gospodarenja komunalnim krutim otpadom. Na deponij se godišnje odloži oko 100 000 tona miješanog komunalnog krutog otpada.

Otpad se odlaže na uređenu sanitarnu kazetu. Na deponiju postoji sistem za tretman procjednih voda, a u toku je izgradnja sistema za sakupljanje i tretman deponijskog plina. Trenutačni utjecaj deponija na okoliš izvršen je pomoću procjene životnog ciklusa (eng. life cycle assessment-LCA).

Kategorije utjecaja podijeljene su na standardne i toksične. Rezultati pokazuju da najveći utjecaj deponija na okoliš proizilazi od odlaganja otpada. Rezultati LCA modelovanja pokazuju da se sakupljanjem deponijskog plina znatno smanjuje utjecaj deponija na okoliš (negativne vrijednosti za kategoriju globalno zatopljanje), jer se nastali metan ne ispušta u atmosferu.

Ključne riječi: *kruti otpad, gospodarenje otpadom, LCA*

ABSTRACT

The current method of communal solid waste management at the Landfill Banjaluka is not in line with EU standards. In the article is presented current waste management system at the Landfill. Annually about 100 000 tons of solid waste are landfilled. The waste is landfilled at sanitary cell. There is a system for leachate treatment and construction of for landfill gas collection system is on going. The current environmental impact is performed by a life cycle assessment (LCA).

Impact categories are divided into standard and toxicity categories. The biggest impact on environment is caused by landfilling of waste. LCA results shows that gas collection will significantly reduce environmental impact(negative value of global warming) due to produced methane is not going into atmosphere.

Key words: *solid waste, waste management, LCA*

1. UVOD

Banjalučki deponij se nalazi 13 km sjevero-zapadno od Grada Banja Luka. Od 2004. godine deponij radi kao regionalni deponij za Grad Banja Luka i sedam okolnih općina. Na deponiju se godišnje odloži oko 100 000 tona komunalnog krutog otpada. Otpad se odlaže u sanitarnu kazetu koja ima izgrađen donji brtveni sloj. Deponiji ima i sustav za tretman procjednih voda pomoću reverzne osmoze. Ne postoji izgrađen sustav za sakupljanje i tretman deponijskog plina.

U zadnjih dvadeset godina prošlog stoljeća okolišna analiza proizvoda postala je aktualna tema, jer su potrošači zahtijevali informacije o okolišnim posljedicama nastalim njihovim korištenjem.

U proteklih petnaest godina LCA je našla široku primjenu u gospodarenju otpadom omogućivši nove uvide u okolišne aspekte upravljanja otpadom. Kod proizvoda, LCA se obično fokusira na proizvodnju i fazu upotrebe proizvoda, dok se otpad često tretira kao izlazni rezultat produktivnog sistema, za koji se daljnji okolišni utjecaji ne uzimaju u obzir. Međutim, za LCA upravljanja otpadom, kraj života proizvoda je primarni fokus.

2. METODOLOGIJA

Cilj ovog rada je da se što tačnije procijeni opterećenje okoliša prouzrokovanog trenutačnim načinom gospodarenja komunalnim krutim otpadom na deponiju pomoću LCA i da se daju preporuke za daljnji rad kroz analizu dva nova scenarija.

Za LCA analizu je korišten EASETECH model (eng. Environmental Assessment System for Environmental TECHNOlogies). Model je razvijen na Tehničkom Univerzitetu u Danskoj. Ovaj model je poboljšana verzija LCA modela EASEWASTE [6]. EASETECH omogućava poređenje različitih sustava gospodarenja otpadom, metoda tretmana otpada i tehnologija kvantifikujući utjecaj na okoliš i potrošnju resursa [1,15].

Funkcionalna jedinica za LCA korištena u ovom radu je 100 000 tona vlažnog komunalnog krutog otpada prosječne dubine 20 m tokom 100 godina. Pored otpada na deponij ulaze i druge sirovine kao što su dizel gorivo za rukovanje specijalnih mašina, električna energija, glina, zemljište i plastični materijali za površinsko i bočno prekrivanje [8].

Ocjenjivanje životnog ciklusa je usaglašeno sa standardom ISO 14040:2008 [3,6]. Kriterijumi ocjenjivanja LCA obuhvataju nekoliko kategorija utjecaja na okoliš[4,10]. U tablici 1 su prikazane kategorije utjecaja koje zasnovane na EDIP metodu (Environmental Decision support tool for Industrial Products) [14]. Svi utjecaji su normalizovani u ekvivalenciju po čovjeku (eng. personal equivalence - PE), koja je prosječna vrijednost za godišnje opterećenje u toj kategoriji utjecaja svih aktivnosti i potrošnje po jednoj osobi (PE) [5].

Tablica 1. Kategorije utjecaja i normalizirane reference

Kategorije utjecaja	Jedinica	Skala	Normalizirana referenca
Globalno zagrijavanje GW	kg CO ₂ -eq.	Globalno	8700
Acidifikacija AC	kg SO ₂ -eq.	Regionalno	74
Nastanak fotohemijskog ozona POF	kg C ₂ H ₄ -eq.	Regionalno	25
Obogaćenje nutrijentima NE	kg NO ₃ ⁻ -eq.	Regionalno	119
Toksičnost na čovjeka, zrak HT _a	m ³ vazduh	Regionalno	2090000000

Toksičnost na čovjeka, voda HT _w	m ³ vode	Regionalno	179 000
Ekotoksičnost, voda hronična ET _{wc}	m ³ voda	Regionalno	352 000

Standardne kategorije utjecaja su: globalno zagrijavanje (eng. *global warming* - GW), acidifikacija (eng. *acidification* - AC), nastanak fotohemijskog ozona (eng. *photo-chemical ozone formation* - POF) i obogaćivanje nutrijentima (eng. *nutrient enrichment* - NE) [1,11]. Toksične kategorije utjecaja su: toksičnost na čovjeka putem zraka (eng. *human toxicity via air* - HT_a), toksičnost na čovjeka putem vode (eng. *human toxicity via water* – HT_w) i ekotoksičnost vode hronična (eng. *eco-toxicity water chronic* - ET_{wc}) [4,11].

Kroz LCA analizu su obrađena tri scenarija:

Scenarij A

Ovaj scenarij opisuje trenutno stanje u gospodarenju komunalnim krutim otpadom. Sav otpad se odlaže na deponij koji ima izgrađen donji brtveni sloj, sustav za sakupljanje i tretman procjednih deponijskih voda. Procjedne deponijske vode se sakupljaju odvojeno od oborinskih voda, i obrađuju u postrojenju za prečišćavanje na principu reverzne osmoze. Tehnički podaci o nastanku, sakupljanju i upravljanju procjednim vodama se baziraju na Manfredi and Christensen [9]. Na ovom deponiju još nije izgrađen sustav za sakupljanje i tretman deponijskog plina, koji se putem perforiranih cijevi ispušta direktno u atmosferu, kao i plinovi koji se izdvajaju sa neprekrivenog dijela deponija.

Scenarij B

Scenarij B opisuje upravljanje deponijem u bliskoj budućnosti. Naime, u toku su radovi na izgradnji sustava za sakupljanje deponijskog plina i njegovog spaljivanja na baklji. Ovaj scenarij ustvari opisuje uobičajenu tehnologiju deponiranja otpada, koja podrazumijeva sljedeće tehničke mjere: izgradnja donjeg brtvenog sloja, sakupljanje i tretman procjednih deponijskih voda, te izgradnju završnog prekrivnog sloja preko odloženog otpada sa sistemom za sakupljanje i spaljivanje deponijskog plina.

Ovim scenarijom je predviđeno da se sakuplja oko 70 % deponijskog plina tokom prvih 40 godina eksploatacije deponija. Sakupljeni deponijski plin se spaljuje na baklji. Preostalih 30% deponijskog plina koji se ne uspije sakupiti se ispušta, odnosno oksidiše na površini deponija. Upravljanje procjednim vodama kao i ulaz pomoćnih sirovina kao što je dizel gorivo, električna energija, glina, zemljište i plastični materijali su opisani u Scenariju A.

Scenarij C

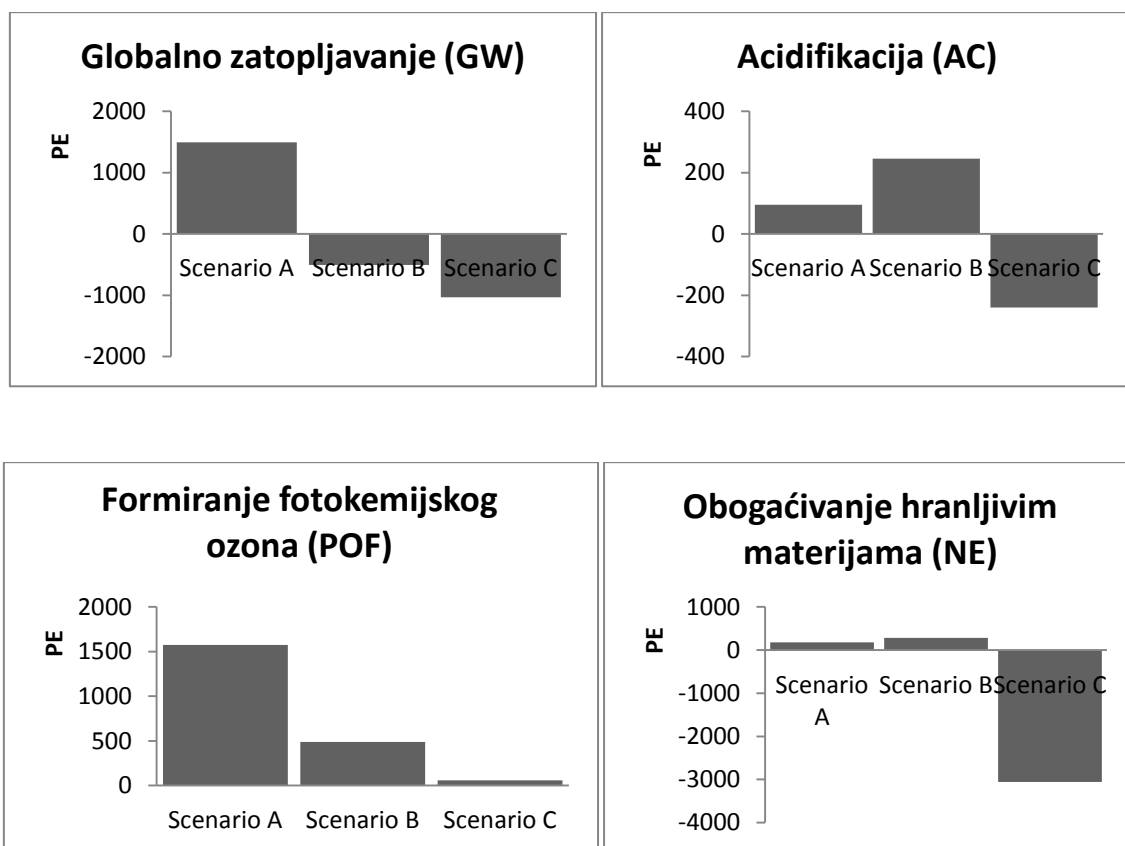
Ovaj scenarij podrazumijeva naredne korake u gospodarenju otpadom u banjalučkoj regiji, kada se izvrše i završni radovi na sanaciji deponija. Naredni korak u unapređenju sustava gospodarenja komunalnim krutim otpadom je izdvajanje korisnih komponenti iz otpada kao što su papir, plastika i staklo. U ovom scenariju nije obuhvaćana reciklaža metala. Iz razloa loših socio-ekonomskih prilika stanovništvo iz kontejnera uzima metal i dalje plasira na tržište sekundarnih sirovina. Scenarij predviđa da se sakupljeni papiri i karton koriste za proizvodnju kartona, staklo se lomi i koristi u proizvodnji novih boca, a plastika za dobijanje granulata. Podaci o procesu rekilaže, kao i gubitcima u reciklažnom lancu, a koji su korišćeni u ovom radu, su bazirani na Bernstad et al. [2]. U ovom scenariju je predviđeno da se od ukupne količine

papira, plastike i stakla u komunalnom otpadu izdvoji i preradi 22.6% ($3.11 \cdot 10^3$ t papira, $2.72 \cdot 10^3$ t plastike i $1.84 \cdot 10^3$ t stakla).

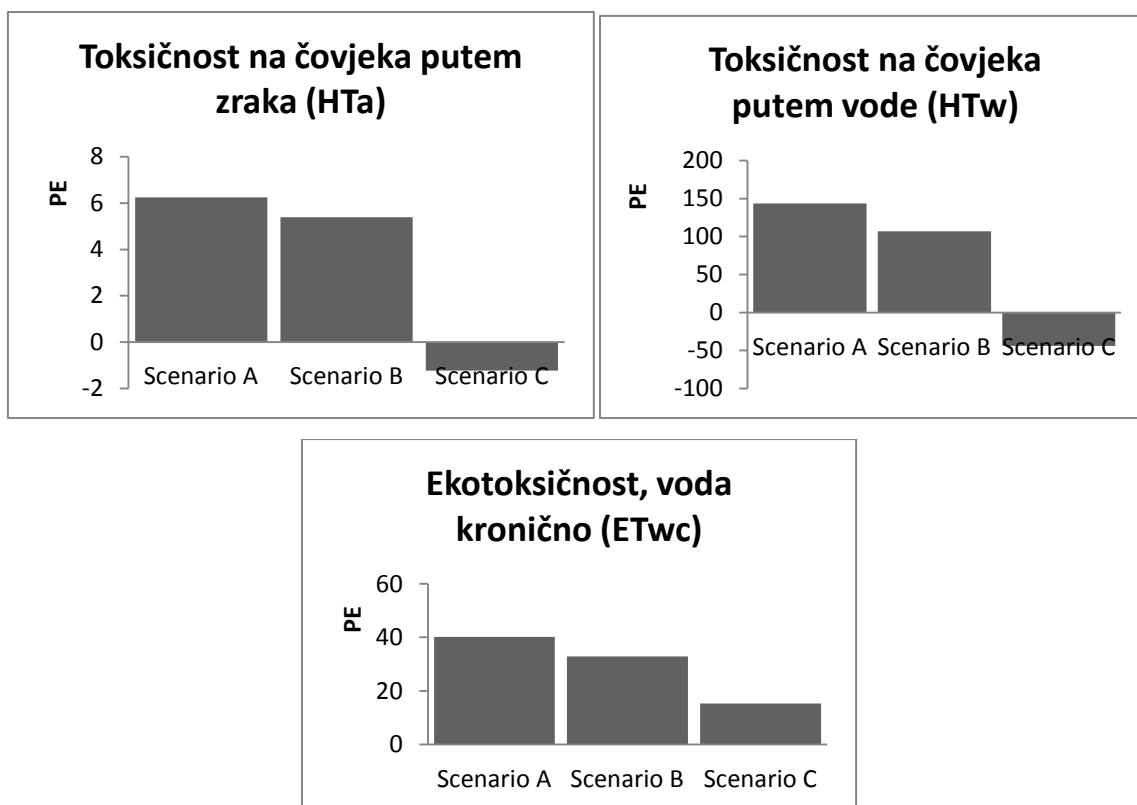
Ostatak otpada se dalje upućuje na deponij. U ovom scenariju je predviđeno da je to deponij opisan u Scenariju B.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati procjene utjecaja za sva tri scenarija su prikazani na slikama 1 i 2. Kategorije utjecaja su prikazane kao normalizirani potencijali utjecaja u jedinici PE za 100 000t vlažnog komunalnog krutog otpada. Slika 1 prikazuje LCIA za tri scenarija sa aspekta standardnih kategorija utjecaja na okoliš (GW, AC, POF, NE), a na slici 2 su prikazane toksične kategorije utjecaja (HT_a , HT_w , ET_{WC}).



Slika 1. LCIA za standardne kategorije utjecaja



Slika 2. LCIA za toksične kategorije utjecaja

Poredeći rezultate acidifikacije za scenarij A i Scenarij B možemo da uočimo jednu nepravilnost. Naime, vrijednost acidifikacije za deponij kod koga nije uspostavljen sustav sakupljanja i tretmana deponijskog plina (Scenario A) iznosi 94.79 PE, a za deponij kod koga je izgrađen ovaj sustav (Scenario B) iznosi 245.9 PE. Naime, na acidifikaciju utiču sljedeći parametri SO_2 , NO_x , NH_3 , H_2S i HCl [5]. Za scenarije A i B zajednički je doprinos acidifikaciji od strane izgradnje i upravljanja deponijem i iznosi 88 PE, dok je za Scenarij B još daleko značajniji utjecaj na acidifikaciju od strane spaljivanja plina na baklji i iznosi 151 PE. U scenarij A najveći doprinos acidifikaciji se odnosi na NO_x (76.63 PE), a manji udio SO_2 (17.74PE), dok u scenariju B skoro isti udio u acidifikaciji imaju NO_x (122 PE) i SO_2 (123.4 PE). Negativna vrijednost acidifikacije je u Scenariju C(-240.1 PE), odnosno uvođenjem reciklaže imamo korist sa aspekta zaštite okoliša.

Poredeći potencijal globalnog zagrijavanja u sva tri scenarija, možemo vidjeti da je najveći udio od strane Scenarija A (1491 PE), a uštede i koristi u Scenariju B (-506 PE) i Scenariju C (-1033 PE). Deponijski plin se sastoji od metana (50-60%), ugljendioksida (40-50%) i mnoštva jedinjenja u tragovima (Spokas et al. 2006). Scenarij A ima najveći doprinos globalnom zagrijavanju, jer se deponijski plinovi direktno ispuštaju u atmosferu. Najveći udio globalnom zagrijavanju u Scenariju A se odnosi na metan i na proces oksidacije metana na površini deponije. Dominantan razlog je velika količina oslobođenog metana, koji ima 25 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od ugljendioksida.

Na potencijal formiranja fotokemijskog ozona najveći udio se odnosi na VOC (volatilna organska jedinjenja), CO i metan. Vrijednosti POF u sva tri scenarija su pozitivne, a najveća vrijednost je u scenariju A (1574 PE). U ovom scenariju učešće u velikoj vrijednosti POF ima

metan (760.5 PE), toluen (35.53 PE), ksilen (39.07 PE), nemetanski VOC (20.72 PE) i propan (2.17 PE), odnosno procesi oksidacije na površini deponije.

Na potencijal obogaćivanja hranljivim materijama, Scenarij C, odnosno kombinacija reciklaže i deponovanja, ima negativne vrijednosti (-3053 PE) i daleko je povoljniji od dva prethodna scenarija. Takođe, može se uočiti jedna nelogičnost gdje Scenarij B ima veću vrijednost NE (284 PE) u odnosu na Scenarij A (179.4 PE). Jedinični procesi koji imaju najveće utjecaje u Scenariju B na NE su izgradnja i upravljanje deponijom (172 PE) kao i proces spaljivanja gasa na baklji (104 PE). Jedinjenja koja se pri tome izdvajaju kao što su N₂O (164 PE) i NO_x (281 PE) su glavni izvor obogaćivanja hranljivim materijama. Jako mali udio se odnosi na fosfate, nitrati i amonijačni plin.

Scenarij C ima najbolje performanse sa aspekta HTw i ETwc. U prva dva scenarija procesi koji su najzaslužniji za HTw su oksidacija gasa na površini deponija, nesakupljene procjedne vode koje se ispuštaju u površinske i podzemne vode, te izgradnja i upravljanje deponijom. Najveće učešće u HTw ima živa u Scenariju A (112 PE) kao i u Scenariju B (75 PE), dok je značajan utjecaj i Zn, Pb i Cd. Na potencijal ETwc u Scenarijima A i B najviše imaju procesi tretmana procjednih deponijskih voda i ispuštanje procjednih voda u okoliš, te doprinos sljedećih komponenti: Cd, Cu, Zn i fenoli.

Za HTa najbolje performance, odnosno negativnu vrijednost ima Scenarij C (-1.235 PE), dok Scenarij A (6.25 PE) i Scenarij B (5.39 PE) imaju pozitivne vrijednosti. Za prva dva scenarija najveći udio u HTa imaju procesi oksidacije na površini deponija i komponente koje imaju najveći udio su NO_x, Cd(u zraku), te benzen.

4. ZAKLJUČAK

U radu je na osnovu LCA izvršena procjena utjecaja na okoliš trenutnog načina gospodarenja komunalnim krutim otpadom na banjalučkom deponiju, kao i procjena utjecaja za dva scenarija čija primjena bi dovela do poboljšanja uslova, tj. do smanjenja negativnog utjecaja na okoliš.

Dobijeni rezultati ukazuju da trenutni način gospodarenja otpadom ima najveći utjecaj na okoliš u standardnim kategorijama GW i POF, kao i u toksičnim kategorijama kroz kategorije HT_A, HT_W i ETwc. Na povećanje GW i POF najveći utjecaj ima nesakupljeni metan i oksidacija deponijskih plinova na površini deponija. Rezultati pokazuju da se sakupljanjem i spaljivanjem deponijskih plinova na baklji znatno smanjuje utjecaj na okoliš, jer se nastali metan i ostali deponijski plinovi ne ispuštaju direkto u atmosferu.

Standardne kategorije utjecaja za reciklažu(scenarij C) imaju negativne vrijednosti za standardne kategorije utjecaja, osim za POF i doprinose uštedama u emisijama u okoliš. Također, ovaj scenarij ima i najmanje kategorije utjecaja za toksične kategorije utjecaja.

5. LITERATURA

- [1] Bhandar G.S., Christensen T.H., Hauschild M.Z.: EASEWASTE - life cycle modeling capabilities for waste management technologies, International Journal of Life Cycle Assessment, 15(4) (2010) 403-416.
- [2] Bernstad A., Jansen J.L.C. and Aspergren: Life cycle assessment of a household solid waste source separation programme: a Swedish case study. Waste management and research 29(10) (2011), 789-799.

- [3] Carapina H. S., Stepanov J., Savic D., Mihajlov A.: Emission of toxic components as a factor of the best practice options for waste management - application of life cycle assessment, *Hem. Ind.*, 65 (2) (2011) 205-209.
- [4] Christensen T.H., Bhandar G., Lindvall H., W.Larsen A., Fruergaard T., Damgaard A., Manfredi S., Boldrin A., Riber C., Hauschild M.: Experience with the use of LCA-modeling (EASEWASTE) in waste management, *Waste Management and Research*, 25 (2007) 257-262.
- [5] Dong J., Chi Y., Zou D., Fu C., Huang Q. and Ni M.: Comparison of municipal solid waste treatment technologies from a life cycle perspective in China, *Waste management and research* 32(1) (2014), 13-23.
- [6] Kirkeby J.T., Birgisdottir H., Hansen T.L., Christensen T.H., Bhandar G.S., Hauschild M.: Environmental assessment of solid waste system and technologies: Easewaste, *Waste Management and Research*, 24 (2006) 3-15.
- [7] F.E.Kiš, G.C. Bošković: Ocenjivanje utjecaja životnog ciklusa biodizela ReCiPe metodom, *Hem. Ind.*, 67(4) (2013) 601-613
- [8] Manfredi S., Tonini D., Christensen T.H.: Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste, *Waste management* 30(2010), pp 433-440
- [9] Manfredi S. and Christensen T.H.: Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling, *Waste management* 29(2009), 32-43.
- [10] Manfredi S., Niskanen A., Christensen T.: Environmental assessment of gas management options at the Old Ammassuo landfill (Finland) by means of LCA-modeling (EASEWASTE), *Waste Management*, 29 (2009) 1588-1594.
- [11] Niskanen A., Manfredi S., Christensen T.H., Anderson R.: Environmental assessment of Ammassulo landfill (Finland) by means of LCA-modeling (EASEWASTE), *Waste Management and Research*, 27 (2009) 542-550.
- [12] Spokas K., Bogner J., Chanton J.P., Morcet M., Aran C., Graff C., Moreau-Le Golvan Y. and Hebe I.: Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? *Waste management* 26(2006), 516-525.
- [13] Riber C., Bhandar G.S., Christensen T.H.: Environmental assessment of waste incineration in a life-cycle-perspective (EASEWASTE), *Waste Management & Research*, 26 (2008) 96-103.
- [14] Riber C., Bhandar G.S., Christensen T.H.: Environmental assessment of waste incineration in a life-cycle-perspective (EASEWASTE), *Waste Management & Research*, 26 (2008) 96-103.
- [15] Zhao Y., Damgaard A., Wang H.T., Lu W.J., Christensen T.H.: Life-cycle assessment of municipal solid waste management system in Hangzhou, China (EASEWASTE), *Waste Management and Research*, 27 (2009) 399-406.

**RAZUMIJEVANJE FENOMENA NOT-IN-MY-BACKYARD I NOT-IN-ANY-BACKYARD –
PRIMJER ŽUPANIJSKOG CENTRA ZA GOSPODARENJE OTPADOM U
BILJANIMA DONJIM**

UNDERSTANDING THE PHENOMENON NOT-IN-MY-BACKYARD AND NOT-IN-ANY-
BACKYARD – A CASE OF ZADAR COUNTY WASTE MANAGEMENT CENTRE IN
BILJANE DONJE

Andreja Pavlović, mag.nov.^{1*}; Mateja Terek, mag. pol^{1*}

¹ Hauska & Partner, Ilica 246a, Zagreb

*e-mail kontakt: andreja.pavlovic@hauska.com, mateja.terek@hauska.com

SAŽETAK

Još je u Strategiji gospodarenja otpadom RH za razdoblje 2005.-2025. utvrđeno da javnost prema otpadu ima pretežno negativan stav što rezultira neprijateljskim stavom prema lociranju građevina i postrojenja za gospodarenje otpadom. U proteklih nekoliko godina realizaciju gotovo svih centara za gospodarenje otpadom prati ne samo Not-in-My-Backyard (NIMBY) stav koji je vezan uz specifičnosti svakog pojedinog lokaliteta, već sve više i Not-In-ANY-Backyard (NIABY) stav kojim se izražava otpor konceptu gospodarenja otpada predviđenom Strategijom i Planom gospodarenja otpada RH, odnosno sve jače protivljenje izgradnji centara za gospodarenje otpadom s tehnologijom mehaničko-biološke i termičke obrade otpada bilo gdje u Hrvatskoj. Cilj je ovog rada na primjeru Županijskog centra za gospodarenje otpadom u Biljanima Donjim (ŽCGO) omogućiti dublje razumijevanje motiva i stavova dijela zainteresirane javnosti za iskazivanje ovih dvaju stavova. U tu će se svrhu provesti analiza stavova pojedinih građana, udruga i političara u javnosti tijekom i nakon postupka procjene utjecaja ŽCGO na okoliš. U izradi analize koristit će se slični parametri koji su i drugim zemljama EU prepoznati kao razlozi za izazivanje Not-in-My-Backyard i Not-In-ANY-Backyard stava.

Ključne riječi: pretežno negativan stav javnosti prema otpadu, stavovi Not-in-My-Backyard i Not-In-ANY-Backyard, analiza stavova

1. UVOD

Približavanjem rokova za uspostavljanje cjelovitog sustava gospodarenja otpadom u Hrvatskoj preuzetih tijekom pregovora za članstvo u Europskoj uniji ubrzavaju se aktivnosti na izgradnji centara za gospodarenje otpadom definiranih Strategijom i Planom gospodarenja otpadom RH. Paralelno s ubrzavanjem aktivnosti na izgradnji centara za gospodarenje otpadom jačaju i otpori jednog dijela javnosti i lokalnih zajednica vezano uz njihove lokacije i predviđene tehnologije obrade neopasnog krutog komunalnog otpada. Iako se u literaturi širom svijeta u posljednjih četrdesetak godina intenzivno obrađuje fenomen Not-In-My-Backyard (NIMBY) kojim se opisuje reakcije i ponašanja lokalnih zajednica prema objektima za koji postoji percepcija negativnog utjecaja na okoliš i zdravlje, među koje se ubrajaju i postrojenja za obradu različitih vrsta otpada, takvih radova u Hrvatskoj nema. Literatura se također bavi i ponašanjima lokalnih zajednica koje nije vezano uz specifične objekte već uz određena načela i uvjerenja kojima se

snažno izražava stav da građani imaju pravo sudjelovati u donošenju odluka o zaštiti okoliša (Freunderberg i Steinspair). Ovaj stav je odraz nepovjerenja u nadležna tijela da su sposobna zaštititi zdravlje lokalnih zajednica, pri čemu lokalne zajednice nude i alternativna rješenja u odnosu na predložena, čime počinju izražavati stav Not-In-Any-Backyard (NIABY).

U prvom se poglavlju ovaj rad detaljnije bavi fenomenom Not-in-My-Backyard i Not-In-ANY-Backyard upućujući na tijek njihova razvoja u drugim zemljama i dajući pregled definicija s ciljem boljeg razumijevanja koncepta i prijepora koji se vežu uz ove koncepte. Zatim se daje opis situacije vezano uz uspostavljanje cjelovitog sustava za gospodarenje otpadom i izgradnju centara za gospodarenje otpadom u Hrvatskoj i sve snažniji otpor dijela javnosti i lokalnih zajednica vezano uz lokacije centara i predviđeni koncept gospodarenja otpadom, a posebno uz njegove moguće utjecaje na okoliš i zdravlje. Slijedi kratki tijek projekta izgradnje ŽCGO u Biljanima Donjim u Zadarskoj županiji kao i prikaz rezultata analize stavova pojedinih građana, udruga i političara u javnosti tijekom i nakon postupka procjene utjecaja projekta na okoliš. U završnom dijelu donose se zaključci i daju preporuke za daljnja potrebna istraživanja.

2. OD NIMBY DO NIABY

Literatura upućuje da se kratica 'N(ot)-I(n)-M(y)-B(ack)-Y(yard)' prvi put spominje ranih 80-tih godina u SAD-u, dok se autorstvo ovog izraza pripisuje Walteru Rogersu iz American Nuclear Society¹. Njime se objašnjava ponašanje lokalnih zajednica prema objektima za koje postoji percepcija negativnog utjecaja na okoliš i zdravlje, ali i objekte kao što su ustanove za liječenje ovisnosti o drogama, mentalnih oboljenja, pritvora, centara za beskućnike (Schively, 2007.). U objekte za koje postoji percepcija negativnog utjecaja na okoliš i zdravlje u pravilu se ubrajaju pojedina industrijska i energetska postrojenja (Schively, 2007.), nuklearne elektrane, odlagališta opasnog otpada i postrojenja za termičku obradu otpada (spalionice otpada) (Rootes i Leonard, 2009.), a u posljednje vrijeme i vjetroelektrane (Smith i Klick, 2007., Barry et.al. 2008., Kolonas 2007.), postrojenja za obradu neopasnog krutog otpada (Peelle i Ellis, 1987), kao i kompostana protiv čije se izgradnje traži raspisivanje referenduma (business.hr, veljača 2014.)

Znanstveni radovi različito objašnjavaju ovaj izraz. U nekim se slučajevima objašnjava koncept (Aeschbacher, 2006.), a često ga se i kritizira zbog široke primjene kojom se opisuju različite vrste ponašanja poput Locally-Unwanted-Land-Uses (LULU), Not-In-My-Term-Office (NIMTOO), Build-Absolutely-Nothing-Anywhere-Near-Anyone (BANANA), Not-On-Planet-Eearth (NOPE), Citizens Against Virtually Everything (CAVE), itd.

To su razlozi zbog čega je ne samo otežano razlikovanje različitih vrsta protivljenja (neslaganja), već i motivacije. Wolsink (Wolsink, 2009.) je tako ne samo kritičan prema funkcioniranju prostornog planiranja, koje se po njemu temelji na ukorijenjenim pretpostavkama o ponašanjima, motivima i sklonostima sudionika uključenih u sukobe oko neke lokacije, već i prema sklonosti pojedinih autora za pojednostavljenim 'objašnjavanjem' motiva protivnika potrebom zaštite 'svojih dvorišta' ili sebičnošću dodjeljivanjem naljepnice NIMBY.

U pravilu literatura ovaj fenomen ne razmatra u kontekstu postupaka PUO koji se u SAD-u primjenjuju od 70-godina prošlog stoljeća, a u EU od 1985. donošenjem PUO direktive. Ne propituje se ni moguća uzročno-posljedična veza između ovih postupaka i nastajanja fenomena NIMBY ranih 80-godina, iako literatura o postupcima PUO upućuje da dominantno administrativni pristup „odluči-objavi-obrani“ koji se temelji na znanstvenoj i tehničkoj elaboraciji² često izaziva konfliktne situacije jer se različite skupine javnosti osjećaju onemogućene u

¹ http://etymonline.com/index.php?allowed_in_frame=0&search=NIMBY&searchmode=none

² Korijeni PUO sežu u racionalističke pristupe upravljanju u SAD-u 60-tih godina

smislenom sudjelovanju i donošenju odluka (Muro et.al., 2012.), što je također jedan od mogućih motiva za izazivanje NIMBY.

Da je ovo jedan od mogućih motiva za izazivanje NIMBY stava argumentira Kemp, na temelju studije slučaja reakcija lokalne zajednice o odlaganju radioaktivnog otpada, koji tvrdi da određeni 'strukturalni, institucionalni i kontekstualni čimbenici doprinose oblikovanju pojedinih vrsta zaključaka' (citirano u Burningham, 2006.), kao i rezultati istraživanja koje je Hauska & Partner provela u okviru partnerske suradnje s Hrvatskom udrugom stručnjaka za zaštitu prirode i okoliša sredinom 2013. To je istraživanje pokazalo da NIMBY stav izaziva zakonski okvir koji nositeljima zahvata nameće pristup 'odluči-objavi-obrani', kao i da je rezultat nepovjerenja u nadležna državna i lokalna tijela te nedovoljne informiranosti i straha od gubitka kvalitete života (Pavlović, Mikulić i Mateljak, 2013.)

Oxford English Dictionary (2006.) definira NIMBY kao stav i osobu (citirano u Aeschbacher, 2006.) Stav se pripisuje osobama koje se protive smještaju nečega što doživljavaju štetnim ili opasnim u svoju zajednicu, dok prešutno takvog protivljenja nema za slične projekte negdje drugdje. Osobe s takvim stavom su one osobe koje se protive realizaciji nekog projekta na lokalnoj razini. Ova definicija upućuje da neka osoba s NIMBY stavom nema ništa protiv nekog postrojenja i/ili tehnologije općenito, ali mu se/joj se protivi u neposrednoj blizini jer misli da ima štetan i opasan utjecaj. U ovoj definiciji važna je prostorna raspodijeljenost prihvaćanja i odbijanja, odnosno postavka da pojedinci važu percipirane troškove nekog objekta (postrojenja) u odnosu na koristi, što je ujedno i temelj za donošenje odluke o njegovom prihvaćanju ili odbijanju (Aeschbacher, 2006.). Drugim riječima, u slučaju NIMBY stava prevladava percepcija da je trošak nekog objekta (postrojenja) na lokalnoj razini veći od cjelokupne koristi društva.

Tablica 1. Percepcija troška i koristi vezano uz objekte (postrojenje)

Percepcija troška	Percepcija koristi
Mogući (negativni) utjecaji na zdravlje i okoliš	Nova radna mjesta
Pad kvalitete života zbog pojačane buke, mirisa, gužvi...	Prihodi lokalnih zajednica
Pad vrijednosti nekretnina	Razvoj infrastrukture
Lokalna zajednica neće biti u stanju spriječiti druge neželjene objekte (postrojenja)	Suradnja s lokalnim dobavljačima i izvođačima radova
Lokalna zajednica ima negativnih iskustava s drugim objektima (postrojenjima), željenim i neželjenim	Ekonomska stabilnost

Drugi pak autori poput Lobera i Greena (Lober i Green, 1994.) smatraju da je prostorna raspodijeljenost zapravo slabost ovakve definicije jer se njome pretpostavlja stav Yes-To-Someone-Else's-Backyard (YTSEBY), odnosno stav koji se može opisati kao 'ne u mojem dvorištu, ali u nečijem tuđem da'. Ovakav zaključak se izvodi na temelju rezultata pojedinih istraživanja javnog mnijenja vezano uz korištenje nuklearne tehnologije. Na primjer, devet nacionalnih istraživanja provedenih u SAD-u dosljedno su pokazala da je općenita podrška za nuklearnu energiju veća od podrške za specifična postrojenja, odnosno da je udio ispitanika koji bi bili spremni prihvatiti neki neželjeni objekt u svojoj blizini bio manji od udjela onih koji misle da bi takav objekt trebalo sagraditi bilo gdje drugdje. (Lindell i Earle, 1983.).

Sličan stav javlja se vezano uz korištenje obnovljivih izvora energije poput vjetra na kopnu i moru, solarne energije, energije vjetra, itd. Kao i u slučaju nuklearnih elektrana, iako je riječ o potpuno drugačijoj vrsti postrojenja, pokazuje se da iako javnost iskazuje visoku razinu slaganja o potrebi korištenja obnovljive energije u kontekstu borbe protiv klimatskih promjena i osiguranja

energetske sigurnosti, lokane zajednice se često protive izgradnji vjetroelektrana (Barry et.al., 2008.; Smith i Klick, 2008.)

Međutim, negativan stav prema nekom postrojenju koje se doživljava štetnim i nepoželjnim nije moguće sagledati isključivo iz perspektive stava 'da u nečijem tuđem dvorištu'. Autori poput Freudenberg i Steinspaura (Freudenberg i Steinspair,1992.) ukazuju na preobrazbu NIMBY stava u stav Not-In-Any-Backyard (NIABY) u okviru razvoja masovnog pokreta za zaštitu okoliša u SAD-u tijekom 80-tih godina. Ovaj pokret jača pojavljivanjem lokalnih aktivističkih grupa čija je primarna motivacija zaštita zdravlja obitelji, sugrađana i budućih generacija. Aktivistički angažman ovog pokreta usmjeren je na odlagališta toksičnog otpada, onečišćene vodovode, nuklearna i radioaktivna postrojenja, kao i prijedloge za izgradnju postrojenja za termičku obradu otpada (spalionice) i odlagališta opasnog otpada.

Iako su ove skupine heterogene, one ipak dijele određena načela i uvjerenja. One prvenstveno snažno vjeruju da građani imaju pravo sudjelovati u donošenju odluka o zaštiti okoliša, što je ujedno odraz i visoke razine nepovjerenja u nadležna tijela da su u stanju zaštititi zdravlje lokalnih zajednica. Jedini način zaštite je izravno zastupanje (obrana) svojih interesa, pri čemu su ove grupe nespремne trgovati dobrobiti zajednica na račun navodnih koristi u kojima će uživati društvo u cjelini. Osim što pokazuju snažno nepovjerenje prema nadležnim tijelima, ove grupe također iskazuju nepovjerenje prema znanstvenicima pri čemu rade razliku između znanstvenika koje angažiraju nadležna tijela i industrija te znanstvenika koji su spremni staviti na raspolaganje svoja stručna znanja kako bi podržali društvene ciljeve masovnog pokreta i pojedinih skupina.

Takvim angažmanom ove skupine izlaze iz okvira jednostavnog stava NIMBY pri čemu, zagovaranjem nekog drugog rješenja, nude alternativu kojom počinju izražavati stav NIABY. Primjerice, protiveći se izgradnji postrojenja za termičku obradu otpada, kao alternativu predlažu recikliranje (Lounsbury et.al., 2001.) i mjere za smanjivanje otpada (Freudenberg i Steinspair, 1992.), a u slučaju nuklearne energije prednost daju drugim oblicima energije (Pol et.al., 2005.). U ovakvom kontekstu pitanja zaštite okoliša povezuju se i s pitanjima socijalne pravde i jednakosti, pa tako primjena nove filozofije NIABY u masovnim pokretima za zaštitu okoliša počinje dobivati i političku dimenziju, ali taj aspekt još uvijek nije dovoljno istražen, posebno u okviru Europske unije.

3. IMA LI JAVNOST U HRVATSKOJ PRETEŽNO NEGATIVAN STAV PREMA OTPADU?

Strateški dokument gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (Strategija gospodarenja otpadom RH 2005.-2025.) u ocjeni tadašnjeg stanja utvrđuje da je stav javnost prema otpadu pretežno negativan, a sve društvene skupine u pravilu otpad i gospodarenje otpadom percipiraju kao problem, ali ne kao svoj, već tuđi. Dominantan način razmišljanja je da taj problem treba riješiti netko drugi: država, agencije, županije, gospodarstvo, itd. Gotovo sve ove skupine, ocjenjuje se dalje, spremne su djelovati samo kad su izravno ugrožene ili zainteresirane za rješavanje problema. Negativan stav prema otpadu dovodi do:

- Neprijateljskog stava prema smještaju građevina i svih postrojenja za gospodarenje otpadom, bilo da je riječ o reciklažnim dvorištima, odlagalištima ili postrojenju za termičku obradu otpada
- Konfliktnih situacija prilikom određivanja novih lokacija za bilo koju od građevina i postrojenje za gospodarenje otpadom, pa čak i onda kad treba sanirati postojeće neuređeno odlagalište.

- Redovitih sukoba među pojedinim skupinama koje često imaju sukobljene interese (državna tijela, lokalna uprava, gospodarstvenici, znanstvenici, stručnjaci, udruge, političke stranke, javna glasila, uža ili šira javnost, itd.).

Uzroke ovakvog stanja autori Strategije vide u nedovoljnom znanju i informiranost o problematici otpada, nepovjerenju, nedovoljnom sudjelovanju javnosti u procesima odlučivanja i nepostojanje jedinstvenog i transparentnog načina odštete zbog umanjene vrijednosti nekretnina. Planskim dokumentom gospodarenja otpadom iz 2007. definirano je da će se između ostalog sagledati pojam NIMBY-sindroma i uloga javnosti (Plan gospodarenja otpadom RH za razdoblje 2007-2015.).

Međutim, praksa pokazuje da u razdoblju nakon donošenja Strategije i Plana gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj pitanje NIMBY-sindroma i uloga javnosti isprva nisu privlačili pažnju stručnjaka, nadležnih tijela i javnosti. Jedan od razloga zasigurno leži u činjenici da se kasnilo s realizacijom centara za gospodarenje otpadom, iako se Hrvatska tijekom pregovora za članstvo u Europskoj uniji obavezala uspostaviti cjeloviti sustav gospodarenja otpadom do kraja 2018. Za većinu centara za gospodarenje otpadom, njih 21, lokacija je već bila određena Planom gospodarenja otpadom RH, ali sukobi oko njihovog smještaja javljaju se tek u kasnijim fazama njihove realizacije, u pravilu neposredno prije i tijekom postupaka procjene njihovog utjecaja na okoliš. Tako je primjerice lokacija Županijskog centra za gospodarenje otpadom Kaštijun (ŽCGO Kaštijun) definirana Prostornim planom tadašnje općine Pula još 1983., da bi lokacija bila potvrđena i Prostornim planom Istarske županije iz 2002., a zatim i prostornim planovima Grada Pule i Općine Medulin 2006.

Međutim, paralelno s pripremama za početak izgradnje ŽCGO Kaštijun od 2008. javljaju se prvi značajniji otpori pojedinih dijelova javnosti (nevladinih i aktivističkih skupina, pojedinih stručnjaka) i lokalne zajednice vezano uz njegovu lokaciju i tehnologiju. Prigovori koje je u svojoj Rezoluciji o planiranju ŽCGO Kaštijun izložila Općina Medulin, a tiču se načina odabira lokacije, izrade studije utjecaja na okoliš, sadržaju koji će se graditi i površine ŽCGO, za koje se ustvrdilo da su obavljeni i da se obavljaju netransparentno, bez konzultiranja lokalne samouprave i građana, uz nedemokratsko nametanje rješenja stanovništvu (<http://www.ne-kastijun.org/aktivnosti/>) ponavljat će se na sličan način³ i sa sličnim argumentima⁴, a u realizaciji velike većine drugih centara za gospodarenje otpadom, od ŽCGO Marišćina, do ŽCGO u Biljanima Donjim, ŽCGO Lećevica i ŽCGO u Lučinom razdolje, sve do najnovijeg primjera Zagrebačkog centra za gospodarenje otpadom.

Pritom je značajan otpor dijela javnosti, neovisno o lokacijama centara, prvenstveno usmjeren na koncept gospodarenja otpadom predviđen Strategijom i Planom gospodarenje otpadom RH. Tim je konceptom predviđena izgradnja regionalnih i županijskih centara za gospodarenje otpadom s mehaničko-biološkom i termičkom obradom otpada u Gradu Zagrebu. Za dio javnosti to su 'mastodonti' u čijoj je podlozi politika koja potiče proizvodnju smeća, a Hrvatsku drže taocem lobističkih krugova koji na smeću razvijaju biznis. Centri se grade s ciljem proizvodnje

³ Lokacije odlagališta često su loše odabrane jer njihovi predlagači očajno slabo poznaju prostor, a neskriveno preziru ekološke vrijednosti i demokratski pristup. Vlast ih se, međutim, ne odriče, nego ih se razvojem argumentirane polemike još čvršće drži. Glavni kriterij za odabir lokacija, tako se barem čini, jest da budu 'zaklonite' i smještene tamo gdje su izgledi za socijalne otpore najmanji. Čak i kad se radi o ranijim lokacijama kao **Kaštijunu** ili **Bikarcu**, njihova renovacija izaziva refleks nepovjerenja lokalne javnosti. Ljudi ne moraju mnogo znati o otpadu, ali socijalna mudrost im kaže da ni sama vlast ne vjeruje u svoju politiku otpada te ga njima donosi uglavnom zato što drugima nije mogla ili smjela. (tportal, 2011.)

⁴ Protiv studije utjecaja zna se podići i lokalna vlast, poput one u **Medulinu**, **Viškovu** kod **Rijeke** te **Lećevici** i **Unešiću**, ali ni to nije rezultiralo boljim rješenjima. Daljnja dimenzija te politike je javna prisila i nasilje nad procedurom, kojima se nastoji osigurati provođenje planiranog cilja. Tako ova priča obično završava u onome što kritičari smatraju demokratskim deficitom, a radi se o kršenju prava javnosti na pristup informacijama i na sudjelovanje javnosti u odlučivanju o okolišu, koje je jedno od temeljnih prava građana u pogledu okoliša. (tportal, 2011.)

smeća širom Hrvatske, tako da će za trideset godina većina sadašnjih problema s gospodarenjem otpadom ostati ista, samo četiri puta veća i to iz nekoliko razloga. Izgradnjom centara obeshrabruje se recikliranje, odvajanje otpada i smanjivanje količina otpada, a tehnologija zbrinjavanja otpada zastarjela je i neprikladna, suprotna načelima održivog razvoja i zakonskim načelima, a njome se samo povećavaju troškovi, količina otpada i okolišni rizici.

Ovaj pristup, tvrdi se dalje, pretvara građane Hrvatske u balegere (skarabeje) koji cijeli život unatraške u obrnutom položaju valjaju vlastito blato, jer se eksploatira njihovo neznanje, a to se neznanje ogleda u pretpostavci da je proizvodnja smeća nužna i samorazumljiva pojava. Centri ipak postaju 'bolni čirevi' svaki put kad se lokalne zajednice pobune protiv njihove izgradnje. To je kao što i aktivisti sami priznaju maji broj ljudi, ali oni uz pomoć nevladinih udruga i pojedinih stručnjaka vode neravnopravnu borbu Davida i Golijata. Ova je borba motivirana obranom vlastitog zavičaja i prostora koje kapital bespoštedno guta na sve načine. (prilagođeno iz Lučić, tportal.hr, 2011.)

Potvrđuje li ovakav razvoj događaja vezano uz izgradnju centara za gospodarenje otpadom 'pretežno negativan stav javnosti prema otpadu' koji je utvrđen još 2005. u Strategiji gospodarenja otpadom? Osim medijskih napisa i zapisnika s javnih rasprava, stručnih i znanstvenih radova na temu NIMBY sindroma i stavova javnosti gotovo da i nema. Pretraživanje interneta pomoću 'stavovi javnosti prema otpadu Hrvatska' pronađen je samo jedan stručni rad i to na temu Stav javnosti prema potrebi izgradnje odlagališta radioaktivnog otpada u Republici Hrvatskoj koji je pokazao da negativan stav prema izgradnji odlagališta ima većina ispitanika u ukupnom uzorku od 447 građana, od kojih polovica ima visoku stručnu spremu, a kao glavni razlog zabrinutosti istaknuti su opasnost po zdravlje ljudi i sigurnost za okoliš (Mostečak et.al., 2012). Drugi radovi na temu stava javnosti prema otpadu i NIMBY-sindromu nisu pronađeni.

4. GENEZA STAVOVA JAVNOSTI O ŽUPANIJSKOM CENTRU ZA GOSPODARENJE OTPADOM U BILJANIMA DONJIM

Centar za gospodarenje otpada u Zadarskoj županiji treba se izgraditi na području eksploatacijskih polja tehničkog građevnog kamena Busišta 2, kamenoloma smještenog zapadno od naselja Biljane Donje (ŽCGO Biljane Donje). Lokacija ŽCGO Biljane Donje potvrđena je Izmjenama i dopunama Prostornog plana Zadarske županije krajem 2006. kojima je prethodila tadašnjim Zakonom o prostornom uređenju propisana javna rasprava. Ova je lokacija preuzeta Planom gospodarenja otpadom RH iz 2007. u okviru poglavlja o županijskom konceptu gospodarenja otpadom⁵. ŽCGO Biljane Donje imat će sortirnicu, postrojenje za mehaničko-biološku obradu otpada s biosušenjem biorazgradivog dijela otpada. U ŽCGO proizvodit će se gorivo iz otpada (SRF), dok će se biostabiliziran i inertan produkt obrade odlagati na odlagalištu neopasnog otpada.

Iz javno dostupnih podataka, primjedbe na lokaciju budućeg ŽCGO uputile su Općina Poličnik (Općina Poličnik, 2014.) i Mjesni odbor Suhovare koji je u više navrata slao dopise, a mještani Suhovara još su 2004. i 2005. potpisivali peticiju protiv kako je opisuju 'Smećare' (Suhovare za budućnost, 2014.). Iz očitovanja Zadarske županije članovima Županijske skupštine vidljivo je da upućene primjedbe nisu bile takve naravi da bi bile prepreka za utvrđivanje lokacije ŽCGO (Zadarska županija, 2010., 2011.).

⁵ Županijski koncept napravljen na temelju nacrtu županijskih planova gospodarenja koji su bili na raspolaganju i na temelju istraživanja i analiza provedenih za potrebe izrade Plana

Početak 2010. u medijskom su prostoru zabilježene prve peticije i prosvjedi protiv ŽCGO. Na konferenciji za novinare sazvanoj dan prije zaključivanja roka za primjedbe na nacrt Plana gospodarenja otpadom Zadarske županije jedna politička stranka ističe da želi prenijeti nezadovoljstvo i ogorčenost mještana općina Poličnik, Škabrnja i Zemunik Donji najavljenim smještajem županijskog centra za gospodarenje otpadom u Biljanima Donjim (Zadarski list, veljača 2009.). Početkom 2010. održana je javna rasprava o Studiji utjecaja na okoliš za ŽCGO tijekom koje nije bilo primjedbi javnosti i struke u odnosu na projekte uspostave centara za gospodarenje otpadom u Hrvatskoj i šire⁶ (Zadarska županija, 2013.).

Međutim, postupak procjene utjecaja na okoliš za ŽCGO nije okončan, a tijekom 2012. osnovan je Inicijativni odbor mještana Ravnih Kotara (Odbor). Odbor je na temelju 2.700 potpisa protiv i dvadesetak pisma potpore sastavio tekst Peticije za dislociranje predviđenog Centra za gospodarenje otpadom kod mjesta Biljane Donje (ezadar, 2012.). Peticija je upućena predsjednicima Republike, Vlade i Sabora te svim ustanovama koje sudjeluju u projektu gradnje Centra - ministarstvu zaštite okoliša i prirode, ministarstvu poljoprivrede i ministarstvu regionalnoga razvoja i fondova EU. Odbor je najavio da će se ako ne bude nikakvog povratnog odgovora obratiti uredima i tijelima EU, a po potrebi organizirat će i javne tribine i prosvjede mještana (Slobodna Dalmacija, lipanj 2012.).

Predsjednik Odbora na pitanje zašto se baš sada pokreće ova akcija kad su prošle sve službene javne rasprave o prostornim planovima, o studiji utjecaja na okoliš i ostalom, odgovorio je da je sve donedavno izgledalo kako će Hrvatske vode zaustaviti projekt jer je predviđena lokacija na vodozaštitnom području (Slobodna Dalmacija, svibanj 2012.), a tadašnja ministrica zaštite okoliša i prirode najavila je dogovor s Hrvatskim vodama oko davanja suglasnosti na lokaciju budućeg Županijskog centra za gospodarenje otpadom u Biljanima Donjim, što je bio najveći kamen spoticanja u realizaciji projekta (Slobodna Dalmacija, svibanj 2012.) Krajem 2012. inicijativa je prerasla u Udrugu Ravni Kotari čiji predsjednik krajem 2012. tvrdi da je Ministarstvo zaštite okoliša srušilo Studiju utjecaja na okoliš ŽCGO (Zadarski list, prosinac 2012.). Međutim, postupak procjene utjecaja na okoliš za ŽCGO nastavljen je i tijekom 2013. uz izmjene i dopune Studije utjecaja na okoliš. Paralelno Udruga Ravni Kotari cijelo to vrijeme problematizira ŽCGO u Biljanima Donjima, uz najčešće tvrdnje da nije protiv centra, jer on negdje mora biti, ali da se (centar) gradi na lokaciji koja je nesretno odabrana, u vodozaštitnom području, uz najplodnija polja i trideset metara od najbližih kuća (Tjednik Novosti, kolovoz 2012.).

5. ANALIZA

U svrhu dubljeg razumijevanja fenomena NIMBY i NIABY u slučaju ŽCGO Biljane Donje provedena je analiza stavova pojedinih građana, udruga i političara u javnosti i tijekom i nakon javne rasprave o Studiji utjecaja na okoliš (SUO) koja je provedena u razdoblju od 24.1. do 24.2.2014. Analiza je podijeljena u dva dijela: u prvom dijelu provedena je analiza svih dostupnih medijskih sadržaja, a u drugom dijelu retorička analiza stavova.

5.1. Analiza medijskog sadržaja

Analiza medijskog sadržaja obuhvatila je sve dostupne medijske izvještaje iz dnevnog tiska, televizijskih i radio priloga te internetskih portala u razdoblju od 3.1. do 22.9.2014. Analizom je obuhvaćeno ukupno 83 medijske objave, članci i prilozi, koje su spominjale ŽCGO Biljane Donje

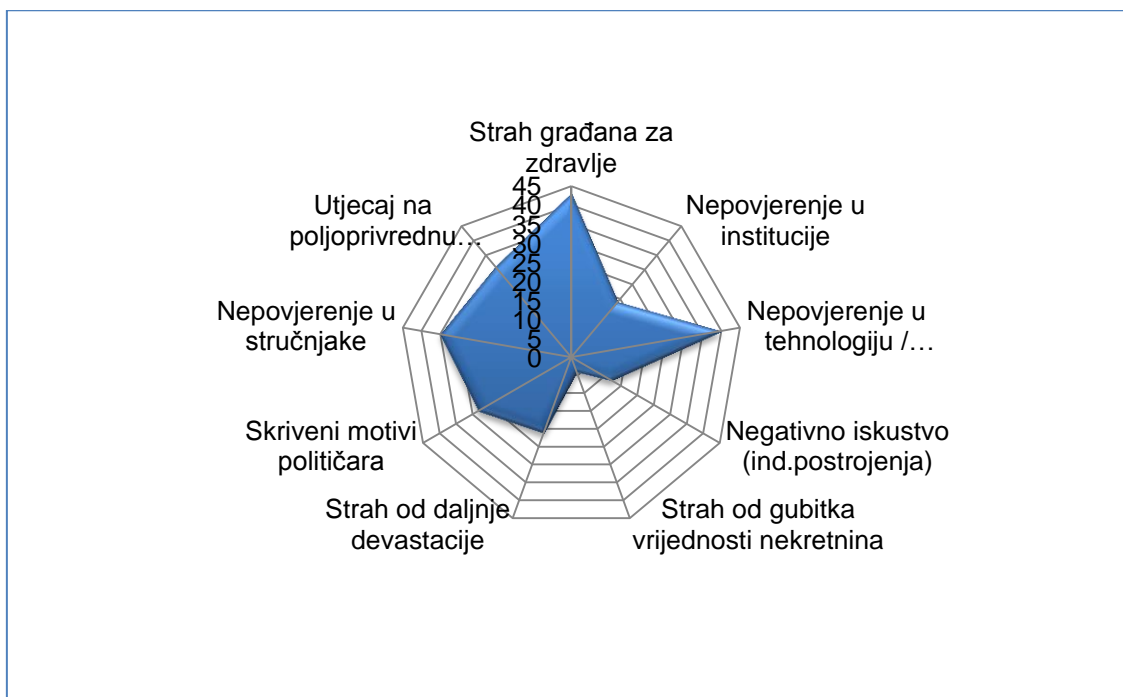
⁶Brojnost onih koji potpisuju peticiju protiv centra kod Biljana, a ne u vrijeme izrade prostornog plana ili javne rasprave o studiji utjecaja na okoliš, govori da su sve te institucionalno dobro zamišljene stvari promašile cilj (Slobodna Dalmacija, svibanj 2015.).

ili su se bavile bilo kakvom drugom srodnom temom u članku, pri čemu se posredno raspravljalo o ŽCGO. Tijekom analize korištena je analitička matrica koja je podijeljena u dvije cjeline; općenite podatke o članku, te temu članka. U prvoj cjelini, općenitim podacima, analiziraju se datum, naziv medija i vrsta medija, ovisno o tome radi li se o tiskanom mediju, radiju, televiziji ili internetskom portalu. U drugoj cjelini, temi članka, provedena je analiza u odnosu na jedan od sljedećih parametara⁷: strah građana za zdravlje, nepovjerenje građana u institucije, nepovjerenje građana u tehnologiju (odbijanje koncepta gospodarenja otpadom), spominjanje prethodnog negativnog iskustva s industrijskim postrojenjima, strah građana od gubitka vrijednosti nekretnina, strah građana od daljnje devastacije, postojanje skrivenih motiva političara, nepovjerenje u stručnjake te utjecaj izgradnje ŽCGO na poljoprivrednu proizvodnju.

Tablica 2. Razlozi protivljenja ŽCGO Biljane Donje

Paremetar (tema)	Broj članaka koji spominju temu
Strah za zdravlje	43
Nepovjerenje u institucije	19
Nepovjerenje u tehnologiju / odbijanje strategije gospodarenja otpadom	40
Negativno iskustvo (ind.postrojenja)	12
Strah od gubitka vrijednosti nekretnina	4
Strah od daljnje devastacije	21
Skriveni motivi političara	28
Nepovjerenje u stručnjake	35
Utjecaj na poljoprivrednu proizvodnju	31

Dijagram 2. Grafički prikaz medijske analize u odnosu na sve parametre



⁷ Većina ovih parametara prepoznata je i u drugim zemljama širom svijeta kao razlozi za izazivanje NIMBY i NIABY u provedbi različitih projekata (vidjeti reference)

Ova analiza pokazuje da su u realizaciji projekta izgradnje ŽCGO Biljane Donje gotovo podjednako zastupljeni stavovi NIMBY i NIABY, pri čemu:

- Strah od **negativnog utjecaja na zdravlje** najčešće se spominje kao razlog protivljenja. Ovaj strah uključuje bojazan od mogućeg trovanja stanovništva, povećanja oboljenja od kancerogenih malignih i kožnih bolesti te pada nataliteta.
- Drugi najčešći razlog protivljenja je **nepovjerenje u izabranu tehnologiju** i koncept gospodarenja otpadom, koji nije neposredno vezan uz lokaciju samog ŽCGO. Spominje se zastarjela tehnologija koja se EU napušta, iskazuje bojazan da će ŽCGO postati regionalno odlagalište smeća koje će dugoročno odrediti budućnost Zadarske županije, ističe da je ŽCGO nepotreban i preskup, da njegova izgradnja pogoduje građevinskoj mafiji. Boljim se rješenjem smatra smanjenje stvaranja smeća i odvojeno prikupljanje otpada, ističe se da je za dobivanje sredstava iz EU fondova potrebna podrška lokalnog stanovništva i Strateški plan o gospodarenju otpadom na državnoj razini⁸. Također se naglašava da se poruke lokalnog stanovništva moraju saslušati na javnoj raspravi, po načelima demokracije. Ističe se da projekt ne može zaživjeti bez potpore lokalnog stanovništva te da je sve drugo samo **izigravanje demokracije**.
- **Nepovjerenje u stručnjake** treći je najčešći spominjan razlog protivljenja. Ovo je nepovjerenje u prvom redu usmjereno na sve stručnjake koje su nadležna tijela i tvrtka zadužena za provedbu projekta izgradnje ŽCGO Biljane Donje angažirali na izradi stručnih podloga (studija) i elaborata, neovisno o njihovim stručnim referencama. Tijekom javne rasprave o SUO zabilježeno je da su skupine koje se protive izgradnji ŽCGO pozvale 'svoje stručnjake', kako bi osporili podatke i argumente 'protivničkih stručnjaka'.
- **Utjecaj na poljoprivredu** također je zauzeo značajno mjesto i često se spominje kao razlog protiv izgradnje ŽCGO jer će onemogućiti bavljenje poljoprivrednom proizvodnjom, posebno ekološkom, jer se u okruženju nalaze za to pogodne parcele koje su u posljednjih dvadesetak godina bile napuštene. Zbog ŽCGO u krugu od 10 kilometara neće biti moguće baviti se ekološkom poljoprivrednom proizvodnjom niti dobiti ekološki certifikat.

5.2. Retorička analiza

Retorička analiza temelji se na pretpostavci o postojanju različitih stavova⁹ o ŽCGO. Stavovi su hipotetska tumačenja i subjektivna interpretacija neke ideje, aktivnosti, osobe, grupe, akcije. Stavovi imaju kongnitivni (znanje i uvjerenja), emocionalni (emocionalna reakcija) i ponašajni element (prošle i sadašnje ponašanje) koji su važni i za percepciju rizika. (Upham et.al. 2009.). Ti različiti stavovi nastaju u kontekstu neke situacije i relativni su. Ta relativnost je u Hauserovom (citirano u Barry et.al. 2008., Hauser, 2002.) shvaćanju retoričke situacije povezana s prostorom, odnosno stavovi ovise o mjestu na kojem se nalazimo. Problem jedne zajednice nužno ne mora biti problem za neku drugu zajednicu, odnosno rješenje nekog zajedničkog problema ne mora nužno podjednako odgovarati svim zajednicama. O mjestu na

⁸ Strateški plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske donio je Hrvatski Sabor 2005.

⁹ Različiti pojedinci i organizacije mogu imati bitno različite poglede na neki problem, ovisno o njihovim mentalnim modelima. Mentalni modeli su duboko usvojenim uvjerenjima, predodžbama i pretpostavkama koje gajimo o sebi, svijetu i našim organizacijama te o načinu na koji se u njih uklapamo. Razlike u mentalnim modelima objašnjavaju zašto je moguće da dvije osobe isti događaj (situaciju) opisuju na drugačiji način.

kojem se nalazimo ovisi i kako ćemo oblikovati naše argumente, pokušati uvjeriti druge u ispravnost našeg stava i da ga prihvate. Retorička analiza pomaže u pojašnjavanju konteksta i tvrdnji pojedinaca vezano uz razloge njihovog iznošenja, moralni status, ispravnost i pravednost argumenata u odnosu na nepravednost ili nerazumnost stavova i argumenata drugih. Ovom su analizom obuhvaćene sve javno dostupne informacije, uključujući i medijske izvještaje iz dnevnog tiska, televizijskih i radio priloga te internetskih portala u razdoblju od 3.1. do 22.9.2014.

5.2.1. Pregled tema protivljenja ŽCGO Biljane Donje

Komunikaciju različitih skupina i pojedinaca vezano uz protivljenje izgradnji ŽCGO Biljane Donje može se okvirno podijeliti na nekoliko tema:

Žrtvovanje i umanjivanje važnosti

- Naglasak na lokalnim vrijednostima i prirodnim bogatstvima
- Naglasak na cjelokupnom lokalnom identitetu
- Čitavo se područje žrtvuje za dobrobit nacionalnih interesa
- Građani nemaju izbora, nemoćni su u odnosu na puno jačeg neprijatelja (politika)

U ovoj vrsti komunikacije naglašavaju se lokalne vrijednosti, kako u smislu samog geografskog područja, tako i načina života, kulture i općenito, lokalnog identiteta. Pritom je prisutna činjenica da se one u prvom redu dovode u kontekst žrtvovanja za širu zajednicu, kao i nemoći u suprotstavljanju izgradnji ŽCGO Biljane Donje. Navode se argumenti koji upućuju na žrtvovanje jednog dijela zajednice za dobrobit nacionalnih interesa (ŽCGO se gradi kako se ne bi morale plaćati kazne EU), pa se u ovoj vrsti retorike nalaze primjeri u kojem stanovnici naglašavaju da se njih ionako smatra nebitnima u čitavoj problematici. Taj ton je posebno primjetan u izjavama da će se „njihova sela žrtvovati, da bi netko na Diklu mogao raditi vile, sportske centre, turistička naselja“ (antenazadar.hr, travanj 2014.). Osjećaj nemoći nazire se u primjedbama da je potpuno nepoznato otkud će sve smeće dovoziti pred njihova vrata, da će ŽCGO postati regionalan za čitavu Dalmaciju, dok se slični centri ne vode kao planirani projekti u susjednim dalmatinskim županijama (narodni-list.hr, veljača 2014.) pri čemu je primjetan snažan dojam o vlastitoj nevažnoj ulozi i mogućnost utjecaja na odluke u gospodarenju otpadom. Time se ponovno naglašava postavljanje u poziciju da bude jedina odgovorna za rješavanje problema otpada, koja je prisiljena preuzeti ulogu žrtve za dobrobit šire zajednice.

Nedostatak povjerenja u vlast

- Skeptičnost ili potpuno nepovjerenje u pripadnike vlasti
- Nedostatak povjerenja u politiku (uvjerenost u skrivene namjere i zakulisne igre)

Analiza komunikacije mještana ukazuje na retoriku gotovo potpunog nepovjerenja u vlast, nadležna tijela, ali i znanstvenu zajednicu i struku koje su angažirala nadležna tijela i ostali sudionici javne rasprave. Prevladava mišljenje da u ovim pitanjima struka ionako ni o čemu ne odlučuje, iako je evidentno uključena u proces donošenja odluka, već da služi samo da bi zadovoljila formu, dok o konačnim odlukama glavnu riječ može imati samo politika (antenazadar.hr, veljača 2014.). Uz osjećaj da je ŽCGO predodređen, primjetan je i dojam da o namjernom prijašnjem neuključivanju u proces donošenja odluka. Značajno je zastupljeno nepovjerenje u izabrane političke predstavnike uz tvrdnje o vladajućima koji navodno samo žele zavaditi kako bi politika na kraju lakše dobila što želi te da je jedini način da sami oblikuju i usuglase se oko zajedničkog, njima najprihvatljivijeg rješenja (Zadarski list, veljača 2014.). O emocionalnom elementu u kreiranju stavova upućuje stav nekih pojedinaca koji angažman politike u rješavanju pitanja otpada uspoređuju s „Goebbelsovskim metodama manipulacije“

(zdnews.hr, ožujak 2014.), što upućuje na snažnu emocionalnu retoriku temeljenu i na povijesno utemeljenim simboličkim komunikacijskim simbolima. Visoka i dugotrajna razina nepovjerenja osjetna je u izjavama poput „15 godina nam lažete, zašto bismo vam sada vjerovali“, kao i poruci političarima da Centar „izgrade ispred Vlade i Sabora“ (antenazadar.hr, veljača 2014.).

Nedostatak povjerenja u tehnologiju i stručnjake

- Nedostatak povjerenja u kvalificiranost stručnjaka
- Skeptičnost i odbijanje odabrane tehnologije, odnosno rješenja koje se predlaže

Kao što je već istaknuto stručnjake se doživljava kao one koji prisutni u procesu tek da bi se poštovala procedura i zadovoljila forma, dok će zapravo sve odluke ionako donijeti politika. Struka gotovo da ne uživa nikakvo povjerenje, tim više što je prisutan stav da ona ionako nema nikakav utjecaj na donošenje odluka iznošenjem tvrdnji da „lokaciju uopće nije odabrala struka“ (antenazadar.hr, 22.2.2014.), već je u najvećoj mjeri podložna političkim zakulisnim dogovorima i skrivenim motivima. Osporavaju se predložena tehnološka rješenja uz tvrdnje da one ne primjenjuju nigdje drugdje (slobodnadalmacija.hr, ožujak 2014.) i dovest će izravnu opasnost mještane i njihovu djecu. Osim zastarjelosti tehnologije spominje se i pogrešan koncept, odnosno da je čitav projekt fundamentalno pogrešno postavljen. Stoga se sugerira i postepeno drugačije rješenje gospodarenja otpadom, pri čemu se prije svega zagovara smanjenje stvaranja smeća i odvojeno prikupljanje otpada, čega u predloženom konceptu navodno nema.

Jezik konflikta, rata i obrane

- Svaki diskurs koji podsjeća na rat, prijetnju, borbu i obranu („mi protiv vas“, „okupacija područja“, „neprijatelj“, „nećemo odustati“)
- Tip izričaja u kojem se zauzima obrambeni stav, ali i poziv na djelovanje protiv zajedničkog „neprijatelja“

Ova vrsta retoričke komunikacije većinom je obrambena, a obilježava je i jezik konflikta. U slučaju ŽCGO ovakav pristup prisutan je izjavama da građani „neće posustati“, da će sami sigurno braniti svoje interese, ukoliko ih već neće političari. U ovu retoričku temu spadaju i sve one vrste izjava u kojima se navodi da će se zaustaviti izgradnja ŽCGO, ako treba čak i vlastitim tijelima. „Stat ćemo pred bagere, makar morali i leći pred njih“ , ilustrativna je izjava za vrstu protesta u okviru kojeg je primjetan snažan obrambeni stav, u kojem se čak prijeti oduzimanjem vlastitog života. Snažno emocionalno nabijena retorika osjeća se i spominjanjem Domovinskog rata u kontekstu protesta protiv izgradnje ŽCGO. Pri tome se ističe Udruga hrvatskih dragovoljaca Domovinskog rata (UHDDR), jedna od braniteljskih udruga koja se snažno usprotivila projektu, koja navodi da su „žitelji dali velik doprinos u Domovinskom ratu, boreći se za slobodu, budućnost i bolji život za sve – izgradnjom Centra to se sigurno neće dogoditi“ (suhovarezabuducnost.blogspot.com, travanj 2014.). Isti je diskurs primjetan u uspoređivanju borbe u Domovinskom ratu s borbom protiv izgradnje ŽCGO, pri čemu se korištenjem ove snažne simbolike, koja je osobito u ovim lokalitetima još uvijek prožeta snažnim emocijama, nastoji utjecati na ostatak stanovništva na promišljanje i djelovanje (znet.hr, veljača 2014.).

Industrijalizacija okoliša

- Uništavanje ruralnog, prirodnog, sigurnog i čistog
- Uništavanje zemlje i zdravlja, budućnosti naše djece

Retorika kojom se naglašava industrijalizacija okoliša uglavnom je usmjerena na ekološke aspekte argumentiranja, pri čemu se naglašava uništavanje svega onog što je prirodno, dobro, zdravo i čisto te čuva zdravlje i budućnost stanovnika. U tom se kontekstu najčešće spominje

argumentacija vezana uz onečišćenje voda, brojnih bunara u naseljenim područjima, pri čemu se često naglašava važan utjecaj podzemnih voda. Također, prisutna je argumentacija vezana uz zagađenje poljoprivrednih zemljišta i seoskog turizma, neugodnih mirisa uzrokovanih ŽCGO, utjecaj na cijenu nekretnina na tom području (Vox tjednik, veljača 2014.). kao i nemogućnost bavljenja ekološkom poljoprivredom u krugu ŽCGO (057info, veljača 2014.). U ovaj diskurs mogu se uvrstiti i argumenti vezano uz konačnu depopulaciju kraja (narodni-list.hr, veljača 2014.) jer će se izgradnjom ŽCGO iscrpiti prirodni resursi, pa će time doći i do raseljavanja stanovništva.

Jezik uvrijeđenosti i isključenosti

- Osjećaj isključenosti iz procesa donošenja odluka
- Osjećaj uvrijeđenosti zbog neadekvatnog kvalificiranja i uvažavanja

I konačno, posljednji primjetan tip retorike građana vezanih uz rasprave oko izgradnje ŽCGO, obilježen je snažnim osjećajima isključenosti i uvrijeđenosti, pri čemu se osjećaj uvrijeđenosti što je osjećaj isključenosti veći, pojačava. Ovu vrstu retorike ilustriraju primjeri u kojima se navodi da pojedinci i skupine imaju problema s prezentiranjem svojih stavova, s obzirom da ih se godinama potpuno ignorira. Može se pretpostaviti da je ovu vrstu retorike jednim dijelom potaknuo (izazvao) dio iz SUO u kojem se navodi da su stanovnici „stari, slabo obrazovani i ruralni“, što je izazvalo burne reakcije (Vox tjednik, veljača 2014.). U tom kontekstu ilustrativne su izjave u kojima se naglašava osjećaj uvrijeđenosti zbog „laži koje se serviraju“ kao i napomene da mještani nisu „neškolorani i zatucani“ te da su „prikupili dosta znanja o ovoj tehnologiji“ (antenazadar.hr, veljača 2014.).

6. DISKUSIJA I PREPORUKE

NIMBY i NIABY složeni su društveni i razvojni fenomeni. Njihovo bolje razumijevanje kao i razumijevanje motiva i stavova protivnika izgradnje postaje sve važnije kako sve veći broj projekata izgradnje različitih objekata (postrojenja) u lokalnim zajednicama postaje otežano, kasni s provedbom ili se od njih odustaje. NIMBY i NIABY stavovi u području gospodarenja otpadom u posljednjih 40-tak godina javljali su se prvenstveno vezano uz postrojenja za termičku obradu otpada (spalionice) i odlagališta opasnog otpada. Posljednjih se godina ovi stavovi sve više javljaju uz postrojenja za obradu neopasnog krutog otpada, međutim čak i u svjetskim okvirima radova o stavovima javnostima prema takvim i sličnim objektima (centri za recikliranje, kompostane, pretovarne stanice) gotovo da i nema.

Ovaj rad ne potvrđuje ocjenu stanja iz Strategije gospodarenja otpadom da javnost prema otpadu u Hrvatskoj ima pretežno negativan stav. Negativan stav javlja se u pojedinim dijelovima javnosti: lokalnim zajednicama, nevladinim udrugama, pojedinim političkim strankama koje u toj temi vide za pridobivanje pažnje javnosti i pojedinim stručnjacima. Taj se negativan stav formirao i svakodnevno se dalje formira u okviru specifične situacije neprihvatanja (osporavanja) koncepta gospodarenja otpadom definiranog važećim strateškim, planskim i zakonskim dokumentima u području gospodarenja otpadom te dominantno administrativnog pristupa donošenju odluka u okviru postupaka PUO „odluči-objavi-obrani“ koji, potvrđuje se u praksi, izaziva konfliktne situacije i sukobe vezano uz izgradnju centara za gospodarenje otpadom. Deficit ovakvog pristupa pokazuje se u paradoksalnoj situaciji nekonzumiranja prava na sudjelovanje u javnim raspravama u okviru službenih procedura, zbog čega se prvi značajniji protesti javljaju u kasnijim fazama projekata.

Analiza stavova u slučaju ŽCGO Biljane Donje pokazuje da su zabrinutost za zdravlje i percepcija zastarjele tehnologije temeljni razlozi protivljenja njegovoj izgradnji, što upućuje na

podjednaku zastupljenost NIMBY i NIABY motiva. Pri tome se strah od štetnih utjecaja na zdravlje koristi kao temeljni argument kojim se želi osigurati lociranje ŽCGO negdje drugdje, gdje tih percipiranih utjecaja po zdravlje stanovnika navodno neće biti. Moglo bi se stoga zaključiti da dio lokalne zajednice nema ništa protiv ŽCGO, ali da on bude sagrađen u nečijem tuđem dvorištu, te da se nije spremna žrtvovati se za šire društvene interese jer ih doživljava nepravedno nametnutima u odnosu na lokalne interese i vrijednosti. Procjena omjera troškova i koristi je takva da u dijelu javnosti prevladava negativan stav prema ŽCGO.

Upravo u obrani tih interesa i vrijednosti, a posebno zbog osjećaja isključenosti i percepcije nepravednog tretmana pri donošenju odluka koje se tiču zaštite okoliša i gospodarenja otpadom, poseže se za argumentacijom za koju se očekuje da će osigurati veći utjecaj jer već ima nacionalnu platformu. To je argumentacija usmjerena protiv koncepta gospodarenje otpadom i tehnologije centra, o čemu je prikupljeno dosta znanja, a konzultirani su i znanstvenici koji su pokazali spremnost podržati ciljeve takvih skupina stavljanjem na raspolaganje svojih znanja u borbi protiv fundamentalno pogrešnog projekta kakvim se želi prikazati ŽCGO, što je karakteristika NIABY stava. Nju također prati argumentacija o industrijalizaciji okoliša, odnosno uništavanju ruralnog, prirodnog, sigurnog i čistog okoliša u kojem će biti onemogućeno bavljenje ekološkom poljoprivredom, pri čemu ona ni na koji način ne apostrofira sadašnje stanje okoliša u Zadarskoj županiji i postojanje velikog broja 'divljih odlagališta'.

Provedene analize pokazuju se korisnima u boljem razumijevanju reakcija dijela lokalne zajednice i pojedinih drugih skupina, na izgradnju ŽCGO Biljane Donje. Reakcije obuhvaćene analizom tiču se okončanja višegodišnjeg postupka PUO i javne rasprave. Analizama je potvrđeno da NIMBY motivi imaju svoju ulogu u njegovoj realizaciji. Međutim, za razliku od iskustava u drugim zemljama gdje ovi motivi prvenstveno imaju svoju ulogu u fazi planiranja procesa donošenja odluka (Wolsink i Devilee, 2009.) u slučaju ŽCGO glavnina NIMBY stavova javlja se 2010 i prati sve faze postupka PUO., da bi tijekom 2013. u jednom dijelu ovi stavovi poprimili i obrise NIABY.

Ovo je prvi rad o NIMBY sindromu u Hrvatskoj u području gospodarenja otpadom koji može pomoći nadležnim tijelima u boljem sagledavanju problematika i mogućim rješenjima za izbjegavanje negativnih reakcija lokalne zajednice i sukoba. Ipak je on samo početak istraživačkih napora u dubljem sagledavanju razloga za izazivanje stavova NIMBY i NIABY u uspostavljanju cjelovitog sustava gospodarenja otpadom u Hrvatskoj. Preporuča se stoga provesti daljnja istraživanja vezano uz druge centre za gospodarenje otpadom kako bi se moglo bolje usporediti stavove i tako dobiti cjelovitu sliku o stavovima javnosti prema otpadu i razlozima za negativan stav u svakoj pojedinoj skupini.

7. REFERENCE

- [1] Aeschbacher M.: Acronim NIMBY – Its use in the scientific literature about facility siting, Semesterarbeit an der Professur für Umweltnatur –und Uweletsozialwissenschaften dert ETH Zürich, Nr. 50/06
- [2] Antena Zadar, Na žalost, opet odluku donosi politika, a ne struka!, 25.2.2014. Dostupno na: <http://www.antenazadar.hr/clanak/2014/02/na-zalost-opet-odluku-donosi-politika-a-ne-struka/>
- [3] Antena Zadar, Suhovarci i Poličanci "kontra" odlagališta otpada u Biljanima Donjima!, 1.4.2014. Dostupno na: <http://www.antenazadar.hr/clanak/2014/04/suhovarci-i-policanci-kontra-odlagalista-otpada-u-biljanima-donjima/> [pristupljeno 20.10.2014.]

- [4] Antena Zadar, Mještani Ravnih kotara: Izgradite to ispred Vlade i Sabora!, 13.2.2014. Dostupno na: <http://www.antenazadar.hr/clanak/2014/02/mjestani-ravnih-kotara-izgradite-to-ispred-vlade-i-sabora/> [pristupljeno 20.10.2014.]
- [5] Antena Zadar, Dr. Vlahović: Pogon je čist i bezopasan., Ravnokotarani: Neka krasi uvalu u Jazinama, 22.2.2014. Dostupno na: <http://www.antenazadar.hr/clanak/2014/02/dr-vlahovic-pogon-je-cist-i-bezopasan-ravnokotarani-neka-krasi-uvalu-u-jazinama/>, [pristupljeno 18.10.2014.]
- [6] Barry J., Ellis G., Robinson C.: Cool Rationalities and Hot Air: A Rhetorical Approach to Understanding Debates on Renewable Energy, *Global Environmental Politics*, 8:2 May, pp. 67 – 89, (2008)
- [7] Burningham, K., Barnett, J&Thrush, D.: The limitations of the NIMBY concept for understanding the public engagement with renewable energy technologies: a literature review, published by the School of Environment and Development, University of Manchester, Oxford Road, Manchester M139PL, UK, (2006)
- [8] Business.hr, U Goričanu referendum protiv gradnje kompostane, 17.2.2014. Dostupno na: <http://m.business.hr/article/u-goricanu-referendumom-protiv-gradnje-kompostane/?url=%2F%2Fdefault.aspx&article-id=27532> [pristupljeno 20.10.2014.]
- [9] Devine-Wright, P.: Reconsidering public attitudes and public acceptance of renewable energy technologies: a critical review, published by the School of Environment and Development, University of Manchester, Oxford Road, Manchester M13 9PL, UK, (2007)
- [10] ezadar.hr., Mještani Ravnih kotara žele dislokaciju Centra za gospodarenje otpadom kod Biljana Donjih, 12.6.2012. Dostupno na: <http://www.ezadar.hr/clanak/mjestani-ravnih-kotara-zele-dislokaciju-centra-za-gospodarenje-otpadom-kod-biljana-donjih>, [pristupljeno 20.10.2014.]
- [11] Freunderberg N., Steinspair C.: Not in Our Backyards: The Grassroots Environmental Movement u American Environmentalism, *The U.S Environmental Movement, 1970-1990*
- [12] Lindell K.M., Earle C.T.: How Close is Close Enough: Public Perceptions of the Risk of Industrial Facilities, *Risk Analysis*, Vol.3. No 4, (1983)
- [13] Lounsbury M., Ventresca M., Hirsch P.: Social Movements, Field Frames and Industry Emergence: a cultural-political perspective on U.S. recycling
- [14] Kolonas T.: The research on public perceptions toward wind power schemes: An analysis through the 'eyes' of sustainability, Lund University (2007)
- [15] Lober D., Green P.: NIMBY or NIABY: a Logit model of Opposition to Solid-waste-disposal-Facility Siting, *Journal of Environmental Management* (1994), 33-502
- [16] Mostečak A., Ciglencčki T., Veinović Ž.; Stav javnosti o potrebi izgradnje odlagališta radioaktivnog otpada u Republic Hrvatskoj, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol. 24, Str. 73-80, (2012.)
- [17] Muro, M., et.al.: Making it Real: What Risk Managers Should Know about Community Engagement. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*. Vol.14, No.2 (June 2012). Imperial College Press
- [18] Narodni list, VIDEO: Rasprava o Centru za gospodarenje otpadom u Biljanima 14.2.2014. Dostupno na: <http://www.narodni-list.hr/posts/16805001>
- [19] ne-kaštijun.org, Balegarski mentalitet: Vlada potiče proizvodnju smeća, 7.3.2012. Dostupno na: <http://www.ne-kastijun.org/clanak.php?oznslog=7> [pristupljeno 20.10.2014.]
- [20] ne-kaštijun.org, Rezolucija Općine Medulin o planiranju izgradnje ŽCGO na Kaštijunu, 14.4.2009. Dostupno na: <http://www.ne-kastijun.org/aktivnosti/> [pristupljeno 20.10.2014.]
- [21] Općina Poličnik, Priopćenje, 18.8.2014. Dostupno na: http://www.opcina-policnik.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=1220:priopcenje&catid=22&Itemid=467, [pristupljeno 18.10.2014.]

- [22] Pavlović A., Mikulić N, Mateljak D.: Dublji uvid u praksu PUO u Hrvatskoj – istraživanje stavova o kvaliteti i djelotvornosti postupka PUO i informiranja javnosti, Plin – stručni časopis za plinsko gospodarstvo i energetiku, studeni 2013.
- [23] Peelle E., Ellis R.: Beyond the NIMBY Impasse, Forum od Applied Research and Public Policy, 2, NO2, 128-137 (1987)
- [24] Peelle E., Beyond the NIMBY Impasse II: Public Participation in an age of distrust
- [25] Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. do 2015. godine (NN 85/07, 126/10, 31/11)
- [26] Pol, E. et.al.: Psychological parametres to understand and manage the NIMBY effect, Elsevier (2005)
- [27] Rootes C., Leonard L.: Environmental Movements and Campaigns against Waste Infrastructure in the Uniet States
- [28] Schively C.: Understanding the NIMBY and LULU Phenomena: Reassessing Our Knowledge Base and Informing Future Research, Journal of Planning Literature 2007; 21, 255
- [29] Slobodna Dalmacija, Ministrica Holy potvrdila: Županijski Centar za gospodarenje otpadom bit će u Biljanima Donjim, 2.5.2012. Dostupno na: <http://www.slobodnadalmacija.hr/Zadar/tabid/73/articleType/ArticleView/articleId/173027/Default.aspx> [pristupljeno 20.10.2014.]
- [30] Slobodna Dalmacija, Mještani o Biljanima Donjim: Mi nismo protiv izgradnje, ali protiv smo izgradnje Centra u biseru europske poljoprivrede, 14.6.2012. Dostupno na: <http://slobodnadalmacija.hr/Zadar/tabid/73/articleType/ArticleView/articleId/177820/Default.aspx> [pristupljeno 15.10.2014.]
- [31] Slobodna Dalmacija, Narod je protiv prerade opada kod Biljana Donjih, 22.5.2012. Dostupno na: <http://www.slobodnadalmacija.hr/Zadar/tabid/73/articleType/ArticleView/articleId/175329/Default.aspx> [pristupljeno 15.10.2014.]
- [32] Slobodna Dalmacija, Županija SD: Lećeveca ide dalje; Zadar: EU daje 80 posto iznosa; Šibenčani ulažu u Bikarac, 25.3.2014. Dostupno na: <http://www.slobodnadalmacija.hr/Hrvatska/tabid/66/articleType/ArticleView/articleId/239978/Default.aspx>, [pristupljeno 15.10.2014.]
- [33] Smith E., Klick H.: Explaning NIMBY Opposition to Wind Power, The annual meeting of the American Political Science Association, Boston, Massachusetts (2007)
- [34] Strategija gospodarenje otpadom RH, (NN 130/05)
- [35] Suhovare – istinom zbog budućnosti, Općina Poličnik-Suhovare: načelnik Davor Lončar uvjerava sebe i obmanjuje Suhovarce, 20.8.2014. Dostupno na: <http://suhovarezabuducnost.blogspot.com/2014/08/opcina-policnik-suhovare-nacelnik-davor.html?m=1> [pristupljeno 15.10.2014.]
- [36] Tjednik Novosti, Ujedinili ih troska i smeće, 31.8.2012. Dostupno na: <http://www.snv.hr/tjednik-novosti/663/ujedinili-ih-troska-i-smece/> [pristupljeno 15.10.2014.]
- [37] tportal.hr, Vlada potiče proizvodnju smeća, 7.3.2011. Dostupno na: <http://www.tportal.hr/vijesti/hrvatska/115259/Vlada-potice-proizvodnju-smeca.html>, [pristupljeno 15.10.2014.]
- [38] Upham et.al.: Public Attitude to Environmental Change: a selective review of theory and practice, Research Concils UK (2009)
- [39] Vox, Održana prva sjednica Upravnog odbora Eko-Udruge "Ravni Kotari", 22.9.2012. Dostupno na: <http://www.voxportal.hr/vijest/odrzana-prva-sjednica-upravnog-odbora-ekoudruga-ravni-kotari/26079.html> [pristupljeno 20.10.2014.]

- [40] Vox, Održana prva sjednica Upravnog odbora Eko-Udruge "Ravni Kotari", 22.9.2012. Dostupno na: <http://www.voxportal.hr/vijest/odrzana-prva-sjednica-upravnog-odbora-ekoudruga-ravni-kotari/26079.html>
- [41] Vox tjednik, Mještani iseljavaju zbog otrovne prašine, 28.2.2014.
- [42] Vox tjednik, Mještani poručili: Europo ne želimo centar za smeće u Ravnim Kotarima", 28.2.2014.
- [43] Zadarski list, Nitko neće otpad u svom dvorištu, 18.5.2012. Dostupno na: <http://www.zadarskilist.hr/clanci/18052012/nitko-nece-otpad-u-svom-dvoristu> [pristupljeno 20.10.2014.]
- [44] Zadarski list, Brkić V. Peticije i prosvjedi protiv smeća u Biljanima Donjim.19.2.2009. Dostupno na: <http://www.zadarskilist.hr/clanci/19022009/peticije-i-prosvjedi-protiv-smeca-u-biljanima-donjim>, [pristupljeno 20.10.2014.]
- [45] Zadarski list, Udruga Ravni kotari: Političari žele zavadići mještane oba područja, 28.2.2014.
- [46] Zadarski list, Ministarstvo srušilo Studiju utjecaj ana okoliš, 22.12.2012. Dostupno na: <http://www.zadarskilist.hr/clanci/22122012/ministarstvo-srusilo-studiju-utjecaja-na-okolis>, [pristupljeno 15.10.2014.]
- [47] Zadarska županija, Članovima Županijske skupštine, 17.11.2010. Dostupno na: http://www.zadarska-zupanija.hr/skupstina/skupstina_12/odgov_vije.pdf, [pristupljeno 15.10.2014.]
- [48] Zadarska županija, Članovima Županijske skupštine, 15.2.2011. Dostupno na: http://www.zadarska-zupanija.hr/skupstina/skupstina_14/pitanja.pdf, [pristupljeno 15.10.2014.]
- [49] zdnews.hr, Priopćenje Marka Pupića Bakrača: "Božidar Kalmeta obećao je riješiti problem otpada 2000., međutim on i Zdravko Livaković rješavali su tada sebi isplativije projekte, 3.3.2014. Dostupno na: <http://www.zdnews.hr/priopcenje-marka-pupica-bakraca-bozidar-kalmeta-obecao-je-rijesiti-problem-otpada-2000-medutim-on-i-zdravko-livakovic-rjesavali-su-tada-sebi-isplativije-projekte/>, [pristupljeno 18.10.2014.]
- [50] znet.hr., Benkovac: NE Centru za odlaganje otpada, 12.2.2014. Dostupno na: <http://www.znet.hr/2014/02/benkovac-ne-centru-za-odlaganje-otpada/>, [pristupljeno 18.10.2014.]
- [51] Wolsink, M., Devilee, J. (2009) Journal of Environmental Planning and Management 52 (2) 217-236
- [52] Wolsink M.: Invalid theory impedes our understanding: a critique on the persistence of the language of NIMBY, Department of Geography, Planning and International Development Studies, University of Amsterdam, The Netherlands (2005)
- [53] 057info.hr. U krugu od deset kilometara od centra neće se moći dobiti eko markica za ekološku proizvodnju, 22.2.2014. Dostupno na: <http://www.057info.hr/vijesti/2014-02-22/u-krugu-od-deset-kilometara-od-centra-nece-se-moci-dobiti-eko-markica-za-ekolosku-proizvodnju>, [pristupljeno 18.10.2014.]
- [54] 057info.hr, Centar se otvara, a deponije zatvara 2017., 10.9.2013. Dostupno na: <http://www.057info.hr/vijesti/2013-09-10/centar-se-otvara-a-deponije-zatvara-2017>, [pristupljeno 18.10.2014.]

RUDARENJE ODLAGALIŠTA

LANDFILL MINING

mr. sc. Vladimir Potočnik, dis.*¹

¹Dragutina Golika 38, 10000 Zagreb

*e-mail kontakt: vladimir.potocnik@zg.t-com.hr

SAŽETAK

Rudarenje odlagališta otpada u novije vrijeme postaje sve zanimljivije zbog štetnih utjecaja odlagališta na okoliš, sve oskudnijih i skupljih sirovina, te ograničenja gradskih površina.

Od prvog takvog projekta u Izraelu 1953. identificirano ih je šezdesetak uglavnom u razvijenijem dijelu svijeta (SAD, Njemačka, Belgija, Austrija itd.). Hrvatskoj bi koristilo provesti studiju rudarenja odlagališta u dvije faze: izbor odlagališta i planiranje projekata.

Ključne riječi: *rudarenje odlagališta, otpad, sekundarne sirovine, gorivo iz otpada.*

ABSTRACT

Landfill mining becomes more interesting recently due to landfill environmental impacts, reduced raw materials and limited landfill surfaces.

From the first landfill mining projects 1953. in Israel, about sixty such projects have been identified, mainly in more developed countries (USA, Germany, Belgium, Austria, etc.). It would be useful to perform Study of Landfill mining in Croatia, containing two phases: preferred landfills for mining and landfills mining projects planning.

Key words: *landfill mining, waste, secondary raw materials, energy from waste.*

1. UVOD

Odlagališta otpada se uobičajeno razmatraju sa stajališta njihovih negativnih aspekata: dugoročne emisije štetnih plinova (metan itd) i smrada, zagađenja okoliša i podzemnih voda, te ograničenja urbanog razvoja. Međutim, odlagališta otpada nisu samo kraj iskorištavanja odbačenih materijala, nego su i skladišta potencijalno uporabivih materijalnih i energetskih sirovina. Osnovni ciljevi rudarenja odlagališta otpada su smanjivanje štetnih utjecaja na klimu, okoliš i zdravlje, te profitabilno iskorištavanje uskladištenih sekundarnih sirovina, uz olakšavanje urbanog razvoja i dodatno zapošljavanje.

Rudarenje odlagališta otpada je definirano kao sigurno istraživanje, kondicioniranje, iskapanje i integrirano vrednovanje (bivših, sadašnjih i/ili budućih) odloženih tokova otpada kao materijala i energije, korištenjem inovativnih transformacijskih tehnologija uz poštivanje najstrožih društvenih i ekoloških kriterija [1]. Rudarenje dolazi u obzir za sve vrste odlagališta, tj. za komunalni, građevinski, industrijski i druge kategorije otpada. Rudarenje odlagališta nije nova ideja, o čemu svjedoči već treća konferencija na tu temu u Londonu studenog 2014. [2]

2. RUDARENJE ODLAGALIŠTA [3]

Rudarenje odlagališta otpada ima niz koristi, ali i nedostataka odnosno troškova koji su specifični za svaki projekt rudarenja (tablica 1).

Tablica 1 Koristi i nedostaci rudarenja odlagališta

KORISTI	NEDOSTACI
<ul style="list-style-type: none">• Povećanje kapaciteta odlagališta na postojećoj lokaciji.• Prihodi od prodaje reciklata (Fe, Al, plastika, staklo itd.).• Proizvodnja energije iz gorive frakcije otpada.• Smanjenje troškova zatvaranja i naknadne skrbi, uz smanjenje štetnih emisija u zrak i podzemne vode.• Korištenje terena za druge gradske namjene.• Popravak baznog brtvila i uklanjanje opasnog otpada	<ul style="list-style-type: none">• Troškovi za zbrinjavanje eventualno otkopanog opasnog otpada.• Kontrola opasnih odlagališnih plinova kod iskopa (metan CH₄ je zapaljiv i eksplozivan, vodikov sulfid H₂S je zapaljiv, smrdljiv i fatalan).• Kontrola slijeganja susjednih ploha odlagališta i susjednog terena.• Jače trošenje opreme za iskopavanje i utovar zbog gustoće otpada, te opreme energana na otpad, zbog abrazivnosti otpada i velikog udjela čestica.

Rudarenje odlagališta provodi se na više načina, ovisno o ciljevima projekta i o specifičnim karakteristikama lokacije. Oprema za rudarenje odlagališta je prvenstveno prilagođena od postojećih tehnologija u rudarstvu, građevinarstvu i gospodarenju otpadom. Glavna oprema je sljedeća:

- **Iskop:** Bager uklanja sadržaj plohe odlagališta. Utovarivač sabire iskopani materijal u hrpe, te odvaja glomazni otpad kao što su kućanski aparati i duži čelični kabeli.
- **Odvajanje zemlje:** Bubnjasta ili vibracijska sita odvajaju zemlju (uključivo pokrovni materijal) od krutog otpada iz iskopanog materijala. Veličine otvora sita ovise o namjeni – veći otvori se koriste za pokrovni materijal (oko 6 cm), a manji otvori za građevinske svrhe. Bubnjasta sita su djelotvornija od vibracijskih sita, koja su manja i pokretnija.
- **Obrada reciklata:** Odvojena zemlja može se koristiti kao pokrovni materijal odlagališta. Odvojeni otpad obrađuje se u mehaničkoj obradi, gdje se izdvajaju vrijedne komponente (čelik, aluminij itd.) ili se vodi u energanu na otpad za proizvodnju energije.

3. PLANIRANJE PROJEKATA RUDARENJA ODLAGALIŠTA

Postupak planiranja projekata rudarenja odlagališta odvija se u dvije faze:

Faza 1. izbor odlagališta za rudarenje i

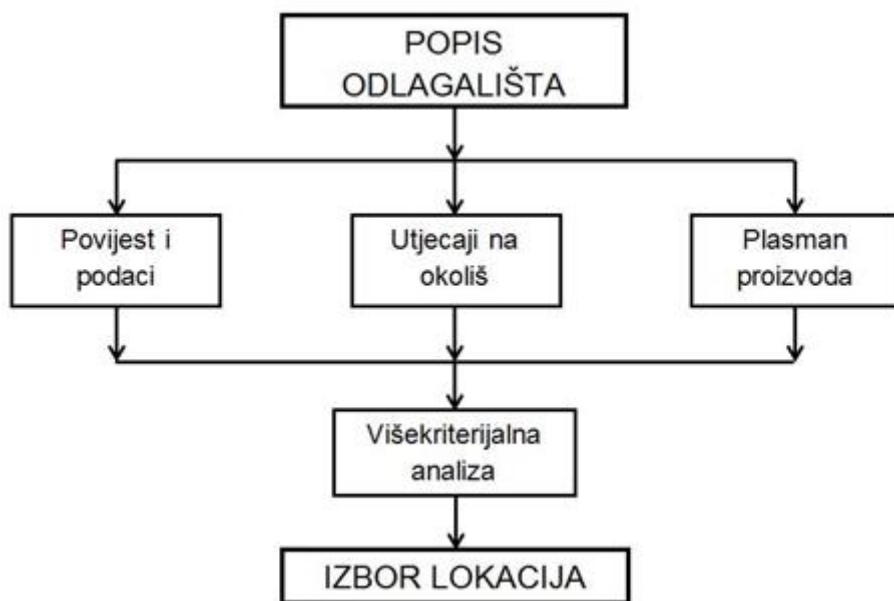
Faza 2. planiranje projekta rudarenja odlagališta.

Faza 1 - Izbor odlagališta za rudarenje

U fazi 1 obavlja se sveobuhvatna (tehno-ekonomska, ekološka, sociološka i dr.) analiza postojećih odlagališta, koja uglavnom sadrži:

- Popis aktivnih (službenih i divljih) i zatvorenih odlagališta,
- Povijest odlaganja otpada (početak i završetak),
- Podatke o količinama, vrstama i sastavu odloženog otpada,
- Utjecaje na zrak i klimu, podzemne i površinske vode, tlo i zdravlje okolnog stanovništva (demografija),
- Mogućnosti plasmana sekundarnih sirovina i energije,
- Izbor jedne ili više lokacija za rudarenje na bazi višekriterijalne analize.

Faza 1 rezultira prijedlogom jedne ili više lokacija odlagališta za rudarenje u određenom vremenu (slika 1).



Slika 1. Izbor lokacija za rudarenje odlagališta

Za izabrane lokacije (jednu li više) prelazi se na Fazu 2 planiranje.

Faza 2 - Planiranje projekta rudarenja odlagališta

U planiranju projekta rudarenja odlagališta preporučuju se sljedeći koraci [3]:

1. Studija karakterizacije lokacije odlagališta
2. Procjena potencijala ekonomskih koristi
3. Istraživanje zakonskih propisa i zahtjeva
4. Preliminarni plan zaštite na radu
5. Procjena troškova projekta

3.1. Studija karakterizacije lokacije odlagališta

Cilj ove studije je odrediti dio odlagališta za rudarenje i kapacitet rudarenja. Uključeni su aspekti: geološke karakteristike, stabilnost okolnih područja, udaljenosti podzemnih i nadzemnih voda, procjena udjela iskoristive zemlje, reciklabilnih materijala, gorivog otpada i opasnog otpada na lokaciji.

3.2. Procjena potencijala ekonomskih koristi

Ta procjena ovisi o lokaciji, a u općem slučaju uključuje:

- povećanje kapaciteta lokacije,
- izbjegnute i smanjene troškove zatvaranja odlagališta, sanacije okolnog područja
- prihode od recyklata (Fe, Al, plastika i staklo), prodaje izgorivog otpada kao goriva; korištenja poboljšane zemlje kao pokrova ili građevinske ispune i
- vrijednost terena lokacije za druge namjene.

U ovom koraku treba ispitati:

- aktualni kapacitet odlagališta i projicirane potrebe,
- troškove zatvaranja ili proširenja odlagališta,
- aktualne i projicirane troškove budućih obveza i
- projiciranu vrijednost reklamiranog tla za druge namjene.

3.3. Preliminarni plan zaštite na radu

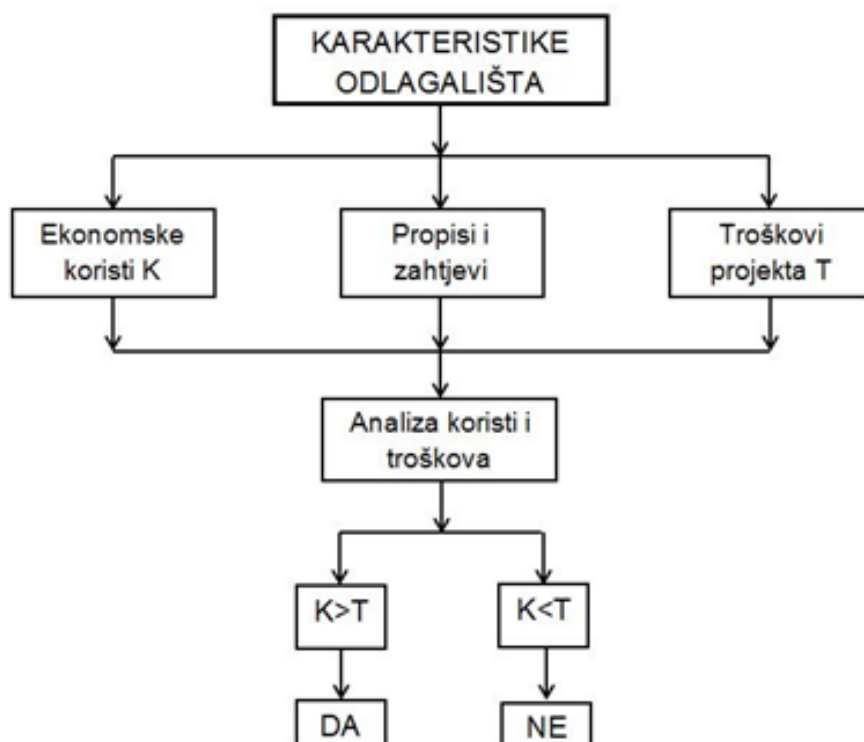
Nakon što se utvrde potencijalni rizici u provedbi projekta, treba izraditi Plan zaštite na radu, koji će poslužiti za trening uključenih radnika. Tipičan plan sadrži postupke, medicinski nadzor, trening i popis zaštitne opreme i odjeće radnika u 3 kategorije sigurnosti (standardna, specijalizirana i monitoring).

3.4. Procjena troškova projekta

Troškovi projekta rudarenja odlagališta sadrže sljedeće kategorije:

- troškovi planiranja projekta,
- investicijski troškovi (priprema lokacije, nabavka ili najam opreme za rudarenje, zaštitu na radu, transportnih sredstava itd.) i
- pogonski troškovi (radna snaga, gorivo i pogonski materijali, odlaganje neiskoristivog iskopanog materijala, administracija, trening radnika itd.).

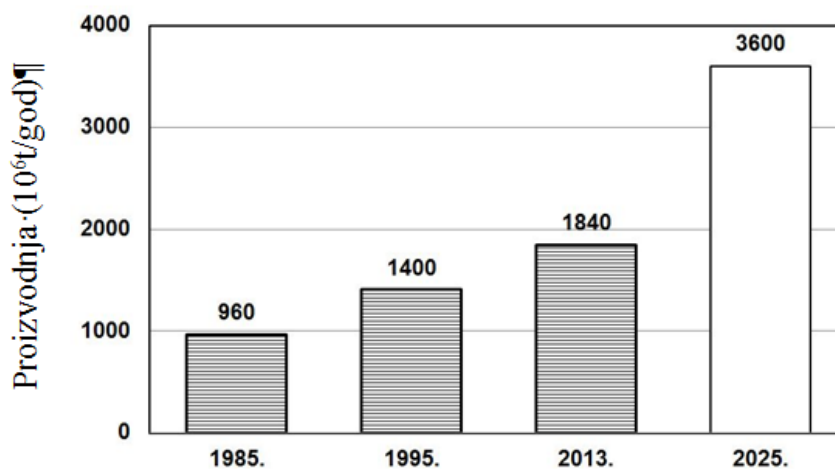
Analiza koristi i troškova projekta je podloga za odluku o provedbi određenog projekta (slika 2).



Slika 2. Analiza koristi i troškova projekta rudarenja odlagališta

4. SVJETSKA ISKUSTVA

Svjetska proizvodnja otpada u stalnom je porastu, što se vidi i na primjeru komunalnog otpada (slika 3).



Slika 3. Proizvodnja komunalnog otpada u svijetu [4,5]

U 2013.godini recikliralo se svega 16% otpada, dok je većina otpada završavala na uređenim ili divljim odlagalištima. U odloženom otpadu nalaze se velike količine uporabivih komponenata, iz kojih se rudarenjem odlagališta mogu dobiti reciklati i gorivo iz otpada za proizvodnju energije.

Prvi projekt rudarenja odlagališta otpada ostvaren je u Izraelu od 1953-1998 na odlagališta Hiriya (Tel Aviv). Prema raspoloživim podacima krajem 2013. moglo se identificirati šezdesetak projekata rudarenja odlagališta otpada (tablica 2).

Tablica 2 Projekti rudarenja odlagališta otpada u svijetu [6]

GLAVNI MOTIV PROJEKTA	EUROPA	SJEVERNA AMERIKA	AZIJA	UKUPNO
Nespecificirano	12	4	2	18
Povećanje kapaciteta	3	4	-	7
Druge namjene	5	-	1	6
Smanjenje zagađenja	2	5	1	8
Poboljšanje odlagališta	4	2	1	7
Recikliranje	3	2	6	11
UKUPNO PROJEKATA	29 (iz 8 država)	17 (SAD 16)	11 (u 7 država)	57

Premda broj identificiranih projekata rudarenja odlagališta nije značajan u odnosu na milijune odlagališta u svijetu, interes za takve projekte u novije vrijeme raste u svijetu. Razlozi tome leže u povećanju cijena sirovina, ograničenjima proširenja odlagališta i pooštrenju propisa zaštite okoliša i zdravlja. Iz tablice 2 je vidljivo da recikliranje otpada nije jedini i dominantan razlog rudarenja odlagališta.

4.1. Sjedinjenje Američke Države (SAD)

U SAD je najveći broj identificiranih projekata rudarenja odlagališta na svijetu. Perspektivno područje je recikliranje platine i rijetkih metala, sadržanih u elektroničkom otpadu, kojeg je 2000. odloženo 4,6 milijuna tona na odlagališta SAD [7]. Troškovi rudarenja odlagališta još su relativno visoki, ali s tendencijom opadanja. Primjeri rudarenja odlagališta u SAD prikazani su u tablici 3.

Tablica 3 Projekti rudarenja odlagališta u SAD [3]

ODLAGALIŠTE	POČETAK RADA	POVRŠINA (ha)	KORIŠTENJE MATERIJALA	GLAVNI CILJEVI
Naples, Collier County, Florida	4.1986.	4 od 13,4	Pokrov odlagališta	Manje obveze, uporaba tla
Edinburgh, New York	12.1990. 9.1992.	0,4 0,65	Građevne ispune	Alternativa zatvaranju odlagališta
Free Farm Pennsylvania	6.1991. 7.1996.	300.000 m ³	Gorivo iz otpada Pokrov	Uporaba goriva i povećanje kapaciteta

- Projekt rudarenja odlagališta Naples na Floridi bio je jedan od prvih te vrste u SAD. Prema cijenama iz 1995. cijena pokrovnog materijala odlagališta bila je 3,25 USD/t, dok je trošak toga materijala iz rudarenog odlagališta iznosio 2,25 USD/t, čime je ostvarena ušteda od 1 USD/t pokrovnog materijala.
- Projekt rudarenja odlagališta Edinburgh bio je uspješan kako u osiguranju vanjskog korištenja rudarenog tla tako i u smanjenju površine odlagališta i odgovarajućih troškova zatvaranja odlagališta.
- Projekt rudarenja odlagališta Free Farm isporučivao je gorivo iz otpada Energani, na otpad u Lancasteru.

4.2. Njemačka

Sa šest identificiranih projekata rudarenja odlagališta, Njemačka je druga u svijetu, iza SAD.

Na odlagalištima otpada u Njemačkoj leži oko 2,5 milijardi tona nesortiranog otpada [8], što predstavlja ogroman resurs, čija vrijednost raste sa sve većom oskudicom i povećanim cijenama strateški važnih sirovina u svijetu. Procijenjeni potencijali sekundarnih sirovina iz rudarenja odlagališta u Njemačkoj prikazani su u tablici 4.

Tablica 4 Potencijali sekundarnih sirovina iz odlagališta Njemačke [9,10]

SEKUNDARNE SIROVINE	POTENCIJAL		POTROŠNJA [Mt/god]
	lit. 9	lit.10	
Željezni šrot	83 Mt	25÷100 Mt	18-23
Neželjezni metali	13 Mt	7÷15 Mt	0,3-0,6
Plastika	-	178 Mt	-
Gorivi otpad	7700 PJ*	490 Mt	2,8-8,4
Fosfor u mulju pročištača (kao P ₂ O ₅)	1 Mt	-	-
Metalurška šljaka	16 Mt	-	-

*Odgovara 50% potrošnje primarne energije u Njemačkoj

Mt = 106t

Usporedbu troškova zatvorenih odlagališta i rudarenja odlagališta prikazuje tablica 5.

Tablica 5 Usporedba troškova zatvaranja i rudarenja odlagališta [10]

MJERA	Troškovi (€/m ³)
Zatvaranje odlagališta i nadzor 30 godina	7÷22*
Zatvaranje odlagališta i nadzor 40-70 godina	9÷27*
Rudarenje odlagališta	do 40

*Bez dodatnih troškova za mjere u vezi procesa starenja.

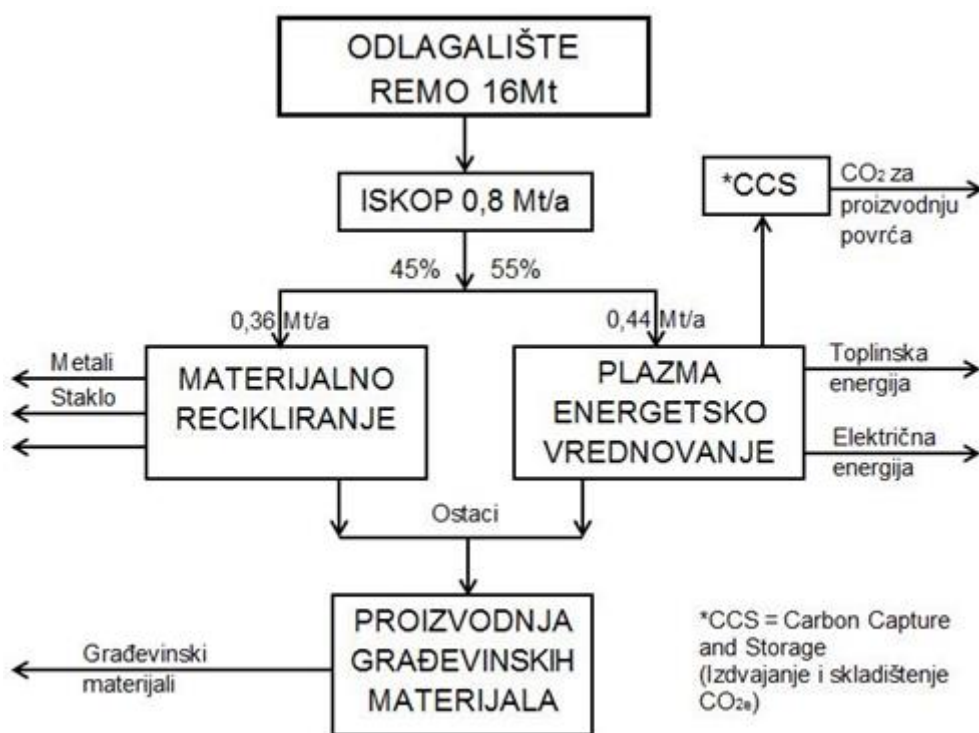
Kao što se vidi iz tablice 5 troškovi zatvaranja odlagališta i nadzora nisu zanemarivi.

Premda zasad nedostaju dovoljna praktična iskustva za dokazivanje ekonomičnosti rudarenja odlagališta, može se konstatirati da ga je opravdano uključiti u ciljeve gospodarenja otpadom.

4.3. Belgija

Inovativni projekt rudarenja odlagališta REMO, 80km istočno od Bruxellesa, započinje realizacijom u 2014. Projekt se smatra inovativnim i zato što koristi plazma tehnologiju za energetske vrednovanje gorive frakcije otpada. Na odlagalište je od 1970. odloženo oko 16 milijuna tona kućanskog i industrijskog otpada. U narednih 20 godina planira se iskopati čitavo odlagalište.

Od iskopanog otpada 45% ide na materijalno recikliranje, a 55% na plazma energetske vrednovanje. Ostaci se koriste za proizvodnju građevinskih materijala, dok se izdvojeni staklenički plinovi (CO₂e) koriste za proizvodnju povrća (slika 4).



Slika 4. Tokovi rudarenja odlagališta REMO u Belgiji [11]

Ukupna investicija je procijenjena na 250 milijuna €, odnosno oko 15,6 € po toni otpada. Projekt je otvorio oko 800 direktnih radnih mjesta. Pripremni radovi (oko 6 milijuna €) uključili su studije, projekte, probne bušotine za provjeru sastava otpada i druge radove.

4.4. Austrija

U Austriji je pokrenut pilot projekt LAMIS (Landfill Mining Steiermark) s ciljem istraživanja mogućnosti rudarenja odlagališta otpada u pokrajini Štajerskoj (Graz) za iskorištavanje vrijednih svojstava oko 32 milijuna tona odloženog otpada u proteklih 50 godina [12].

U Štajerskoj s oko 1,3 milijuna stanovnika ima 147 odlagališta otpada, od čega 81 u pogonu. Ispunjeni volumen odlagališta iznosi oko 23 milijuna m³ (1,39 t/m³), a raspoloživi volumen za odlaganje je približno 2,5 milijuna m³, što je dovoljno za 11 godina.

Glavni ciljevi pilot projekta LAMIS su:

- prikupljanje podataka o količinama, vrstama i sastavu odloženog otpada,
- određivanje jednog ili više odlagališta, povoljnih za rudarenje,
- istraživanje potencijala odloženih sekundarnih sirovina,
- probne bušotine i analiza sortiranja,
- analiza tehnologije rudarenja, itd.

Iz toga će se precizirati relevantni projekti i potrebni propisi za rudarenje odlagališta.

5. HRVATSKA

U Hrvatskoj nisu zabilježene ozbiljnije aktivnosti oko rudarenja odlagališta, osim što se prilikom sanacije odlagališta Jakuševac u Zagrebu kratkotrajno prosijavao iskopani otpad, kao i na odlagalištu Totovec (Čakovec).

5.1. Podaci o otpadu

Ukupna količina proizvedenog otpada u Hrvatskoj 2012. iznosila je 3,37 milijuna tona, od čega je komunalni otpad iznosio 1,67 milijuna tona ili oko 50% od ukupnog otpada [13]. Od proizvedenog komunalnog otpada u sustav gospodarenja otpadom ulazi otpad stanovništva obuhvaćenog organiziranim skupljanjem otpada. Ta količina otpada umanjuje se za odvojeno skupljeni otpad, a preostali miješani otpad se odlaže na odlagališta, što prikazuje tablica 6.

Tablica 6 Količine komunalnog otpada u Hrvatskoj [14]

KOLIČINA (Mt/a)	1995.	2000.	2005.	2010.	2012.	Prosjek
Proizvedeno	0,979	1,173	1,449	1,63	1,67	~ 1,4
Obuhvat (%)	0,57	0,8	0,88	0,96	0,99	~ 0,9
U sustavu	0,56	0,94	1,28	1,57	1,65	~ 1,26
Odvojeno	N.P.	N.P.	N.P.	0,228	0,382	~ 0,1
Odloženo	~0,5	~0,9	~1,1	1,34	1,27	~ 1,15

N.P. = Nema podataka

Procjenu sastava miješanog komunalnog otpada prikazuje tablica 7.

Tablica 7 Sastav miješanog komunalnog otpada 2013. u Hrvatskoj [15]

KOMPONENTA	UDIO (%)
Papir i karton	27,2
Kuhinjski otpad	26,5
Plastika	26,3
Pelene	5,5
Otpad iz vrtova	4,1
Staklo	3,6
Tekstil	3,4
Metali	1,1
Drvo	1,0
Inertni otpad	0,7
Ostalo	0,6
UKUPNO	100,0

Iz tablice 7 proizlazi da je gorivi otpad sudjelovao sa 65% u miješanom komunalnom otpadu na odlagalištima Hrvatske 2013.

5.2. Odlagališta otpada

U Hrvatskoj je krajem 2012. bilo oko 300 službenih i oko 3000 neslužbenih/divljih odlagališta.

Pregled službenih odlagališta otpada u Hrvatskoj krajem 2012. sa stanjem sanacije izložen je tablici 8.

Tablica 8 Službena odlagališta Hrvatske krajem 2012. [14]

SANACIJA	Aktivna	Zatvorena	UKUPNO
Završena	19	94	113
U toku	38	13	51
U pripremi	83	55	138
UKUPNO	140	162	302

Iz tablice 8 se vidi da je više od pola službenih odlagališta u Hrvatskoj zatvoreno i da je većina zatvorenih odlagališta sanirana, dok je od aktivnih odlagališta manji broj saniran. Od oko 3000 neslužbenih/divljih odlagališta do kraja 2012. bilo ih je 750 saniranih, uglavnom odvozom otpada, te još 257 ugovorenih sanacija. Procjenu ukupno odloženog otpada na službenim odlagalištima Hrvatske daje tablica 9.

Tablica 9 Ukupno odloženi otpad na službenim odlagalištima Hrvatske [16]

Do godine	ODLOŽENO	
	10 ⁶ m ³	10 ⁶ t
2004.	35,5	49,3
2010	41,0	57,0
2012	43,0	60,0

Do 2012. godine na službenim odlagalištima Hrvatske bilo je odloženo oko 60 milijuna tona miješanog otpada, odnosno oko 4,3 t po stanovniku. Procijenjena vrijednost odloženog miješanog otpada za 10 godina iznosi oko 5 milijardi kuna ili oko 500 milijuna kuna godišnje [5]. Za odloženih oko 1,3 Mt godišnje bi vrijednost miješanog komunalnog otpada iznosila oko 385 kuna po toni ili oko 50 EUR po toni.

Procijenjena vrijednost odloženog otpada na službenim odlagalištima Hrvatske do kraja 2012. iznosi:

$V \cong 60 \times 10^6 \text{ t} \times 50 \text{ €/t} \cong 3000 \times 10^6 \text{ EUR}$ odnosno oko 3 milijarde EUR, što nije zanemariv potencijal.

5.3. Istraživanje rudarenja odlagališta u Hrvatskoj

Da bi se ustanovila opravdanost pokretanja rudarenja odlagališta u Hrvatskoj, trebalo bi izraditi odgovarajuću studiju u dvije faze:

Faza 1 - Izbor odlagališta za rudarenje

Faza 2 - Planiranje projekta rudarenja odlagališta prema sadržaju iz točke 3. ovoga rada.

6. ZAKLJUČAK

Rudarenje odlagališta ima dva osnovna cilja:

- A. Smanjivanje dugotrajnih štetnih utjecaja odloženog otpada na podzemne vode, okoliš, klimu i zdravlje ljudi.
- B. Iskorištavanje uskladištenog otpada za dobijanje sekundarnih sirovina i goriva iz otpada.

Premda je dosad identificirano svega šezdesetak projekata rudarenja odlagališta u svijetu, interes za takve projekte raste aktualizacijom navedenih ciljeva.

U Hrvatskoj na tome području nije bilo značajnijih aktivnosti, pa bi bilo preporučivo pokrenuti izradu Studije rudarenja odlagališta, gdje bi se u prvoj fazi obavio izbor odlagališta za rudarenja, a u drugoj fazi planirali projekti rudarenja konkretnih odlagališta.

6. LITERATURA

- [1] EURELCO Organization and Management, www.elfm.eu, 15.1.2014
- [2] Global Landfill Mining Conference, 11.2014, London, www.landfill-mining.co.uk
- [3] Landfill Reclamation, US Environment Protection Agency (EPA), www.epa.gov
- [4] V. Potočnik, Obrada komunalnog otpada, Svjetska iskustva, MTG Zagreb, 1997.
- [5] ISWA Report 2013, www.iswa.org
- [6] K. Warren, A. Read, Landfill: Goldmine or Minefield? Waste Management World, 1-2.2014.

- [7] Mining Landfills, Strategic Metals, www.web.mit.edu
- [8] Rudarenje odlagališta otpada, GEO 10/2013
- [9] M. Franke et al., Resource Potential of Landfill Mining – A National and Regional Evaluation
- [10] M. Buckert et al., Landfill Mining – Option oder Fiktion? Oeko Institut Darmstadt, Juli 2013, www.resourcefever.org
- [11] P. Laevers et.al., Closing the circle; Enhanced Landfill Mining, Waste Management World, 2013.
- [12] Landfill Mining - eine neue Rohstoffstrategie des Landes Steiermark, www.abfallwirtschaft.steiermark.at, 2014
- [13] Okoliš na dlanu 2014, Agencija za zaštitu okoliša (AZO) Zagreb
- [14] Izvješće o komunalnom otpadu za 2014, AZO Zagreb
- [15] Gospodarenje otpadom – Gospodarstvo-Cirkularna ekonomija, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode RH, 1.2014
- [16] Okoliš na dlanu 2011, AZO Zagreb

SANACIJA LOKACIJE BIVŠE TVORNICE ELEKTRODA I FEROLEGURA U ŠIBENIKU

THE REMEDIATION OF CONTAMINATED SITE OF THE FORMER ELECTRODES AND FERROALLOYS FACTORY IN ŠIBENIK

dr. sc. Nirvana Franković Mihelj, dipl. ing. kem. teh. ^{1*};

dr. sc. Božica Šorgić, dipl. ing. kem. ²; **dr. sc. Ivan Pilaš, dipl. ing. šum.** ³

¹ Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost, Ksaver 208, Zagreb

²Oikon d.o.o., Institut za primijenjenu ekologiju, Trg senjskih uskoka 1-2, Zagreb

³Šumarski institut, Cvjetno naselje 41, Jastrebarsko

*e-mail kontakt: nirvana.fm@fzoeu.hr

SAŽETAK

Tvornica elektroda i ferolegura (TEF) iz Šibenika, koja je proizvodila ferolegure i ugljeno grafitne elektrode, prestala je s radom 1994. godine, a četiri godine kasnije Vlada Republike Hrvatske donijela je niz mjera za zatvaranje poduzeća.

Sanacija lokacije bivše tvornice provodila se u tri neovisna projekta: razgradnja i rušenje građevinskih objekata, sanacija onečišćenog tla i zbrinjavanje raznih vrsta otpada zaostalih iz proizvodnje te zbrinjavanje otpadne troske.

Razgradnja i rušenje građevinskih objekata na lokaciji TEF-a, nakon što je većina nadzemnih objekata srušena do razine tla, završena je 2002. godine. Oporaba i zbrinjavanje otpadne troske, koja je započela 2005. godine, početnu je količinu od 800.000 t do konca 2013. godine višestruko smanjila, ali ne i u potpunosti uklonila s lokacije.

Sanacija tla, onečišćenog organskim onečišćenjem, policikličkim aromatskim ugljikovodicima (PAH-ovi) i mineralnim ugljikovodicima, započela je 2008. godine kada su provedeni radovi koji su se odnosili na iskop, separaciju opasnog otpada od neopasnoga te zbrinjavanje neopasnog otpada.

Opasni otpad, tj. iskopano onečišćeno tlo s koncentracijom PAH-ova većom od 1000 mg/kg, termički je obrađeno, a neopasni otpad zaostao nakon termičke obrade je materijalno oporabljen u proizvodnji kamenog agregata koji služi za održavanje cesta.

U svrhu izrade završnog izvješća o provedenom postupku sanacije opasnog otpada na lokaciji bivše tvornice, odnosno elaborata o kvaliteti provedene sanacije s obzirom na izrađenu projektnu dokumentaciju i postojeće zakonodavstvo, provedena je analiza površinskog sloja tla na lokacijama na kojima je bilo utvrđeno onečišćenje te je uspostavljen monitoring sukladno mjerama predviđenima projektnom dokumentacijom.

Budući da u Europskoj uniji opće mjere za upravljanje tlom na industrijskim lokalitetima kao što je TEF (analiza nultog stanja, monitoring, standardi, remedijacija) definira Direktiva o industrijskim emisijama (IED), a svaka od zemalja članica zadužena je za detaljnu razradu i implementaciju nacionalnog sustava, zajednička politika upravljanja onečišćenim tlom ne postoji.

U ovome radu analizirani su postojeći zakonodavni okviri, procijenjeni stupnjevi onečišćenja s obzirom na utjecaj onečišćenja na ljudsko zdravlje i okoliš, a s obzirom na planiranu namjenu lokacije predložene su ciljane granične vrijednosti onečišćujuće tvari u saniranom tlu.

Ključne riječi: *Tvornica elektroda i ferolegura, sanacija, policiklički aromatski ugljikovodici, mineralni ugljikovodici*

ABSTRACT

Electrodes and Ferroalloys Factory (TEF) in Šibenik, which was producing ferroalloys and graphite electrodes, ceased its production in 1994. Four years later, the Croatian Government adopted a series of measures to completely terminate factory operations.

Remediation of the site of the former factory was carried out through three independent projects: deconstruction and demolition of buildings; remediation of contaminated soil and management of various types of waste left over from the production, and recovery and disposal of waste slag.

Both the deconstruction and demolition of buildings were completed in 2002. Recovery of 800,000 t of waste slag and materials left over from this recovery started in 2005. In 2013, a large quantity of this material was still deposited at the location.

Remediation of the soil contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and mineral hydrocarbons started in 2008. Remediation process included excavation, separation of hazardous and non-hazardous waste and disposal of non-hazardous waste at the municipal landfill.

Hazardous waste, soil with the PAH concentration greater than 1000 mg PAH/kg d.m., was thermally treated. Non-hazardous waste, being the product of the thermal treatment process, was recovered as aggregate that can be used for road building and construction.

In order to develop a report on the quality and efficacy of the applied remediation technologies in accordance with previous project documentation and existing national legislation, the survey of top-soil at the most polluted sites within factory area was performed. In accordance with the previous project documentation, monitoring was established as well.

In the European Community, soil protection measures at industrial site such as TEF (baseline state of soil, monitoring program, soil screening values and remediation technologies) are defined by the Industrial Emission Directive (IED) and each Member state may further determine detailed procedures in order to ensure the compliance with this Directive. Therefore, there is a lack of the common frameworks in Europe for the contaminated soil management.

Regarding this, a review analysis of existing legislation, risk assessment for human health and the environment related to the future land use as well as the recommendation of the soil screening values were given in this article.

Keywords: *Electrodes and Ferro-alloys Factory, remediation, polycyclic aromatic hydrocarbons, mineral hydrocarbons*

1. UVOD

Na lokaciji Tvornice elektroda i ferolegura (TEF), smještenoj u sjeverozapadnom dijelu grada Šibenika zvanom Crnica, industrijska proizvodnja započela je 1900. godine kada je utemeljena tvornica karbida Sufid. Na istoj je lokaciji proizvodnja cijanamida započela 1908. godine i odvijala se do sredine tridesetih godina 20. stoljeća kada je pokrenuta proizvodnja ferolegura. Proizvodnja ugljeno grafitnih elektroda započela je nakon II. Svjetskog rata i trajala je sve do gašenja tvornice 1994. godine.

Za vrijeme proizvodnje ferolegura, koja se odvijala u zapadnom dijelu tvorničkoga kruga, javljala su se onečišćenja u vidu emisija u zrak, a kao posljedica manipulacije sirovinama i procesa izgaranja u peći. Nakon prestanka rada postrojenja, na lokaciji je zaostala velika količina otpadne troske (šljake) koja je do sredine 70-ih godina 20. stoljeća odlagana duž obale i na više lokacija unutar tvorničkogaa kruga.

Proizvodnja ugljeno grafitnih proizvoda odvijala se u objektima starih i novih komornih peći smještenima u istočnom dijelu tvorničkoga kruga, koja je ujedno bila i najveći izvor emisija onečišćujućih tvari u okoliš, prvenstveno hlapivih organskih spojeva i poliaromatskih ugljikovodika. Glavno onečišćenje voda izazivale su tzv. fenolne vode iz proizvodnje generatorskog plina koje su se u početku ispuštale u okoliš kroz prirodnu vrtaču, a kasnije su se spaljivale otvorenim plamenom u taložnici, pri čemu je dolazilo do nepotpunog izgaranja i resublimacije materijala. U zadnjoj fazi rada tvornice takve vode odvozile su se na odlagalište komunalnog otpada.

Tvornica elektroda i ferolegura prestala je s radom 1994. godine, a četiri godine kasnije Vlada Republike Hrvatske donijela je niz mjera za zatvaranje poduzeća.

Sanacija lokacije bivše tvornice provodila se u tri neovisna projekta i to :

1. Razgradnja i rušenje građevinskih objekata,
2. Sanacija otpadne troske,
3. Zbrinjavanje raznih vrsta otpada zaostalih iz proizvodnje i sanacija onečišćenog tla.

Razgradnja i rušenje građevinskih objekata na lokaciji TEF-a, nakon što je većina nadzemnih objekata srušena do razine tla, završena je 2002. godine. Oporaba i zbrinjavanje otpadne troske, koja je započela 2005. godine, početnu je količinu od 800.000 t do konca 2013. godine višestruko smanjila, ali ne i potpuno uklonila s lokacije.

Nakon uklanjanja većine nadzemnih objekata započelo se s pripremom sanacije terena za što je trebalo zbrinuti razne vrste otpada zaostalog iz proizvodnje i to: feromangansku trosku, katran, fenolne ostatke, karborundum, kovarinu, otpadne grafitne elektrode i dr. U tu svrhu provedena su detaljna ispitivanja terena i svih vrsta otpada kako bi se klasificirao otpad i odredio opseg onečišćenja tla, podzemnih voda i morskog sedimenta te kako bi se, temeljem dobivenih nalaza, predložile tehnologije oporabe/zbrinjavanja otpada, uključujući sanaciju onečišćenog tla.

2. SANACIJA ONEČIŠĆENOG TLA

Nakon istražnih radova, provedenih za potrebe sanacije lokacije, izrađena je stručna dokumentacija te su pribavljene odgovarajuće potvrde i suglasnosti nadležnog ministarstva za zaštitu okoliša [2, 3, 6 – 10, 12 – 15].

Utvrđena su potencijalna onečišćenja tla i vrste otpada koje je bilo potrebno ukloniti i sanirati:

- Industrijski neopasni otpad
- Tlo onečišćeno mineralnim ugljikovodicima
- Tlo onečišćeno policikličkim aromatskim ugljikovodicima – PAU (polycyclic aromatic hydrocarbons – PAH-ovima)
- Katran u katranskoj jami i bačvama
- Spremnički prostor loživog ulja i API separator
- Morski sediment.



Slika 1. Vrste i lokacije prisutnog otpada i onečišćenja tla na lokaciji bivše Tvornice elektroda i ferolegura zatečene 2006. godine [6]

Programom sanacije okoliša bivše Tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku [7] iz 2006. godine za zemljište za koje je utvrđeno da je onečišćeno PAH-ovima i mineralnim ugljikovodicima predviđeno je nekoliko metoda sanacije: bioremedijacija, termička obrada i solidifikacija. Nadležno ministarstvo za zaštitu okoliša je kao najprihvatljiviju metodu za sanaciju tla onečišćenog PAH-ovima odredilo metodu solidifikacije, tj. postupak kojim se opasne onečišćujuće tvari vežu u čvrste materijale visoke strukturne stabilnosti te se tako smanjuje njihova toksičnost, topivost i mobilnost. Dopunom Programa sanacije bivše Tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku [2] postupkom solidifikacije predviđeno je obraditi zemljište i građevinski granulat onečišćen PAH-ovima u koncentraciji nižoj od 1000 mg/kg te provesti pilot projekt termičke obrade onečišćenog zemljišta i građevinskog granulata koji sadrži iznad 1000 mg PAH-ova /kg s.t., a za koje se metoda solidifikacije smatrala nedovoljno učinkovitom.

Sanacija tla onečišćenog organskim onečišćenjem, policikličkim aromatskim ugljikovodicima (PAH-ovi) i mineralnim ugljikovodicima započela je 2008. godine kada su provedeni radovi koji su se odnosili na iskop, separaciju opasnog od neopasnog otpada te zbrinjavanje neopasnog otpada.

Za opasni otpad, tj. za iskopano onečišćeno tlo s koncentracijom PAH-ova većom od 1000 mg/kg s.t., godine 2009. je proveden pilot projekt termičke obrade. Materijal zaostao nakon termičke obrade je materijalno oporabljivan u proizvodnji kamenog agregata za održavanje cesta. Kontinuirano praćenje emisija onečišćujućih tvari iz nepokretnog izvora pokazalo je da tijekom termičke obrade nije došlo do prekoračenja propisanih graničnih vrijednosti emisije (GVE) u zrak.

Početak 2011. godine završeni su radovi na uklanjanju otpada zatečenog na lokaciji i iskopu onečišćenog zemljišta. Dio neopasnog otpada, za koji su analize ovlaštenih laboratorija pokazale da se prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i

uvjetima rada za odlagališta otpada ("Narodne novine", broj 117/07, 111/11, 17/13 i 62/13) radi o otpadu koji se može odložiti na odlagalište neopasnog otpada, naknadno je odvezen na odlagalište neopasnog otpada Bikarac u Šibeniku, a dio je iskorišten za nasipavanje terena kod pogona prerade troske.

Opasni otpad, iskopano onečišćeno tlo s koncentracijom PAH-ova većom od 1000 mg/kg je, temeljem ranije provedenog pilot projekta, oporabljjen termičkom obradom.

U svrhu izrade završnog izvješća o provedenom postupku sanacije opasnog otpada na lokaciji bivše tvornice, odnosno izrade elaborata o kvaliteti provedene sanacije s obzirom na izrađenu projektnu dokumentaciju i postojeće zakonodavstvo, sredinom 2014. godine provedene su analize površinskog sloja tla uzorkovanog na 12 lokacija na područjima na kojima su prethodno bila utvrđena onečišćenja PAH-ovima i mineralnim uljima.

3. ZAKONSKE ODREDBE O TLU

U Republici Hrvatskoj nema pravnih propisa koji se izravno odnose na motrenje stanja tla i prikupljanje podataka o potencijalno onečišćenim i onečišćenim tlima. U pojedinim postojećim zakonskim aktima i pratećim propisima neizravno se spominju problemi potencijalno onečišćenih i onečišćenih tala, ali ne postoji zakonski okvir koji bi jasno definirao onečišćenost tla, vrste i granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu kao što je to jasno definirano za zrak i vode.

Stoga su u stručnoj dokumentaciji, koja je izrađena za potrebe sanacije, a kako bi se utvrdila onečišćenost tla, korišteni nizozemski propisi (tzv. nizozemska lista) te nacionalni propisi vezani za gospodarenje otpadom. Dodatno otežavajuća okolnost je dugotrajnost postupka jer je proces uklanjanja objekata i sanacije lokacije započeo još 1999. godine, a tijekom provođenja postupka sanacije došlo je do promjene nekoliko ključnih zakonskih propisa o otpadu, što je utjecalo i na sam proces sanacije. U vrijeme kada je proces sanacije započeo, vrijedili su sljedeći propisi: Zakon o zaštiti okoliša ("Narodne novine", broj 82/94, 128/99), Pravilnik o vrstama otpada ("Narodne novine", broj 26/99), Zakon o otrovima ("Narodne novine", broj 27/99), Pravilnik o uvjetima za postupanje s otpadom ("Narodne novine", broj 123/97, 112/01) i Uredba o uvjetima za postupanje s opasnim otpadom ("Narodne novine", broj 32/98). U međuvremenu je donesen Zakon o otpadu ("Narodne novine", broj 178/04, 110/06), Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada ("Narodne novine", broj 50/05, 39/09) i Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada ("Narodne novine", broj 117/07, 111/11, 117/13, 62/13).

Pravilnik o mjerama otklanjanja šteta u okolišu i sanacijskim programima ("Narodne novine", broj 145/08) definira mjere za otklanjanje šteta, obvezni sadržaj sanacijskog programa, metodologiju izrade i ocjenu sanacijskog programa, izdavanje suglasnosti na provedenu sanaciju, metode utvrđivanja prihvatljivih predloženih varijanata, analizu isplativosti rizika pojedinih metoda sanacije, troškove provedbe te prijedlog praćenja stanja u okolišu na onečišćenoj lokaciji nakon sanacije.

Sredinom 2013. godine donesen je novi Zakon o zaštiti okoliša ("Narodne novine", broj 80/13) koji člankom 13. propisuje da ako je šteta u okolišu nastala kao rezultat obavljanja djelatnosti fizičke ili pravne osobe, ista je dužna otkloniti, odnosno sanirati štetu u okolišu prvenstveno na izvoru nastanka. Prema istom zakonu se po završetku sanacije podnosi izvješće nadležnom Ministarstvu za zaštitu okoliša o provedenoj sanaciji. Izvješćem se potvrđuje da je provedena sanacija štete u okolišu u skladu s odobrenim sanacijskim programom kojim su prethodno

utvrđene mjere za sanaciju štete u okolišu, mjere zaštite okoliša te program praćenja stanja okoliša nakon provedene sanacije.

Tlo predstavlja jednu od okolišnih sastavnica čija je zaštita propisana Zakonom o zaštiti okoliša te drugim zakonskim propisima. Jedan od nedostataka zaštite tla u Europskoj uniji (EU) je nepostojanje jedinstvene zakonske osnove koja bi sveobuhvatno, na jednom mjestu, propisala sve potrebne mjere zaštite. Nedavna rasprava vezana uz zaštitu tla u EU imala je svoje polazište u Tematskoj strategiji o zaštiti tla u EU, donesenoj 2006. godine i u Prijedlogu za okvirnu direktivu o tlu za koju, do danas, nije postignut zajednički dogovor između zemalja članica. Posredno, međutim, zaštita tla je uključena u više okvirnih direktiva EU kao što su: EU direktiva o otpadu, Okvirna direktiva o vodama i Direktiva o okolišnoj odgovornosti. Jedan od najneposrednijih pomaka spram reguliranja zaštite tla predstavlja EU direktiva o industrijskim emisijama (IED) koja zahtijeva ishođenje okolišnih dozvola za postrojenja u kojima su propisani zahtjevi za periodičko praćenje (monitoring) tla i podzemnih voda. IED zahtijeva izradu izvješća o nultom stanju onečišćenosti tla i podzemnih voda (*baseline report*) prije neposrednog početka rada postrojenja. Nakon zatvaranja pogona, stanje onečišćenosti tla i podzemnih voda se mora ponovno analizirati i, utvrdi li se značajniji odmak u odnosu na nulto stanje (značajno onečišćenja tla), moraju se provesti neophodne mjere remedijacije. Puna implementacija IED-a zahtijeva izgradnju kompletnog sustava upravljanja onečišćenim tlom kako bi se omogućila provedba načela „onečišćivač plaća“ te smanjio rizik od onečišćenja tla, odnosno podzemnih voda.

U pravni poredak Republike Hrvatske odredbe IED-a, vezane uz emisije u tlo iz industrijskih postrojenja, prenesene su Uredbom o okolišnoj dozvoli ("Narodne novine", broj 8/14) i Uredbom o procjeni utjecaja zahvata na okoliš ("Narodne novine", broj 61/14).

Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta ("Narodne novine", broj 09/14) i Pravilnik o metodologiji za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta ("Narodne novine", broj 60/10) definiraju granične vrijednosti potencijalno onečišćujućih tvari u tlu prema različitim načinima iskorištavanja tla. Njihove se odredbe, međutim, odnose isključivo na poljoprivredno zemljište, ali ne i na ostale namjene tla.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

U svrhu izrade procjene stanja lokacije bivše tvornice, a s obzirom da ne postoji zajednička definicija onečišćenja tla niti na nivou Republike Hrvatske niti Europske unije (EU), kao niti podaci o sadržaju onečišćujućih tvari u odnosu na temeljne, izvorne pozadinske vrijednosti (background values) lokacije, dodatno su analizirane granične vrijednosti za pojedine onečišćujuće tvari koje se odnose na različite načine korištenja zemljišta.

Za definiranje stupnja/stanja onečišćenosti tla u nekom području najčešće se koriste pojmovi: ciljane (poželjne), upozoravajuće i kritične/interventne/opasne vrijednosti tla.

U Tablicama 1. – 3. prikazan je pregled upozoravajućih i kritičnih vrijednosti koncentracija policikličkih aromatskih ugljikovodika te mineralnih ugljikovodika u tlu na područjima za stambenu namjenu u pojedinim zemljama EU [1].

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.
13th INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM ZAGREB 2014.

Tablica 1 Upozoravajuće vrijednosti PAH-ova u tlu izražene u mg/kg s.t. na područjima za stambenu namjenu u pojedinim zemljama EU [1]

	Austrija	Belgija F	Belgija W	Češka	Finska	Njemačka	Slovačka	Danska	Švedska
Benzo(a)antracen		10,5	1	4	1		5		
Benzo(g,h,i)perilen		3920	3	20		10			
PAH-ovi (ukupni)	1				15		20	4	
Benzo(a)piren	0,5		0,5	1,5	0,2	4	1		

Tablica 2. Kritične vrijednosti PAH-ova u tlu izražene u mg/kg s.t. na područjima za stambenu namjenu u pojedinim zemljama EU [1]

	AUT	BE (F)	BE (B)	BE (W)	CZE	FIN	ITA	LTU	NLD	POL	ESP	UK	DNK
Naftalen		5	5		60	5	5	5		12,5	8		
Antracen		70	70		60	5	5	5		12,5	100		
Benzo(a)antracen		10,5	10,5	5	5	5	0,5			12,5	2		
Benzo(g,h,i)perilen		3920	3920	15	30		0,1			10			
Benzo(a)piren	5	1,5	1,5	4,4	2	2	0,1	0,1		7,5	0,2		
PAH-ovi (ukupni)	50					30	10	5	40	30			40

Legenda: Austrija (AUT); Belgija Flandrija (BE(F)); Belgija Bruxelles (BE(B)), Belgija Walloon (BE(W)); Češka (CZE); Finska (FIN); Italija (ITA); Litva (LTU); Nizozemska (NLD); Poljska (POL); Španjolska (ESP); Velika Britanija (UK) za zaštitu ljudskog zdravlja; Danska (DNK)

Tablica 3. Upozoravajuće i kritične vrijednosti mineralnih ulja u tlu izražene u mg/kg s.t. u pojedinim zemljama EU

	Austrija	Belgija F	Belgija B	Belgija W*	Nizozemska	Slovačka
upozoravajuće vrijednosti na područjima za stambenu namjenu**						
ugljikovodici (mineralna ulja)	50	1000	1000	750	50	500
kritične vrijednosti na područjima za stambenu namjenu						
ugljikovodici (mineralna ulja)	-			5000	5000	1000

*ugljikovodici od C10 do C40

** definirano samo za Austriju i Belgiju

Američka agencija za okoliš (U.S. EPA) dala je smjernice za provedbu ekološke procjene rizika, koja je sastavni dio dokumenata Programa sanacije i Studije izvodivosti. Ekološka procjena rizika provodi se kako bi se procijenio rizik utjecaja prisutnog onečišćenja na nekoj specifičnoj lokaciji na ljudsko zdravlje (uključujući utjecaj na radnike koji će izvoditi radove prilikom prenamjene te lokacije) i ekosustav u ovisnosti o budućoj namjeni lokacije (poljoprivredno područje, stambena zona, dječji parkovi, poslovna namjena i industrijsko područje), fizikalno-kemijskim karakteristikama tla, vjerojatnosti širenja onečišćenja u prostoru i načinu djelovanja onečišćenja na sastavnice okoliša i ljudsko zdravlje. U ovakvom pristupu granične vrijednosti mogu biti različite na pojedinim lokacijama, a ovisno o lokalnim uvjetima okoliša i stupnju rizika utjecaja onečišćenja na sastavnice okoliša i/ili ljudsko zdravlje. Nakon izrade takve procjene, izradom Studije izvodivosti daju se prijedlozi načina sanacije. EPA je izdala dokument Soil Screening Guidance koji predstavlja okvir za određivanje upozoravajućih razina onečišćenosti tla i podzemnih voda (Soil Screening Level – SSL) za pojedine onečišćujuće tvari, tj. granične koncentracije onečišćujućih tvari u tlu i podzemnoj vodi koje neće predstavljati rizik za ljudsko zdravlje i ekosustav na očišćenoj lokaciji i to u ovisnosti o budućoj namjeni lokacije [16].

U Republici Hrvatskoj je tijekom 2010. godine proveden projekt PHARE 2006 „Razvoj sustava gospodarenja opasnim otpadom u Republici Hrvatskoj uključujući identifikaciju i upravljanje lokacijama visoko onečišćenim opasnim otpadom“ (Development of hazardous waste management system, including the identification and management of „Hot spot sites“ in Croatia), koji je proveo međunarodni konzorcij predvođen danskom tvrtkom Ramboll [11]. U okviru zaključaka ovog projekta predložene su i vrijednosti parametra onečišćenja tla na lokacijama tzv. "crnih točaka", a koje su za policikličke aromatske ugljikovodike dane u Tablici 4. Ukupna koncentracija PAH-ova odnosi se na zbroj koncentracija 10 spojeva: naftalen, antracen, fluoranten, benzo(a)antracen, kripten, benzo(a)fluoranten, benzo(a)piren, benzo(ghi)perilen, indeno(1,2,3-c,d)piren, benzo(k)fluoranten.

Tablica 4. Ciljane vrijednosti onečišćenosti tla PAH-ovima na lokacijama "crne točke" u Hrvatskoj prema budućoj namjeni područja [11]

Ukupni PAH-ovi (suma 10 PAH-ova) [mg/kg]				
Poljoprivredno tlo	Igrališta	Stambeno područje	Parkovi i područja za odmor	Industrija i poslovni objekti
2	2	7,5	20	50

U Priručniku za trajno motrenje tala Hrvatske [5] predloženo je preuzimanje standarda Republike Njemačke koji ne prepoznaje ukupne PAH-ove već samo benzo(a)piren i to u ovisnosti o budućoj namjeni zemljišta.

Tablica 5. Granične vrijednosti onečišćujućih tvari u tlu prema budućoj namjeni korištenja područja [5]

granične vrijednosti [mg / kg TM]				
TVAR	Dječja igrališta	Rezidencijalna područja	Parkovi i rekreacijska područja	Područja za industrijske i komercijalne svrhe
Arsen	25	50	125	140
Olovo	200	400	1000	2000
Kadmij	10	10	50	60
Cijanidi	50	50	50	100
Krom	200	400	1000	1000
Nikal	70	140	350	900
Živa	10	20	50	80
Aldrin	2	4	10	-
Benzo(a)piren	2	4	10	12
DDT	40	80	200	-
Heksaklorbenzen	4	8	20	200
Heksaklorcikloheksan (HCH-smjesa ili β -HCH)	5	10	25	400
Pentaklorfenol	50	100	250	250
Poliklorirani bifenili (PCB)	0,4	0,8	2	40

Granične vrijednosti onečišćujućih tvari, ukupna koncentracija PAH-ova, u tlu prema različitim načinima korištenja tla, kao prijedlog Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu [4], prikazane su u Tablici 6.

Tablica 6. Granične vrijednosti ukupnih PAH-ova u tlu izraženih u mg/kg s.t. prema različitim načinima korištenja tla [4]

GV mg/kg s.t.				
tlo za poljoprivrednu proizvodnju	dječja igrališta	područja za stanovanje	parkovi i područja za odmor	područje za industrijske i poslovne svrhe
2	2	7,5	15	50

5. ZAKLJUČAK

Prema odredbama Zakona o zaštiti okoliša ("Narodne novine", broj 80/13) po završetku sanacije nadležnom se Ministarstvu za zaštitu okoliša i prirode podnosi izvješće o provedenoj sanaciji. Izvješćem se potvrđuje da je provedena sanacija štete u okolišu u skladu s odobrenim sanacijskim programom kojim su prethodno utvrđene mjere za sanaciju štete u okolišu, mjere zaštite okoliša te program praćenja stanja okoliša nakon provedene sanacije. Međutim, za sanaciju lokacije bivše Tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku dugotrajnost postupka sanacije, nepostojanje zakonske regulative vezane za onečišćenje tla, promjena ključne zakonske regulative na području otpada do koje je došlo za vrijeme trajanja sanacije, čimbenici su koji znatno otežavaju donošenje zaključaka o procjeni stanja lokacije na kojoj se provodila sanacija.

S obzirom da novi Generalni urbanistički plan grada Šibenika nije usvojen, buduća namjena lokacije bivše Tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku još nije određena. Međutim, temeljem provedenih analiza za lokaciju bivše tvornice predlaže se slijediti preporuke da vrijednosti

koncentracije ukupnih PAH-ova u tlu, u ovisnosti o budućoj namjeni korištenja zemljišta, iznose od 20 mg/kg s.t. za područja parkova i područja za odmor, a do 50 mg/kg s.t. za poslovno, industrijsko područje.

6. REFERENCE

- [1] Carlon, C. (Ed.) (2007). Derivation methods of soil screening values in Europe. A review and evaluation of national procedures towards harmonization. European Commission, Joint Research Centre, Ispra, EUR 22805-EN, 306 pp.
- [2] Dopuna programa sanacije okoliša bivše tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku, APO, Zagreb, 2009.
- [3] Izvješće o provedenim istražnim radovima bušenja i laboratorijskih ispitivanja na području odložene šljake ugljena, feromanganske troske i drugih vrsta otpada na lokaciji TEF d.d. Šibenik, ECOINA, Zagreb, 2003.
- [4] Kisić I., Sanacija onečišćenog tla, Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2011 (str. 185).
- [5] .Priručnik za trajno motrenje tala Hrvatske: Projekt izrada programa trajnog motrenja tala Hrvatske s pilot projektom LIFE05 TCY/CRO/000105. Priručnik za trajno motrenje tala Hrvatske, Agencija za zaštitu okoliša, Zagreb, 2009.
- [6] Procjena stanja okoliša na lokaciji bivše tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku s programom dodatnih istražnih radova, APO, Zagreb, 2006.
- [7] Program sanacije okoliša bivše tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku, APO, Zagreb, 2007.
- [8] Rezultati ispitivanja uzoraka zemljišta i otpada s područja bivše tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku, APO, Zagreb, 2007.
- [9] Rješenje Ministarstva zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva o prihvatljivosti zahvata za okoliš (Klasa: UP/I 351-02/03-06/0159, Ur. br. 531-05/4-AG-04-8 od 1. ožujka 2004.)
- [10] Skupni ispitni izvještaj osnovne karakterizacije za odlagalište neopasnog otpada broj O/478-498/13, Bioinstitut d.o.o., svibanj 2013.
- [11] Spitaler, E. Summary of thresholds for pollution and contamination of soils“ (Task 1.1.), PHARE 2006 – Development of hazardous waste management system, including the identification and management of „Hot spot sites“ in Croatia
- [12] Studija ekološke sanacije zaostalih sastojaka iz proizvodnje ferolegura i ugljeno grafitnih proizvoda TEF d.d. Šibenik, ECOINA, Zagreb, 2002.
- [13] Studija ekološke sanacije zaostalih sastojaka iz proizvodnje ferolegura i ugljeno grafitnih proizvoda TEF d.d. Šibenik – PRILOZI, ECOINA, Zagreb, 2002.
- [14] Studija o utjecaju na okoliš ciljanog sadržaja za zahvat: Sanacija zaostalih ostataka iz proizvodnje ferolegura i ugljeno grafitnih elektroda "TEF d.d." Šibenik, zaostalih nakon razgradnje proizvodnih postrojenja, ECOINA, Zagreb, 2003.
- [15] Suglasnost na Dopunu programa sanacije okoliša bivše tvornice elektroda i ferolegura u Šibeniku, APO 2009 koju je izradila tvrtka APO d.o.o. iz Zagreba u prosincu 2009. godine, Ministarstvo zaštite okoliša, graditeljstva i prostornog uređenja (Klasa: 351-01/09-02/105, Urbroj: 531-14-2-09-6 od 10. svibnja 2010.)
- [16] U.S. EPA. 2002. Office of Emergency and Remedial Response, Supplemental Guidance for Developing Soil Screening Levels for Superfund Sites, Office of Emergency and Remedial Response, Washington, D.C. OSWER 9355.4-24.

STATIČKO I DINAMIČKO UKLANJANJE BAKROVIH (II) IONA POMOĆU LJEVAONIČKOG OTPADA

STATIC AND DINAMIC REMOVAL OF COPPER (II) IONS BY FOUNDRY WASTE

doc. dr. sc. Anita Štrkalj *¹; izv.prof. dr. sc. Zoran Glavaš¹; Krešimir Maldini, dipl. ing. ²

¹ Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Aleja narodnih heroja 3, Sisak

² Hrvatske vode, Glavni vodnogospodarski laboratorij, Ulica grada Vukovara 220, Zagreb

*e-mail kontakt: strkalj@simet.hr

SAŽETAK

U ovom radu proučavana je statička i dinamička adsorpcija bakrovih (II) iona iz otpadne vode na ljevaoničkom otpadu. Kao adsorbens je korištena otpadna kalupna mješavina iz ljevaonice željeznog i čeličnog lijeva. Kao otpadna voda korištena je voda iz termoelektrane koja je onečišćena bakrovim(II) ionima. Dobiveni rezultati pokazali su da se ljevaonički otpad može koristiti kao dobar adsorbens za uklanjanje bakrovih iona primjenom statičkog i dinamičkog procesa adsorpcije.

Ključne riječi: ljevaonički otpad, bakrovi ioni, statička i dinamička adsorpcija

ABSTARCT

In this paper, the static and dynamic adsorption of copper (II) ions from wastewater by waste from foundry was studied. Waste molding mixture from iron and steel foundry was used as adsorbent. Water from thermal power plant was used as water contaminated with copper (II) ions. Obtained results show that the foundry waste may be used as a good adsorbent for the removal of copper ions by using static and dynamic adsorption process.

Keywords: foundry waste, copper ions, static and dynamic adsorption

1. UVOD

Pročišćavanje otpadnih voda interdisciplinarno je područje što ukazuje na kompleksnost problema otpadnih voda, ali i veliku zainteresiranost stručnjaka za njegovo rješavanje. Danas se otpadne vode pročišćavaju na različite načine uz neprestano uvođenje novih metoda [1].

U novije vrijeme je sve aktualniji postupak pročišćavanja otpadnih voda upotrebom otpadnih industrijskih materijala. Metalurška industrija je jedna od vodećih industrija po proizvodnji otpada. Tijekom metalurških procesa nastaju različite vrste otpada, npr. troska, prašina, mulj, otpadna kalupna mješavina i sl. [2].

Kalupna mješavina upotrebljava se u postupku proizvodnje odljevaka. Postoje dva tipa: svježa i kemijski vezana kalupna mješavina. Svježa kalupna mješavina upotrebljava se više puta u procesu proizvodnje odljevaka, s tim da se između svakog ciklusa osvježava dodatkom novog pijeska, veziva (bentonita), aditiva i vode prema potrebi. Unatoč tome, s povećanjem broja ciklusa upotrebe postepeno se smanjuje njena kvaliteta. Nakon određenog broja ciklusa svježa kalupna mješavina postaje neupotrebljiva. Za razliku od svježe kalupne mješavine, kemijski

vezana mješavina ne može se upotrebljavati više puta u procesu proizvodnje odljevaka jer se potrebna svojstva postižu putem kemijske reakcije koja je nepovratna [3].

Troškovi odlaganja neupotrebljive kalupne mješavine su dosta visoki. Proces regeneracije ljevaoničkog pijeska iz otpadne kalupne mješavine također je povezan sa značajnim troškovima. Zbog toga se istražuju mogućnosti primjene otpadne kalupne mješavine koja ne sadrži opasne tvari u raznim aplikacijama [4-6].

U ovom radu korištena je otpadna kemijski vezana kalupna mješavina kao sredstvo za pročišćavanje otpadnih voda opterećenih bakrovim ionima.

2. MATERIJALI I METODE

Otpadna voda korištena u ovom radu predstavlja otpadnu vodu termoelektrane. Određivanje kemijskog sastava otpadne vode provedeno je na Metalurškom fakultetu atomskom apsorpcijskom tehnikom (Analytik Jena, ZEE nit 650). Kemijski sastav otpadne vode prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Kemijski sastav otpadne vode

Element	Cu	Ni	Zn
Koncentracija, mg/L	0,00338	0,00247	0,0205

Budući da se tijekom rada termoelektrane proizvodni proces odvijao bez teškoća, elementi koji su prisutni u otpadnoj vodi su u dozvoljenim granicama. Iz tog razloga je u otpadnu vodu namjerno dodana otopina bakrovih iona kako bi se simulirali uvjeti poremećaja na postrojenju pri čemu bi eventualno nastala otpadna voda s povišenim udjelom bakrovih iona.

Kao sredstvo za pročišćavanje otpadne vode korišten je otpad iz ljevaonica - kemijski vezana otpadna kalupna mješavina. Radi se o mješavini koja se sastoji od kvarcnog pijeska i natrijevog silikata kao veziva, a kao katalizator je upotrijebljen CO₂ (tablica 2).

Tablica 2. Kemijski sastav otpadne svježe kalupne mješavine

Komponenta	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Ca	Mg	Ni	Cr	C	Mn
Udio, %	91,0	2,1	9,6	0,4	0,04	0,05	0,03	0,76	0,02

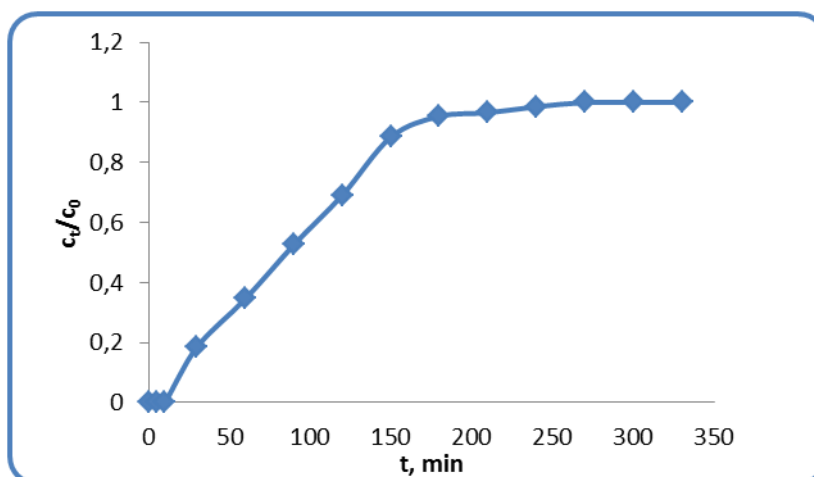
Uklanjanje bakrovih iona iz otpadne vode praćeno je statičkim i dinamičkim postupkom. Dinamički postupak proveden je u staklenoj koloni promjera 15 mm. Kolona je do visine od 40 mm (9,0 g) napunjena otpadnom kalupnom mješavinom te je kroz nju propuššana voda opterećena bakrovim ionima (100 mg/L) protokom od 1 mL/min. U određenim vremenskim intervalima uzimani su uzorci efluenta u kojima je atomskom apsorpcijskom spektrometrijom određivana koncentracija bakar (II) iona.

Statički postupak proveden je tzv. batch metodom. U plastične posudice odvagano je 9,0 g otpadne kalupne mješavine i stavljeno u kontakt s 30 mL otpadne vode opterećene bakrovim ionima. U određenim vremenskim intervalima provedena je filtracija preko filter papira

(Whatman, plava vrpca) te se u filtratima spektrometrijski određivala koncentracija bakrovih iona.

3. REZULTATI I RASPRAVA

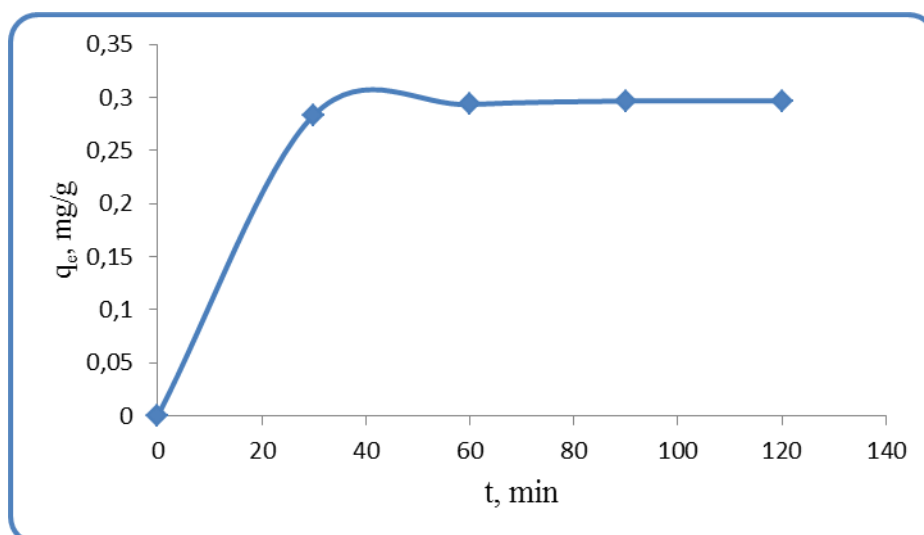
Dinamičkom metodom adsorpcije određena je točka proboja i točka zasićenja sustava otpadna kalupna mješavina/Cu(II) ioni. Iz literature je poznato da točka proboja nastaje u onom trenutku kada se u efluentu pojave Cu (II) ioni. Kada se koncentracija Cu (II) iona izjednači u influentu i efluentu postignuta je točka zasićenja [7]. Dobiveni rezultati prikazani su na slici 1.



Slika 1. Krivulja proboja za otpadnu kalupnu mješavinu (c_0 - početna koncentracija bakrovih iona (mg/l), c_t - konačna koncentracija bakrovih iona (mg/l))

Na slici 1 može se vidjeti da je točka proboja nastupila nakon 30 minuta. Točka zasićenja postignuta je nakon što je ispitivani uzorak s otpadnom vodom bio u kontaktu 270 minuta.

Vrlo slični podaci dobiveni su i za statički adsorpcijski proces (slika 2).



Slika 2. Kinetika statičkog adsorpcijskog procesa za sustav otpadna kalupna mješavina/Cu(II) ioni (q_e -kapacitet adsorpcije (mg/g), t-vrijeme (min))

Na slici 2 može se vidjeti da se adsorpcijski proces odvijao vrlo brzo. Ravnoteža je postignuta već za 30 minuta. Brza adsorpcija ukazuje na prisutnost velikog broja slobodnih mjesta na adsorbensu. Nakon 30 minuta sva mjesta su zauzeta te daljnja adsorpcija nije bila moguća [8]. Na ovu činjenicu ukazuje i kapacitet adsorpcije od 0,28 mg/g. Početni parametri (volumen otpadne vode i masa adsorbensa) u statičkom pokusu postavljeni su tako da budu što sličniji dinamičkom pokusu (masa u koloni =9,0 g, volumen otopine u točki proboja = 30 ml). Pretpostavlja se da bi se varijacijom spomenutih početnih parametara mogao postići još veći kapacitet adsorpcije.

Tijekom ovih ispitivanja izračunat je i % uklanjanja bakrovih iona pomoću otpadne kalupne mješavine (jednadžba 1). Određivanje % uklanjanja provedeno je radi određivanja uspješnosti adsorpcijskog procesa ispitivanog sustava.

$$\% \text{ uklanjanja} = [(c_0 - c) / c_0] \cdot 100 \quad (1)$$

gdje je: c_0 - početna koncentracija bakrovih iona (mg/l), c_e - konačna koncentracija bakrovih iona (mg/l)

Visok postotak uklanjanja od 81,49 % za dinamičku adsorpciju i 85 % za statičku adsorpciju ukazuju na relativno visoku adsorpcijsku moć kemijski vezane otpadne kalupne mješavine. Poznato je da se samopročišćavanje voda u prirodi odvija kroz nekoliko slojeva zemljine površine uključujući i pijesak [9]. Ovaj postupak nastojao se djelomično simulirati i u laboratorijskim uvjetima. S obzirom na kemijski sastav (kvarcni pijesak- 91 % SiO₂) bilo je i za očekivati da će adsorpcija na korištenoj vrsti otpadne kalupne mješavine biti uspješna. Odnosno, može se reći da je visoki % uklanjanja bakrovih iona na otpadnoj kalupnoj mješavini u skladu s njezinim kemijskim sastavom.

Osim toga, prema podacima za točku proboja, ravnotežno vrijeme i % uklanjanja vidljivo je da se oba procesa (statički i dinamički) mogu podjednako koristiti za uklanjanje bakrovih iona korištenom vrstom kemijski vezane otpadne kalupne mješavine.

4. ZAKLJUČAK

- Kemijski vezana otpadna kalupna mješavina može se koristiti za pročišćavanje otpadne vode opterećene bakrovim ionima.
- Adsorpcija u ispitivanom sustavu otpadna kalupna mješavina /Cu (II) ioni jednako je uspješna i kao statički i kao dinamički proces.
- Postotak uklanjanja Cu (II) iona na kemijski vezanoj otpadnoj kalupnoj mješavini izrazito je visok (81,49 odnosno 85 %) što ukazuje na dobra adsorpcijska svojstva spomenutog adsorbensa.

5. LITERATURA

- [1] Tušar, B., Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen d.o.o., Zagreb 2009.
- [2] Weiner, R. E., Matthews, R. A., Environmental Engineering, Einemann, Amsterdam, 2003.
- [3] Jorstad, J., Krusiak, M. B., Serra, J. O., Fay, V. L., Aggregates and Binders for Expendable Molds, chapter in ASM Handbook, Volume 15, Casting, ASM International, Materials Park, Ohio, 2008., 528 - 548.
- [4] Kemer, F. N.: Nalkov priručnik za vode, Jugoslavenska inženjerska akademija, Savez inženjera i tehničara Srbije, Građevinska knjiga, Beograd, 2005.

- [5] Šipuš, I., Štrkalj, A., Glavaš, Z.: Removal of Cr (VI) ions from aqueous solution using foundry waste material: Kinetic and equilibrium studies, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 51(2012)4 413-418.
- [6] Štrkalj, A., Glavaš, Z., Brnardić, I.: Application of Foundry Waste for Adsorption of Hexavalent Chromium, *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* 27 (2013)1 15-19.
- [7] Trgo, M., Vukojević Medvidović, N., Perić, J.: Ispitivanje utjecaja procesnih parametara na vezanje olova na prirodnom zeolitu postupkom u koloni, 12. Savjetovanje o materijalima, tribologijama, trenju i trošenju MATRIB 2007, ur. K. Grilec, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Vela Luka, 2007., 248-255.
- [8] Tirgar, A., Golbabaie, F., Hamedi, J., Nourijelyani, K.: Removal of airborne hexavalent chromium using alginate as a biosorbent, *International Journal of Environmental Science Technology* 8(2011)2 237-244.

ULOGA POVJERENIKA ZA OTPAD U SUSTAVU GOSPODARENJA OTPADOM

THE WASTE COMMISSIONER'S ROLE IN THE WASTE MANAGEMENT SYSTEM

Doc. dr. sc. Sanja Kalambura, prof.v.š., dipl. ing. *¹;
dipl.ing, Nives Jovičić, struč. spec. ing. admin. chris.¹; Anamarija Ladiš, bacc.san.ing.²

¹ Veleučilište Velika Gorica, Zagrebačka 5, Velika Gorica.

² Zdravstveno Veleučilište, Mlinarska 38, Zagreb.

*e-mail kontakt: sanja.kalambura@vvg.hr

SAŽETAK

Novim Zakonom o održivom gospodarenju otpadom po prvi puta definirano je, u Članku 46., da svaka pravna osoba koja je proizvođač otpada i zapošljava više od pedeset ljudi treba imenovati povjerenika za otpad i njegovog zamjenika. Poslovi koji su u djelokrugu rada ovih osoba su nadzor propisa o gospodarenju otpadom, njihova implementacija te sukladno tome poslovi savjetovanja odgovornih osoba. Rad donosi analizu onih institucija i područja koja su obuhvaćena ovim zakonom te minimalna znanja koja svaki povjerenik za otpad treba posjedovati.

Ključne riječi: otpad, zakonodavstvo, održivost, povjerenik.

ABSTRACT

The new Act on sustainable waste management for the first time defined in Article 46, that each legal entity that is the waste producer and employs more than fifty people should appoint a commissioner for the waste and his deputy. Jobs that are in the scope of work of these individuals are control of waste management, the implementation thereof and accordingly affairs consultancy responsible. The paper analyzes the institutions and the areas covered by this law and the minimum knowledge that each commissioner waste should possess.

Keywords: waste, legislation, sustainability, commissioner.

1. UVOD

Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske definira ostvarivanje gospodarstva koje mora imati manji utjecaj na daljnju degradaciju okoliša i stvaranje otpada[8]. Da bi se ostvarili ovakvi ciljevi potrebno je mijenjati ponašanje pojedinaca u kućanstvima te u javnom i privatnom sektoru kao i u proizvodnji i potrošnji. Promjene trebaju osigurati prevenciju nastajanja otpada, smanjenje proizvodnje opasnog otpada, odlaganje na odlagališta te značajno povećati stopu recikliranja. Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske jasno je definirala ciljeve i mjere za gospodarenje otpadom, mjere za gospodarenje opasnim otpadom, smjernice za uporabu i zbrinjavanje otpada te procjenu ulaganja u gospodarenje otpadom za razdoblje 2005. – 2025 [7,11]. Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. – 2015. godine kao provedbeni dokument Strategije nalaže uspostavu cjelovitog sustava gospodarenja otpadom[10].

Zakonom o održivom gospodarenju otpadom uređen je način gospodarenja otpadom, načela i ciljevi gospodarenja, izrada planskih dokumenata, nadležnosti i odgovornosti u svezi s gospodarenjem, troškovi, informacijski sustav, uvjeti za građevine u kojima se obavlja gospodarenje otpadom, način obavljanja djelatnosti, prekogranični promet otpadom, koncesije i nadzor nad gospodarenjem otpadom [12,13,14]. Gospodarenje otpadom temelji se na uvažavanju načela zaštite okoliša propisanih zakonom kojim se uređuje zaštita okoliša i pravnom stečevinom Europske unije, načelima međunarodnog prava zaštite okoliša te znanstvenih spoznaja, najbolje svjetske prakse i pravila struke. Posebno se ističe načelo „onečišćivač plaća“ koji obvezuje sve one koji su proizvođači otpada na podmirivanje troškova mjera gospodarenja otpadom Vrlo važno je i načelo „blizine“ koje definira obradu otpada u najbližoj odgovarajućoj građevini ili uređaju u odnosu na mjesto nastanka otpada, uzimajući u obzir gospodarsku učinkovitost i prihvatljivost za okoliš. Načelo „samodostatnosti“ određuje da se gospodarenje otpadom mora obavljati na samodostatan način pri čemu je potrebno omogućiti neovisno ostvarivanje propisanih ciljeva na razini države, a uzimajući pri tom u obzir zemljopisne okolnosti ili potrebu za posebnim građevinama za posebne kategorije otpada. Načelo „sljedivosti“ vrlo je važno jer definira utvrđivanje porijekla otpada s obzirom na proizvod, ambalažu i proizvođača proizvoda koji postaje otpad, posjed otpada i njegovu obradu. U cilju sprječavanja nastanka otpada definiran je red prvenstva gdje se na prvom mjestu nalazi sprječavanje nastanka otpada, zatim slijedi priprema za ponovnu uporabu, recikliranje, drugi postupci obrade kao što je energetska obrada te zbrinjavanje otpada. To u provedbenom smislu znači povećanje obuhvata stanovništva organiziranim sustavom odvoza komunalnog otpada sa sadašnjih 96% na 100%, povećanje odvojenog sakupljanja otpada s 6% na 15%, povećanje obrade otpada s 2% na 25%, smanjenje količine odloženog otpada s 95% na 58% te smanjenje količine biorazgradivog otpada koji se odlaže s 95% na 55%, a sve do 2025. godine [1,2,3].

Za realizaciju navedenih ciljeva potrebno je izgraditi cjelovit sustav u kojem će funkcionirati infrastruktura za obradu otpada ali i postojati čitav niz izobrazno informativnih aktivnosti kao i edukacija u pogledu stvaranja jednog novog segmenta edukacije u kontekstu povjerenika za otpad. Republika Hrvatska planira izgradnju 10-14 centara za gospodarenje otpadom koji će biti načinjeni prema županijskom ili regionalnom konceptu [8].

2. OTPAD I EDUKACIJA

Otpad i postupanje s otpadom stanovništvo u pravilu percipira kao problem, međutim kod mnogih stanovnika u svijesti je to da će već netko drugi zbrinuti njihov otpad. Prema njihovu mišljenju to je posao komunalnog poduzeća, općinskih ili gradskih vlasti ili nekog trećeg. Nažalost, još uvijek mnogi nisu svjesni, niti mogu sagledati, da otpad, koji „pravilno odlože“ u svoju kantu za smeće, može zagaditi vodu i tlo te prouzročite ozbiljne posljedice za ljudsko zdravlje.

Uspješan sustav zbrinjavanja otpada nije moguće realizirati ako ga promatramo samo s tehnološko-ekonomskog aspekta, a zanemarimo ulogu ekološke edukacije. S obzirom da je sudjelovanje građana u zbrinjavanju otpada vrlo važno, a informiranost je na vrlo niskoj razini, potrebno je provesti edukaciju potrošača i podići razinu svijesti o potrebi adekvatnog zbrinjavanja otpada kako bi se postigli ciljevi Strategije gospodarenja otpadom [7,11].

Da bi stanovnici bili motivirani za izbjegavanje otpada, kao prvi i osnovni element cjelovitog sustava gospodarenja otpadom, moraju za početak biti educirani i u poznati s karakteristikama otpada. Efikasna edukacija trebala bi uputiti potrošače kako da reduciraju količine otpada koje proizvode. Potrebno je podići razinu svijesti o potrebi adekvatnog zbrinjavanja otpada. Kao što

je navedeno i u Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2007. do 2015., između eko-edukacije i eko-kulture postoji uzajamni odnos s uzročno-posljedičnim vezama [10].

Ekološkom edukacijom omogućiti će se stjecanje ekoloških znanja i vještina s ciljem povećanja razine svijesti svakog pojedinca za učinkovito sudjelovanje u provođenju sustava gospodarenja otpadom. Potrebno je stanovništvo potaknuti na promjene u ponašanju i povećati razinu svijesti svakog pojedinca za učinkovito sudjelovanje u provođenju sustava zbrinjavanja otpada, razvijanjem novih saznanja o otpadu i izgrađivanjem novih vrijednosti kod kroz edukaciju i promidžbene aktivnosti u vrtićima, osnovnim i srednjim školama, fakultetima te kućanstvima i tvrtkama.

Cilj istraživanja je temeljem analize sadržaja prikupljene literature, obrazložiti zašto je otpad jedan od najvećih globalnih problema u očuvanju okoliša te dokazati potrebu uvođenja odgoja i obrazovanja u području zaštite okoliša kao i stvaranja prostora za formiranje specijalnosti unutar postojećih struka, a koje su usko vezane za rad povjerenika.

Za ostvarivanje postavljenih ciljeva istraživanja odabrane su slijedeće istraživačke metode:

- Metoda indukcije i dedukcije kao način zaključivanja i pisanja rada,
- Logičko znanstvena metoda prikupljanja podataka, obrade i zaključivanja,
- Metoda deskriptivne analize za opis općih pojmova.

3. ULOGA I ZADACI POVJERENIKA ZA OTPAD

U postupku prilagodbe zakonodavstva Europskoj uniji Republika Hrvatska se prilagođava europskim standardima, posebno u području zaštite okoliša i gospodarenja otpadom [5,6]. Jedan od osnovnih uvjeta za postizanje održivosti i harmonizacije navedenih sustava gospodarenja otpadom je edukacija građana i poslovnih subjekata s ciljem podizanja razine svijesti da otpad nije otpad već vrijedan i iskoristiv resurs s kojim je potrebno gospodariti na učinkovit i ispravan način. Razlozi i opravdanje za stvaranje programa izobrazbe o gospodarenju otpadom temelje se na zakonskim propisima Republike Hrvatske i to posebice na Zakonu o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13), Članak 32, stavak 4, Članci 46, 52, 89 i Članak 182., stavak 3. Povjerenik za otpad ima obvezu nadzirati provedbu propisa o gospodarenju otpadom, utvrđivati nedostatke i obavještavati vlasnika, odnosno odgovornu osobu u pravnoj osobi o utvrđenim nedostacima. Ujedno treba imati dovoljna znanja kako bi mogao organizirati provedbu propisa o otpadu kod pravne osobe, savjetovati vlasnika, odnosno odgovornu osobu u pravnoj osobi u svim pitanjima gospodarenja otpadom koja se tiču te pravne osobe. Na osnovu navedenog utvrđena je obveza donošenja da svaka pravna osoba koja je proizvođač otpada i pri tome zapošljava više od 50 djelatnika dužna imenovati Povjerenika za otpad i njegovog zamjenika, Odgovornu osobu i njegovog zamjenika te sukladno odredbama Zakona o održivom gospodarenju otpadom proći postupak edukacije Kako Republika Hrvatska ima znatan broj srednje velikih i velikih pravnih subjekata s više od pedeset (50) zaposlenih za očekivati je da će se u procesu pripreme za obavljanje ovakvog oblika posla trebati steći određena znanja i vještine. Raznolikost gospodarskih subjekata upućuje na činjenicu da će to biti u glavini slučajeva djelatnici koji nemaju ili imaju slaba predznanja vezano za problematiku otpada te njegova učinkovita gospodarenja. Stoga je prijeko potrebno definirati sva područja koja će omogućiti polaznicima stjecanja onih znanja i vještina za samostalno obavljanje savjetodavnih poslova u okviru tvrtke gdje će biti imenovani za Povjerenika.

Učinkovito gospodarenje otpadom u srednjim i velikim tvrtkama predstavlja vrlo velik izazov za sve djelatnike takvih organizacija. Naime, u takvim sustavima stvaraju se znatne količine otpada na dnevnoj bazi te je definiranje tokova otpada, edukacija zaposlenika kao i učinkovito

gospodarenje pojedinim kategorijama otpada jedan od budućih izazova kako za obveznike izobrazbe tako i za polaznike izobrazbe. To u sebi krije nekoliko neizvjesnosti i rizika, a usko je vezano za uspješnu provedbu planova gospodarenja otpadom.

Posebno se ističe slijedeće:

- bez provođenja sustavne edukacije zaposlenika vrlo je teško očekivati nadziranje tokova otpada,
- bez nadziranja pojedinačnih i skupnih tokova otpada istima je vrlo teško učinkovito gospodariti,
- nužna je promjena stanja svijesti zaposlenika u smislu shvaćanja da otpad predstavlja vrlo važan resurs čijim pravilnim gospodarenjem poslovna zajednica ostvaruje koristi te sudjeluje u zaštiti okoliša i čovjekovog zdravlja.

S obzirom na neizvjesnosti i rizike poslova koje će obavljati Povjerenik vrlo je važno da upravo edukacija pruži osnovu za:

- stjecanje općih i specifičnih znanja i vještina potrebnih za provođenje postupaka gospodarenja otpadom unutar tvrtki, ustanova ili organizacija te pružanje savjetodavnih usluga odgovornim osobama unutar sustava,
- organizaciju i provedbu propisa s ciljem otklanjanja faktora koji mogu negativno djelovati na okoliš i ljudsko zdravlje,
- osposobljavanje da u suradnji s drugim stručnjacima iz područja inženjerstva okoliša uočavaju, definiraju i saniraju čimbenike koji mogu negativno djelovati na okoliš, zdravlje pojedinca i širu zajednicu,
- stjecanje znanja za organizaciju i provedbu edukacije djelatnika unutar sustava u kojem nastaje otpad.

Izobrazba za povjerenika polaznicima će donijeti dodatnu vrijednost na tržištu rada jer ih dodatno osposobljava te ih čini prepoznatljivima na tržištu rada.

4. ANALITIČKI POKAZATELJI

Prema analitičkim pokazateljima poslovnih subjekata koji u svojoj djelatnosti proizvode otpad odnosno subjekti koji zapošljavaju 50 i više djelatnika predstavlja znatan broj. Ne treba zaboraviti i mjere Nacionalnog plana za poticanje zapošljavanja pri čemu je Hrvatski zavod za zapošljavanje poticao zapošljavanje odraslih osoba koje su sudjelovale u programima obrazovanja odraslih. S obzirom da su subjekti koji zapošljavaju pedeset (50) i više djelatnika obvezni imenovati polaznike edukacije može se zaključiti da su glavne ciljane skupine:

- privatni poslovni subjekti s ≥ 50 zaposlenih,
- zdravstvene ustanove s ≥ 50 zaposlenih,
- gradovi i županije s ≥ 50 zaposlenih,
- obrazovne ustanove s ≥ 50 zaposlenih.

Kriterij za razvrstavanje poslovnih subjekata u RH definiran je Zakonom o računovodstvu (NN 109/07, 53/13) i Zakonu o poticanju razvoja malog gospodarstva (NN 29/02, 63/07, 53/12, 56/13). Prema Zakonu o računovodstvu poslovni subjekti su podijeljeni na slijedeći način:

- Mali poduzetnici su svi oni subjekti koji ne prelaze dva od slijedeća tri uvjeta: ukupna Aktiva u Bilanci 32,5 milijuna kuna; prihod 65 milijuna kuna; prosječan broj radnika tijekom godine iznosi 50;

- Srednji poduzetnici su svi oni subjekti koji prelaze barem dva od tri uvjeta za male poduzetnike, ali ne prelaze dva od slijedeća tri uvjeta: ukupna Aktiva u Bilanci 130 milijuna kuna prihod 260 milijuna kuna; prosječan broj radnika tijekom godine iznosi 250;
- Veliki poduzetnici su svi oni koji prelaze dva uvjeta iz kriterija za srednje poduzetnike.

Sukladno Zakonu o poticanju razvoja malog gospodarstva, malo i srednje gospodarstvo se sastoji od fizičkih i pravnih osoba koji obavljaju poslovne djelatnosti radi generiranja dohotka odnosno prihoda. Navedeni zakon razlikuje slijedeće veličine subjekata:

- Mikro subjekti su fizičke i pravne koje ispunjavaju slijedeće uvjete: godišnje zapošljavaju manje od 10 djelatnika; generiraju godišnji prihod u protuvrijednosti do 2 milijuna Eura; imaju protuvrijednost dugotrajne imovine do 2 milijuna Eura;
- Mali subjekti su fizičke i pravne osobe koje ispunjavaju slijedeće uvjete: prosječno zapošljavaju manje od 50 djelatnika; generiraju godišnji prihod do 10 milijuna EUR ili imaju protuvrijednost dugotrajne imovine do 10 milijuna EUR;
- Srednji subjekti su fizičke i pravne osobe koje ispunjavaju slijedeće uvjete: prosječno zapošljavaju između 50 i 249 radnika; generiraju godišnje prihode u protuvrijednosti od 10 do 50 milijuna EUR ili imaju protuvrijednost dugotrajne imovine od 10 do 43 milijuna EUR.

S obzirom na ne usuglašenost kategorizacije poslovnih subjekata izvršene su izmjene i dopune Zakona o poticanju razvoja malog gospodarstva (svibanj 2012. godine) sukladno kriterijima koje propisuje EU te je u Tablici 1. dan usklađeni kriterij za razvrstavanje malih i srednjih poslovnih subjekata.

Tablica 1. Kriterij razvrstavanja subjekata malog gospodarstva [4]

Tip poslovnog subjekta	Broj zaposlenih	Godišnji prihod	Aktiva
	EU/RH	(mil.EUR) EU/RH	(mil.EUR) EU/RH
Mikro	0-9	2	2
Mali	10-49	10	10
Srednji	50-249	50	43

Tijekom 2012. godine, u odnosu na 2011. godinu, zabilježen je porast broja malih tvrtki dok je primjetno smanjen broj srednjih i većih tvrtki. U tablici 2. dan je prikaz strukture poslovnih subjekata prema veličini za isti period dok je u tablici 3 dan prikaz financijske efikasnosti tvrtki u 2011. i 2012. godini.

Tablica 2. Struktura tvrtki sukladno veličini promatranim godinama[4]

	2001.		2011.		2012.	
	Broj subjekata	%	Broj subjekata	%	Broj subjekata	%
Mala	54.213	95,1	89.539	98,1	95.597	98,3
Srednja	2.203	3,8	1.292	1,4	1.309	1,3
Velika	571	1,1	359	0,5	348	0,4
UKUPNO	56.987	100	91.190	100	97.254	100

Na osnovu podataka iz tablice 2. može se zaključiti da je u 2012. godini ukupan broj srednji i velikih tvrtki iznosio 1.657 subjekata što ujedno predstavlja dio tržišnog potencijala. S obzirom na negativna gospodarska kretanja u RH može se očekivati nastavak trenda smanjenja broja srednjih i velikih subjekata u nerednom kratkoročnom razdoblju dok se oporavkom gospodarstva dugoročno može očekivati dostizanje vrijednosti iz 2001. godine.

Tablica 3. Financijska efikasnost poduzeća u 2011. i 2012. godini [4]

	2011.		2012.	
	Mil.HRK	%	Mil.HRK	%
Srednja				
Dobitak	4.173	22	4.382	27
Gubitak	4.416	37	5.241	31
Konsolidirani rezultat	-243		-859	
Velika				
Dobitak	14.799	78	11.480	73
Gubitak	7.438	63	11.620	69
Konsolidirani rezultat	7.361		6.860	
	UKUPNO 2011.	100	UKUPNO 2012.	100

U ukupnom broju srednjih i velikih poslovnih subjekata za 2012. godinu srednja poduzeća su sudjelovala s udjelom od 79%, dok velika sudjeluju s udjelom od 21%. Iz prethodne tablice vidljivo je da financijska efikasnost srednje velikih tvrtki bilježi trend opadanja u odnosu na 2011. godinu dok istovremeno velike tvrtke bilježe lagani pad, ali uz ostvarivanje konsolidiranog dobitka.

Prema podacima Ministarstva zdravlja RH zdravstvene ustanove uglavnom upošljavaju više od 50 djelatnika pa je broj subjekata koji će trebati imati povjerenika značajan. Isti slučaj je i s visokoškolskim ustanovama te jedinicama lokalne samouprave.

5. ZAKLJUČAK

Postojeći sustav gospodarenja otpadom u RH je dobro zamišljen iako ostavlja dojam da bi se mogli ostvariti i značajniji rezultati kada bi stanovništvo bilo bolje informirano o mogućnostima recikliranja. Potrebno je poticati stanovništvo na promjene u ponašanju kroz edukaciju. Učinkovito gospodarenje otpadom složen je proces, a izazovu će se lakše odgovoriti ako svi budu osposobljeni i potaknuti na sudjelovanje glede upravljanja i gospodarenja otpadom. Provođenje ekološke edukacije bitno će pridonijeti povećanju razine svijesti svakog pojedinca za učinkovito sudjelovanje u provođenju sustava gospodarenja otpadom, te je odredba novog zakona kojim se regulira pitanje gospodarenja otpada o uvođenju povjerenika jedan logičan slijed i potreba.

6. REFERENCE

- [1] Agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o komunalnom otpadu za 2012. godinu, Zagreb, 2012.
- [2] Agencija za zaštitu okoliša, Elaborat o posebnim kategorijama otpada, Zagreb, 2013.
- [3] Domanovac Tomislav, Pašalić Goran, Grum Đuliano, Fundurlja Danko (2011): Recycling potentials and opportunities in the Republic of Croatia on the basis of waste sorting, Proceedings ISWA Bacon Conference, 81- 89, Novi Sad, Srbija, 2011.
- [4] Centar za politiku razvoja malih i srednjih poduzeća i poduzetništva, Izvješće o malim i srednjim poduzećima u RH – 2013.; Obrada: IPZ Uniprojekt TERRA, 2013.
- [5] Europski parlament, Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste COM (2005) 666.
- [6] Europski parlament, Road map to a Resource Efficient Europe COM (2011)571.
- [7] Hrvatski Sabor, Strategija gospodarenja otpadom, Zagreb, Narodne Novine 178/04, 2005.
- [8] Hrvatski Sabor, Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske, Narodne Novine 30/09, 2009.
- [9] Hrvatski Sabor, Zakon o zaštiti okoliša, Narodne Novine 80/13, 153/13, 2013.
- [10] Hrvatska Vlada, Plan gospodarenja otpadom, Zagreb, Narodne Novine 178/04, 2004.
- [11] Kalambura Sanja (2006): Strategija gospodarenja otpadom i uloga Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 57, 267-274.
- [12] Matešić Mirjana, Kalambura Sanja, Bačun Dubravka (2014): Development of the Competitive Business in the Context of Environmental Legislation in Croatia, Collegium antropologicum , 38, 1; 347-354.
- [13] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Zagreb, Narodne Novine 94/13, 2013.
- [14] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, Pravilnik o registru onečišćivanja okoliša, Zagreb, Narodne Novine 35/08, 2008.

UPORABA KAROTAŽNIH MJERENJA U ODABIRU BUŠOTINA ZA ZBRINJAVANJE OTPADA

THE USE OF WELL LOGGING IN THE SELECTION OF WELLS FOR WASTE DISPOSAL

dr. sc.Zoran Čogelja^{1*}; mr. sc. Ivo Omrčen¹; dr. sc.Mario Šiljeg^{2*}

¹ Znanstveno vijeće za naftu i plin,HAZU, Trg Nikole Šubića Zrinskog 11, Zagreb

² Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, Varaždin

*e-mail kontakt: zcogelja@gmail.com, mario.siljeg@gfv.hr

SAŽETAK

Geološke formacije u koje se otpad može pohraniti moraju biti prekrivene nepropusnom krovinom i podinom bez vertikalnih regionalnih rasjeda što sprječava migraciju otpada u akvifer vode za piće ili na površinu. Za određivanje krovinskog i podinskog dijela geološke formacije te njen porni prostor sa slojnim fluidom upotrebljava se više različitih metoda karotažnih mjerenja. Mogu se koristiti različite metode i mjerenja: metode električne otpornosti ležišne stijene, zvučne metode, metode prirodne radioaktivnosti, metode izazvane radioaktivnost, mjerenje spontanog potencijala, mjerenje temperature.

Karotažna mjerenja se izvode povlačenjem mjernog uređaja od dna do vrha nakon što je kanal bušotine napravljen ili tijekom same izrade kanala bušotine. Nakon što se bušotina po programu izvođenja izbuši potrebno je nakon toga bušotinu zacijeviti i na kraju zacementirati. Cementacija je metoda gdje se u bušotinu utiskuje cementno vezivo kroz kolonu zaštitnih cijevi u prostor između kolone zaštitnih cijevi i geološke formacije. Izbor bušotine koja bi bila pogodna za zbrinjavanje otpada ovisi o njenom integritetu kolone zaštitnih cijevi koju kontroliramo karotažnim mjerenjima ili optičkim vlaknima (svjetlovod). Da bi se sa sigurnošću moglo obaviti utiskivanje otpada, u pogodne geološke formacije koje su odvojene od ostalih geoloških formacija kolonom zaštitnih cijevi, u kanal bušotine spušta se niz uzlaznih cijevi s "pakerom". Tijek utiskivanja može se kontrolirati primjenom senzora s svjetlovodnim vlaknima kojeg postavljamo kroz niz uzlaznih cijevi. Također, "monitoring" utiskivanja otpada možemo nadzirati karotažnim mjerenjima u zacijevljenom kanalu bušotine kroz niz uzlaznih cijevi.

Za odabir postojeće bušotine ili izradu nove bušotine koja bi služila za zbrinjavanje otpada mora se napraviti geološko tehničko-tehnološka studija koja mora dati odgovor na: geološku formaciju u koju se može pohraniti otpad, tehniku izvođenja bušenja, integritet kolone zaštitnih cijevi, "monitoring" utiskivanja, tehnologiju utiskivanja otpada, mjere zaštite na okoliš i ljude a sve to treba proizaći iz zakon i pravilnika. Nakon pomne analize postojećih podataka te njihovih interpretacija koje su proizašle iz studije treba napraviti pilot bušotinu u kojoj bi se navedene metode mogle primijeniti i vidjeti, jesu li zadovoljavajuće s obzirom na zadane parametre.

Ključne riječi: karotažna mjerenja, svjetlovodna vlakna (optika), praćenje tijekom vremena

ABSTRACT

Geologic formations in which waste can be stored must be covered by the top and bottom of the basement without vertical regional faults, which prevent waste migration into the aquifer containing potable water or to the surface. In order to

determine top and bottom parts of a geologic formation and its pore space with the formation fluid several different methods of logging measurements are used. Different methods and measurements can be applied such as: electrical resistivity measurements on reservoir rock, acoustic methods and methods of natural and induced radioactivity, measurement of spontaneous potential and temperature measurement.

Well logging is performed by pulling the measuring device from the bottom to the top after the wellbore has been drilled or during the drilling. After a wellbore has been drilled according to the program it must be cased and finally cemented. Cementation is a method where cement binder is injected into the wellbore through the casing into the space between the casing and the geologic formation. Selection of wells that would be suitable for waste disposal depends on well casing integrity that we control by logging measurements or fiber optic. In order to safely perform waste injection into suitable geologic formations which are separated from other geologic formations by casing, tubing with packer is run into the wellbore. Injection can be controlled using sensors with optical fibres which are inserted through tubing. In addition, cased hole logs run through tubing can be used for waste injection monitoring.

To select an existing or drill new wells that would be used for waste disposal a geological- technical-engineering study must be done, which should provide answers to the following: geologic formation in which waste can be stored, drilling technique, casing integrity, injection monitoring, waste injection technology, environmental and safety measures, which should all be governed by laws and regulations. After a careful analysis of existing data and their interpretation arising from the study a pilot well should be drilled in which the above methods could be applied to see whether they are satisfactory with respect to the set parameters.

Keywords: *well logging, fiber optic, monitoring*

1. UVOD

Geološke formacije u koje se otpad može pohraniti moraju biti prekrivene nepropusnom krovinom i podinom bez vertikalnih regionalnih rasjeda što sprječava migraciju otpada u akvifer vode za piće ili na površinu. Regionalni rasjedi mogu se odrediti iz seizmičkih mjerenja pomoću 2D i 3D metoda seizmičkih snimanja na površini.

U naftnoj industriji u Republici Hrvatskoj tijekom istraživanja i eksploatacije ugljikovodika javlja se otpad. Otpad se zbrinjavanja u bušotine koje su prošle detaljne analize kako bi zadovoljile zakon i pravilnike vezano za zbrinjavanje otpada. Jedan od uvjeta za odabir bušotine je njezin integritet. Integritete kolone zaštitnih cijevi podrazumijeva dobru cementu vezu (cementi kamen) između kolone zaštitnih cijevi i ležišne stijene, samih kolone zaštitnih cijevi te njihovu debljinu stjenke. Posebna pozornost se odnosi na niz uzlaznih cijevi kroz koje se obavlja utiskivanje otpada. Provjera integritete kolone zaštitnih cijevi obavlja se pomoću karotažnih mjerenja u zacijevljenom kanalu bušotine ili pomoću svjetlovoda.

2. KAROTAŽNA MJERENJA

Mjerenja, analize i interpretacije karotažnih podataka predstavljaju kompleksne i ponekad rigorozne procedure. Kompleksnost proizlazi iz problema koji se rješavaju. Poštivanje procedure je bitno jer odziv mjernog uređaja zavisi od mnogih faktora i utjecaja, tj. procedure osiguravaju maksimalno eliminiranje nepovoljnih utjecaja, smetnji i pogrešaka. S obzirom na to da se mjerni uređaji na električnom kabelu povlače od dna bušotine prema površini, u pravilu se mjeri

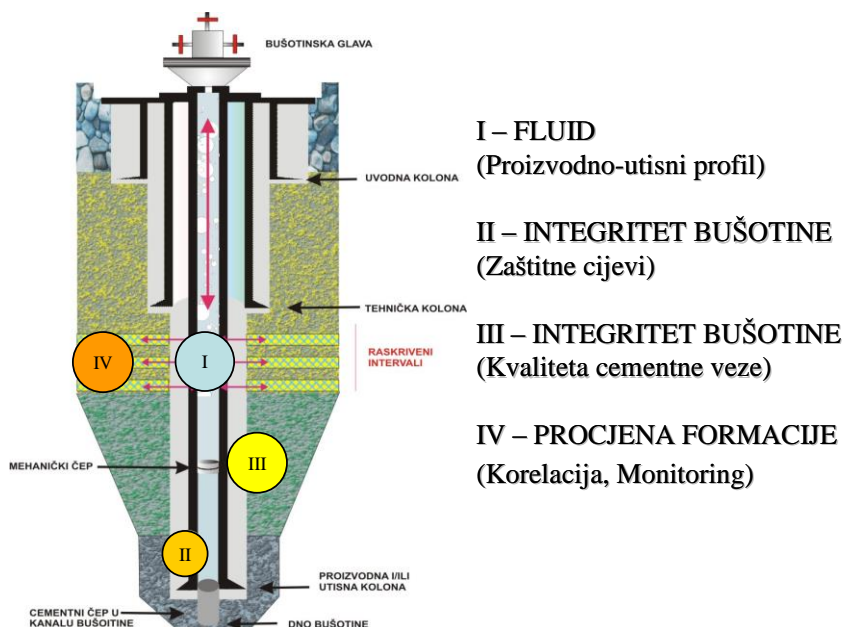
kontinuirani profil fizičkih parametara probušenih formacija, duž cijelog kanala bušotine u funkciji dubine bilo da je riječ o zacijevljenom ili nezacijevljenom kanalu bušotini.

Nakon što se bušotina po programu izvođenja izbuši potrebno je nakon toga u bušotini obaviti mjerenja u nazacijevljenom kanalu bušotine kako bi se mogli odrediti parametri ležišne stijene. Parametri ležišne stijene podrazumijevaju porozitet, debljinu ležišne stijene i zasićenje (Čogelja, 2011.). Ti podatci se analiziraju s podatci sa jezgre ako je bilo jezgrovanje tijekom bušenja. Zatim slijedi zacijevljenje kanala bušotine. Da bi kanal bušotine bio siguran za okolinu i zdravlje ljudi potrebno ga je i na kraju zacimentirati.

Interpretacija podataka iz karotažnih mjerenja u zacijevljenom kanalu bušotine podrazumijeva programiranje, nadzor, analizu podataka. (Čogelje, 2011.). Primjenjuje se kroz različite mjerne metode koje koriste mjerne uređaje različitih komercijalnih naziva, što ovisi o proizvođaču.

Područje procjene karotažnih mjerenja u zacijevljenom kanalu bušotine prikazano je na slikama 2-1. i 2-2., a promatrano kroz:

- metodologiju proizvodnosti i/ili utiskivanja fluida (proizvodno/utisni profil),
- integritet bušotine (zaštitne cijevi ili radni niz i kvaliteta cementne veze),
- procjenu formacije (korelacija i/ili monitoring).



Slika 2-1. Područja istraživanja kanala bušotine primjenom karotažnih mjerenja (preuzeto Čogelja, 2011.)

Detaljnija uporaba pojedinih mjernih metoda ili senzora karotažnih mjerenja ovisno o području istraživanja prikazana je na Slici 2-2. (Čogelja, 2011.).

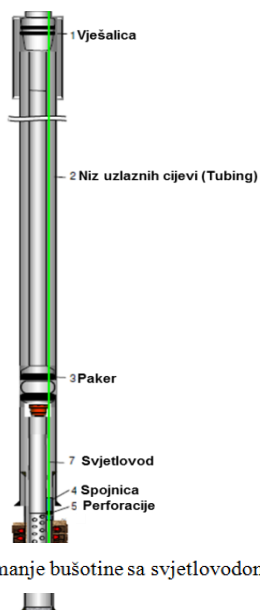
OKRUŽENJE BUŠOTINE	MJERNA METODA	KOMERCIJALNI NAZIVI GKU (Schlumberger, Baker Hughes, Halliburton ...)	PODRUČJE PROCJENE			
			I	II	III	IV
FLUID Proizvodno Utisni Profil	Temperatura	T	x	x	x	x
	Obujamske mase	FD	x			
	Tlaka	Press	x			
	Brzine protoka	FM	x			
	Uzorkovanje	FS	x			
INTEGRITET BUŠOTINE	ZAŠTITNE CIJEVI I/ILI RADNI NIZ	Elektro magnetska - lokator spojnice		x		
		Elektro magnetska - kaliper	MFC, MAC		x	
	Ultra zvučna - kaliper	BTT, CET		x		
	Magnetskoq toka - kaliper	METT		x		
	Video snimka - kamera	Video Camera	x	x		
	KVALITETA CEMENTNE VEZE	Zvučna u zacijevljenom kanalu bušotine	CBL, SBT			x
Zvučno pulsna u zc. kanalu bušotine		BATS			x	
PROCJENA FORMACIJE Korelacije i/ili Monitoring	GAMA ZRAČENJA					
	Prirodno gama zračenje	GR, NGS, Spectralog, CSNG				x
	Izazvano gama zračenje	GST, MSI, C/O, PSG, PL				x
	NEUTRONSKA ZRAČENJA					
	Kemijski izvor	DDN, N				x
	Pulsni generator (minitron)	RST, RPM-C, RMT, PNN	x		x	x
	Zvučna kroz zaštitne cijevi	DSI, MAC, FWS			x	x
	Specifični otpor stijene kroz zaštitne cijevi	CHFR, TCRT				x
	Obujamska masa stijene kroz zaštitne cijevi	BHGM				x
	Testiranje formacije kroz kolonu zaštitnih cijevi	CHMDT				x

Slika 2-2. Karotažna mjerenja u zacijevljenom kanalu bušotine (preuzeto Čogelja 2011.)

Pored karotažnih mjerenja za praćenje tijekom utiskivanja može se koristiti i nove tehnologije u naftnom rudarstvu. Jedna od novih metoda je uporaba svjetlovodne optike. Do sada ova metoda nije korištena u RH ali je bilo pokušaja da bi se koristila u proizvodnji ugljikovodika (plina) na Jadranu.

3. PRAĆENJE TIJEKOM VREMENA POMOĆU SVJETLOVODNE OPTIKE

Naftna i plinska polja u razradnom i proizvodnom smislu zahtijevaju primjenu novih tehnologija u praćenju proizvodnje bušotine tijekom vremena po čitavom kanalu bušotine a u svrhu optimalizacije, i ostvarivanja veće dobiti (Smolen, 1996.)



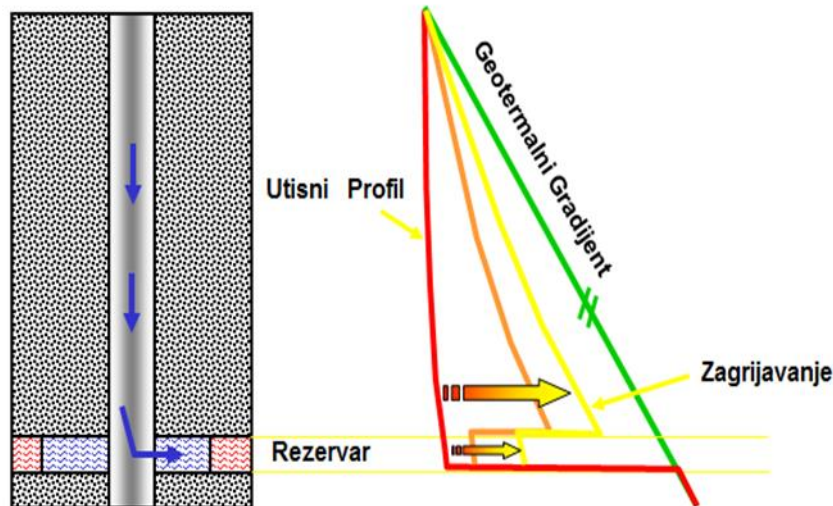
Slika 3-1. Opremanje bušotine sa svjetlovodom

Jedna od novih tehnologija u smislu trajnog praćenja proizvodnje i ležišta je primjena svjetlovodne optike koji se polaže u kanal bušotine na nizu uzlaznih cijevi i prolazi kroz paker do samog ležišta. Podatke koje dobivamo na površini sadrže parametre ležišne stijene i profila protjecanja fluida po dubini bušotine u realnom vremenu (Slika 3-1.).

Osnovi parametri ležišta i profila protjecanja fluida koje dobivamo na površini tijekom vremena su tlak i temperatura. Podatci o temperaturi i tlaku daju nam bolju sliku i uvid što se odvija u ležištu i kanalu bušotine (Slika 3-2). Efikasnost istiskivanja/utiskivanja fluida uglavnom ovise o tlaku u ležište. On je posljedica različitih sila u ležištu: stlačivosti fluida i stijena, gravitacijskih sila i tlaka pokrovnih stijena. Zbog toga, veoma je bitno poznavati tlak u ležištu da ne

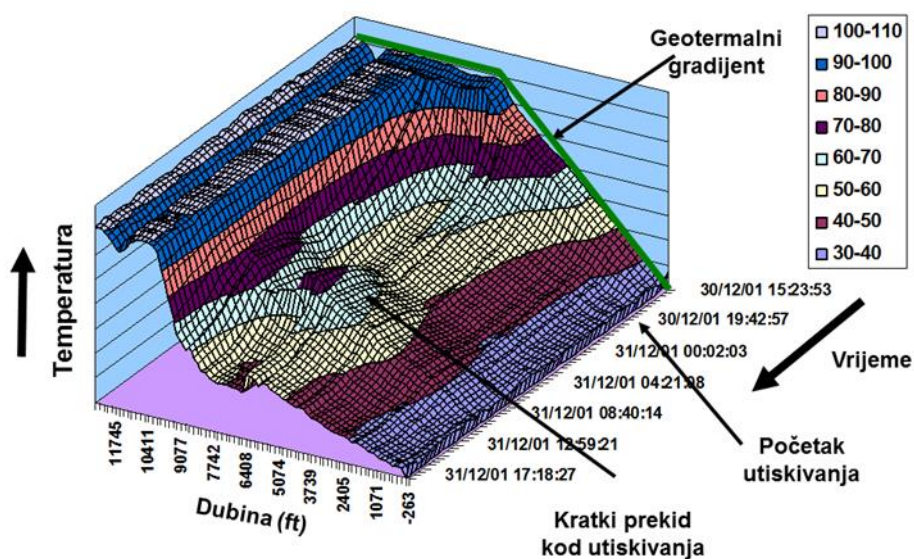
dođe do frakturiranja ležišne stijene. Na slici 3-2. vidljivo je da na intervalu rezervoara (ležišne stijene) gdje je utisnut fluid došlo do temperaturnog podhlađenja (smeđa i žuta puna linija) u

odnosu na geotermalni gradijent (označen zelenom bojom). Na intervalu iznad rezervoara gdje nije utisnut fluid temperaturni profil (smeđa i žuta linija) ukazuje na zagrijavanje u odnosu na rezervoar koji je podhlađen. Na intervalu ispod rezervoara temperaturni profil (označen crvenom bojom) ima istu vrijednost kao i geotermalni gradijent (zeleno) što ukazuje da nije bilo nikakvih temperaturnih promjena.



Slika 3-2. Temperaturni utisni profil

Primjena senzora s svjetlovodnim vlaknima u naftnom rudarstvu u svijetu se koristi u proizvodnim, utisnim bušotinama te kao metoda u procjeni bušotinskog integriteta u otkrivanju mjesta propuštanja kolone zaštitnih cijevi i niza uzlaznih cijevi. To nam je bitno jer na taj način kontroliramo da ne dođe do kontakta otpada kojeg utiskujemo u bušotinu s ležišnim stijenama iznad pogodnih geoloških formacije. Pored gore navedene metode može se koristiti i povlačenje temperaturnog mjernog uređaja na kابلu i žici pomoću karotažne mjerne jedinice. U utisnim bušotinama (okomitim ili vodoravnim) svjetlovod služi za utvrđivanje mjesta utoka fluida u ležišnu stijenu te nam daje profil u kanalu bušotine po debljini ležišta, (slika 3-3.).



Slika 3-3. Praćenje temperature tijekom utiskivanja od ušća do dna bušotine

Senzori s svjetlovodnim vlaknima nisu električni, oni su električno pasivni, oni efekte vođenje svjetlosti prevode u mjerljivu veličinu i nalaze se u jezgri svjetlovodne optike. Osnovni princip mjerenja temperature i tlaka pomoću senzora svjetlovodne optike proizlazi iz karakteristika Braggove rešetke. Svojim vanjskim oblikom i pouzdanošću otporni su na teške uvjete u kanalu bušotine. Svjetlovodnom optikom može se voditi više signala istovremeno, u istom ili suprotnim smjerovima.

Osjetljivost svjetlovodne optike može biti +/- 0,1 oC i +/- 0,13 bar a podatci se mogu dobiti svakih jedan metar u dužini od 10 km, a maksimalna temperatura mjerenja je 150 oC i tlak od 1.378 bar.

4. KVANTIFICIRANJE OKOLIŠNOG RIZIKA KOD UTISKIVANJA OTPADA U BUŠOTINE

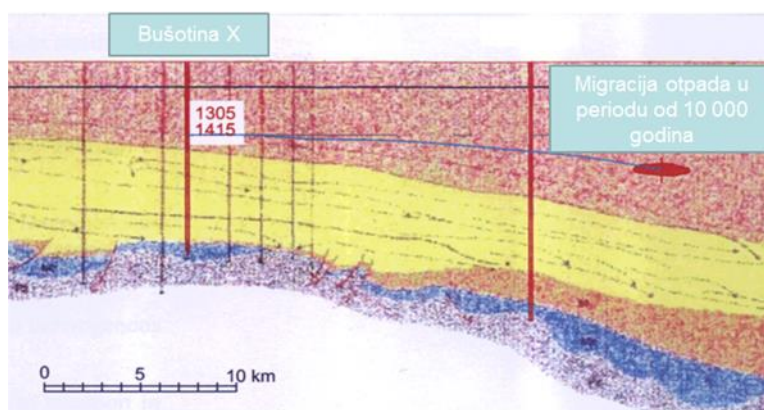
Jedan od najvažnijih ciljeva provođenja karotažnih mjerenja pri odabiru bušotina za zbrinjavanje otpada je upravo – zaštita okoliša i osiguranje zdravlja ljudi.

Naime, nekim od metoda karotažnih mjerenja dokazujemo nepropusnost krovinskog i podinskog dijela geološke formacije što je od krucijalnog značaja za određivanje geološke formacije za utiskivanje otpada. Ova vrsta mjerenja čini osnovu pri odabiru pogodne geološke formacije jer se njome potvrđuje i osigurava najmanji mogući rizik od potencijalnog onečišćenja, odnosno migracije otpada u smjeru akvifera vode, (Brkić, 2011.)

Potrebno je naglasiti da je utiskivanje otpada metoda zbrinjavanja koja, uz odlaganje otpada u rudnike soli, predstavlja metodu s najnižom razinom okolišnog rizika jer se otpad odlaže izvan biosfere te predstavlja primjer sukladan konceptu održivog razvoja (John, 1996.).

Taj rizik je moguće i kvantificirati korištenjem tzv. stohastičkih modela migracije utisnutog otpada u geološkoj formaciji, a bazira se na modelu migracije tijekom 10000 godina (model u svijetu prihvaćen i odobren od strane US EPA-United States Environmental Protection Agency).

U Hrvatskoj je za lokaciju bušotine X, provedeno istraživanje kvantifikacije okolišnog rizika za metodu zbrinjavanja otpada utiskivanjem (Slika 4-1.) Rezultati su pokazali zanemarivu razinu rizika od 5.1×10^{-14} dok prema US EPA-i, prihvatljiv rizik predstavlja razina od 10^{-6} , (Brkić, 2001.)



Slika 4-1. Istraživanje kvantifikacije okolišnog rizika za bušotinu X (preuzeto Brkić, 2011.)

Upravo kvalitetno provedena karotažna mjerenja u svrhu odabira utisne formacije s obzirom na nepropusnost krovine i podine, doprinijela je ovako malom odnosno zanemarivom ekološkom riziku, vidljivom na primjeru bušotine X.

Karotažnim mjerenjima definirana i određena spomenuta geološka formacija, omogućila je da ne postoji mogućnost vertikalne migracije otpada prema površini, već suprotno blago kretanje u dublju zonu geološke formacije.

Ova činjenica najbolje pokazuje koliko su karotažna mjerenja pri odabiru bušotina za zbrinjavanje otpada bitna kao prvi korak za određivanje sigurne utisne zone, a samim time i za aspekt zaštite okoliša i osiguranja zdravlja ljudi koji žive u neposrednoj blizini.

5. ZAKLJUČAK

Zbrinjavanje tehnološkog otpada (iz područja naftnog rudarstva) tehnologijom utiskivanja u bušotine koje zadovoljavaju tehničke uvjete, primjenjuje se u RH već nekoliko desetljeća. Otpad se zbrinjavanja u točno definirane geološke formacije koje zaliježu na propisanim dubinama i pri tom ne može doći do kontakta tih geoloških formacija sa ležišnim stijenama koje su nosioci vode.

Za obavljanje zbrinjavanja tehnološkog otpada utiskivanjem u bušotine potrebno je dobro poznavanje cjelovite geološke građe određenog područja. Pored toga mora se znati integritet i kvaliteta ugrađene kolone zaštitnih cijevi kao i niza uzlaznih cijevi kroz koje se vrši utiskivanje na taj način možemo kontrolirati utiskivanje otpad u točno određeni interval pogodne geološke formacije.

Praćenje kvalitete stjenke kolone zaštitnih i uzlaznih cijevi mora se obavljati tijekom vremena (monitoring). Praćenje kvalitete debljine stjenke kolone može se obaviti pomoću karotažnih mjerenja bilo pomoću mjernih mehaničkih ili elekto-magnetskih metoda. Nadzor nad samim postupkom utiskivanja pored karotažnih mjerenja, geofizičkih mjerenja (mikro seizmika) može se uporabiti svjetlovodna optika koju polažemo u kanal bušotine, Slika 3.1.

Aktivnosti zbrinjavanja otpada utiskivanjem u duboke bušotine, odnosno pogodne geološke formacije, pokrivene su zakonskom regulativom iz područja naftnog rudarstva i gospodarenja otpadom.

6. REFERENCE

- [1] Brkić, V (2011): Procjena ekonomskih učinaka utiskivanja otpada iz naftno-rudarske djelatnosti u pogodne stijene u odnosu na druge metode zbrinjavanja, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- [2] Čogelja, Z (2011): Identifikacija preostalih ugljikovodika u ležištu karotažom pobuđene radioaktivnosti, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- [3] Brkić, V & et (2001), " Waste disposal by Injection into Deep Wells", 23rd ASME Energy Sources Technology Conference and Exposition, Houston TX
- [4] John A. Apps and Chin-Fu Tsaang, (1996): Deep Injection Disposal of Hazardous and Industrial Waste", Academic Press.
- [5] Smolen, James J., (1996): Cased Hole and Production Log Evaluation, PennWell, Tulsa.USA

USPOSTAVA SUSTAVA ODRŽIVOG GOSPODARENJA OTPADOM U ZADARSKOJ ŽUPANIJI

ESTABLISHMENT OF SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN ZADAR COUNTY

Jasminka Čoza, dipl. ing.građ.*¹; Sašenka Korenov, dipl. ing.*²;
Tomislav Ćurko, dipl. ing.*³

¹ Civil Engineering Consultancy d.o.o., Zadar, Otona Ivekovića 36,

² Eko d.o.o., Zadar, Ante Starčevića 1

³ Čistoća d.o.o., Zadar, Stjepana Radića 33

*e-mail kontakt: jasna@ce-consultancy.hr, sasenska.korenov@eko-go.hr,
tomislav.curko@cistoca-zadar.hr

SAŽETAK

Polazi se od članka 1. stavka 2. Zakona o održivom gospodarenju otpadom (Narodne novine 94/13) gdje je definirano da se odredbama navedenog Zakona utvrđuje sustav gospodarenja otpadom te se na primjeru Zadarske županije prikazuje uspostavljanje sustava održivog gospodarenja otpadom. Navedeni su relevantni dokumenti prostornog uređenja, planovi gospodarenja otpadom te je dan pregled količina otpada za pojedine kategorije otpada u razdoblju od 2006.-2011. Također su prikazane postojeće i planirane građevine za gospodarenje otpadom kao i aktivnosti na sakupljanju i recikliranju otpada.

Ključne riječi: *gospodarenje otpadom, Zadarska županija*

ABSTRACT

The starting point of this paper is Article 1, paragraph 2 of the Act on Sustainable Waste Management (Official Gazette 94/13) where it is specified that provisions of mentioned Act stipulate the waste management system. The establishment of sustainable waste management system is shown on the example of Zadar County. Relevant physical planning documents as well as waste management plans and an overview of the amount of waste for certain waste categories in the period from 2006. to 2011. is given. Shown are also existing and planned waste management facilities and activities in the collection and recycling of waste.

Keywords: *waste management, Zadar County*

1. UVOD

Plan gospodarenja otpadom Zadarske županije [1] (dalje: PGO) kao temeljni planski dokument s područja gospodarenja otpadom u točki 5.4. *Cjeloviti sustav gospodarenja otpadom Zadarske županije* definira da se cjeloviti sustav gospodarenja otpadom Zadarske županije sastoji od tri međusobno povezana projekta, a koji se odnose na izgradnju i upravljanje Županijskim centrom za gospodarenje otpadom, izgradnju i organiziranje sustava za sakupljanje i recikliranje otpada i sanaciju i zatvaranje službenih odlagališta komunalnog otpada u Županiji.

Imajući u vidu nadležnost i obaveze u gospodarenju otpadom propisane Zakonom o održivom gospodarenju otpadom [2] (dalje: ZOGO), u nastavku je dan prikaz trenutnog stanja, aktivnosti u tijeku i planiranih aktivnosti u cilju uspostavljanja sustava održivog gospodarenja otpadom.

2. ZADARSKA ŽUPANIJA

2.1. Područje Zadarske županije

Zadarska županija se nalazi u središnjem dijelu Hrvatskog primorja. Prema podacima [3] ukupna površina županije je 7486,91 km². Površina kopna iznosi 3641,91 km², površina morskog dijela iznosi 3845,00 km² a površina otoka 587,6 km². Geografski je položena tako da zahvaća primorje sjeverne Dalmacije te zaobalje Ravnih Kotara, Bukovice, Pozrmanja i Južne Like. S kontinentalnim dijelovima Jadranske Hrvatske je odvojena, ali istovremeno i povezana visokim masivom Velebita.



Slika 1. Položaj Zadarske županije[4] Slika 2. Teritorijalne granice Zadarske županije [5]

2.2. Upravno-teritorijalni ustroj

Zadarsku županiju čini 6 gradova, 28 općina i 229 naselja[3]. Sjedište županije je grad Zadar u čijem sastavu se nalazi 15 naselja ukupnog obuhvata 194 km². Gradovi su Zadar, Benkovac, Biograd n/M, Obrovac, Pag i Nin a općine Bibinje, Galovac, Gračac, Jasenice, Kali, Kolan, Kukljica, Lišane Ostrovičke, Novigrad, Pakoštane, Pašman, Polača, Poličnik, Posedarje, Poveljana, Preko, Privlaka, Ražanac, Sali, Stankovci, Starigrad, Sukošan, Sveti Filip i Jakov, Škabrnja, Tkon, Vir, Vrsi i Zemunik Donji.

2.3. Stanovništvo

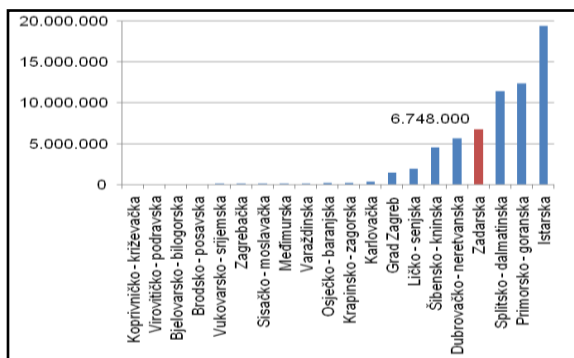
Prema Popisu stanovništva, kućanstava i stanova 2011 [6] na prostoru Zadarske županije živjelo je 170.017 stanovnika odnosno 4,0 % ukupnog broja stanovništva Hrvatske čime se je Zadarska županija smjestila na 10. mjesto po broju stanovnika. Preko 40 % stanovništva županije živi u sjedištu županije Zadru, a taj se udio i dalje povećava.

Važno je napomenuti da je Popisu stanovništva, kućanstava i stanova 2001 [7] Zadarska županija s 162.045 stanovnika bila na 11. mjestu.

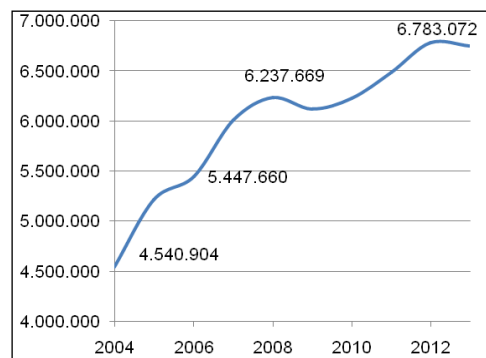
2.4. Turizam

Prema podacima [8] u Zadarskoj županiji u 2013. je ostvareno 6,748.000 noćenja što je oko 10 % ukupnog broja noćenja Hrvatske (64,828.000).

Prema podacima Ministarstva turizma [9] u razdoblju od 2004. do 2013. godine Zadarska županija je ostvarila porast broja noćenja za oko 49% što je znatno više od prosjeka države (oko 36%) u istom razdoblju.

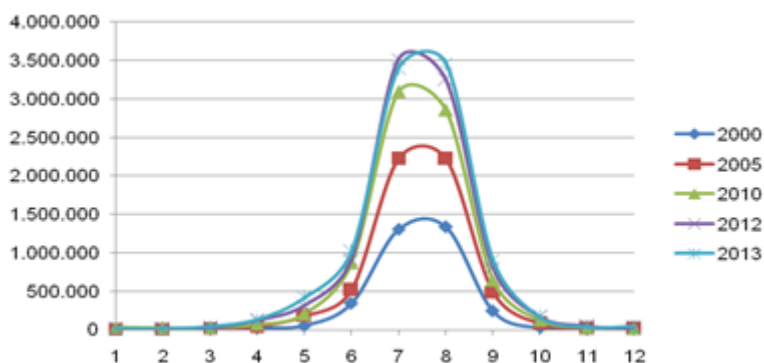


Dijagram 1. Broj noćenja u 2013. u RH [8]



Dijagram 2. Broj noćenja u Zadarskoj županiji 2004.-2013. [10]

Važno je navesti da je Zadarskoj županiji došlo ne samo do povećanja broja noćenja u ljetnim mjesecima, nego je, prema podacima [11], vidljivo da je početak turističke sezone u travnju a završetak u listopadu.



Dijagram 3. Broj noćenja u Zadarskoj županiji po mjesecima [10]

3. PROSTORNI PLANOVI

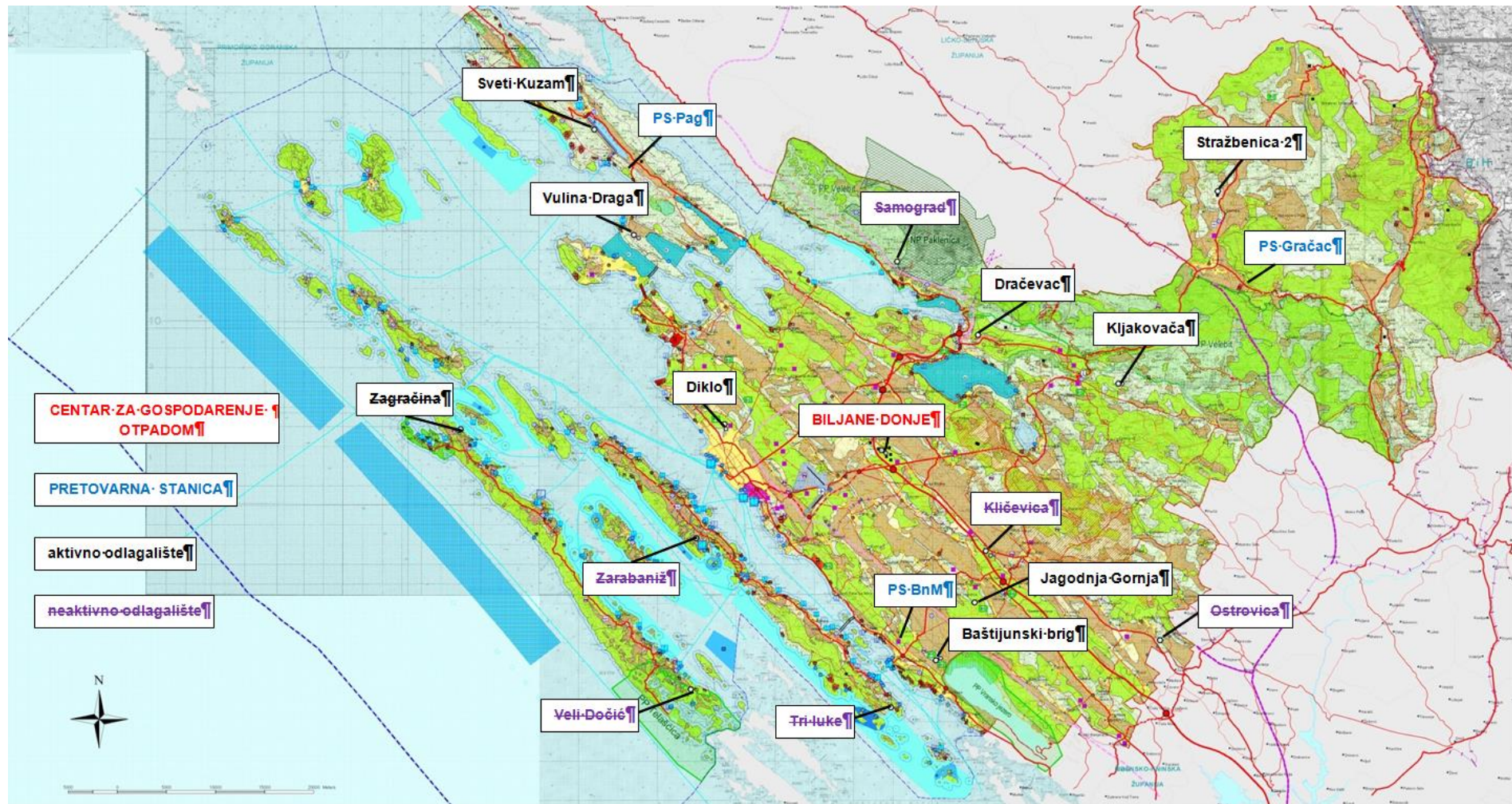
Prostornim planovima se, sukladno članku 53. Zakona o prostornom uređenju [12], „*propisuju uvjeti za građenje građevina i provedbu drugih zahvata u prostoru na određenoj razini i/ili lokaciji u skladu s kojima se izdaje akt za provedbu prostornog plana ...*“

Članak 83. ZOGO-a određuje da je tijelo nadležno za donošenje dokumenta prostornog uređenja obvezno planirati lokacije građevina za gospodarenje otpadom od državnog, županijskog i lokalnog značaja. Stoga je nužno je navesti prostorne planove za područja na kojima je planirana izgradnja građevina za gospodarenje otpadom i sanacija odlagališta.

3.1. Prostorni plan Zadarske županije

Prostornim planom Zadarske županije [13] određeno je da se mora „*planski definirati namjena postojećih odlagališta, odnosno odrediti prenamjena onih koja se neće koristiti*“. Također je navedeno:

- da je određena lokacija za izgradnju Županijskog (regionalnog) centra za gospodarenje otpadom za područje Zadarske županije;
- da do donošenja Plana gospodarenja otpadom Zadarske županije, otpad će se odlagati na postojećim neuređenim odlagalištima uz istovremenu sanaciju istih;
- da će se otpad s otoka odvoziti na kopno, na najbliža odlagališta, a na svakom otoku organizirati transfer-postaju za prikupljanje i selekciju;
- da treba uspostaviti sustav odvojenog sakupljanja neopasnog tehnološkog otpada (metali, papir, staklo itd.) kako bi se recikliranjem dobile sekundarne sirovine za ponovno korištenje.



Slika 3. Centar za gospodarenje otpadom, pretovarne stanice, aktivna i neaktivna odlagališta u Zadarskoj županiji [3,10]

3.2. Prostorni plan uređenja grada Benkovac

Prostorni plan uređenja grada Benkovac [14] pod točkom 2.1. *Građevine od važnosti za Državu i Županiju* u članku 15. navodi županijski (regionalni) centar za gospodarenje otpadom, uključujući transfer postaje“ kao infrastrukturne građevine od važnosti za Zadarsku županiju na području Grada Benkovca.

3.3. Lokacije pretovarnih stanica

Izmjena i dopunama Prostornog plana Zadarske županije koje su u tijeku predviđene su pretovarne stanice Gračac, Pag i Biograd na Moru. Pretovarna stanica Biograd na Moru je definirana i prostornim planom lokalne razine [15].

Za potrebe prijevoza otpada s otoka, prema dokumentima [16], predviđena je uspostava 14 mini-pretovarnih stanica – po jedna s otoka Grada Zadra (Molat, Iž, Silba, Rava, Olib, Premuda, Ist) i ostalih naseljenih otoka Zadarskog arhipelaga (Sestrunj, Zverinac, Ošljak, Rivanj, Vrgada) te dvije s Dugog otoka.

4. PLANovi GOSPODARENJA OTPADOM

Već spomenuti PGO je usvojen na sjednici Skupštine Zadarske županije održanoj 17. srpnja 2009. godine. Ostali gradovi i općine su ili donijeli plan gospodarenja otpadom ili je isti u postupku izrade.

5. PREGLED KOLIČINA OTPADA

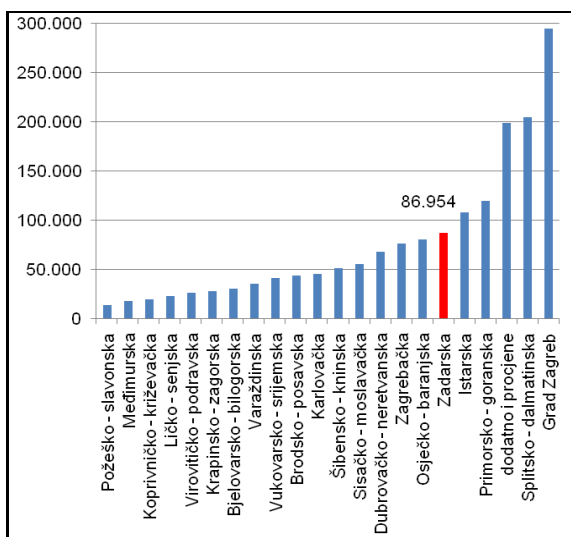
U nastavku je dan grafički prikaz količina proizvedenog komunalnog, miješanog komunalnog otpada te količine odvojeno skupljenih ostalih vrsta komunalnog otpada kao i količina otpada po stanovniku za Republiku Hrvatsku i Zadarsku županiju. Također je dana i količina ukupno odloženog otpada, sve prema podacima iz *Izvješća o komunalnom otpadu za 2012. godinu* [17] (dalje: *Izvješće*). Također dan je i prikaz količina otpada za pojedine kategorije u razdoblju od 2006. -2011. prema dostupnim dokumentima [18] za Zadarsku županiju.

5.1. Količine proizvedenog otpada

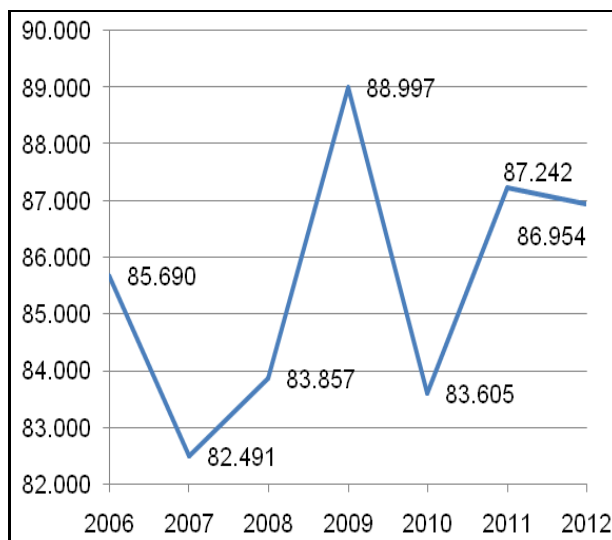
5.1.1. Količine proizvedenog komunalnog otpada

Prema [17] u Zadarskoj županiji je u 2012. godini ukupno proizvedeno 86.954 t komunalnog otpada tj. oko 5% od ukupne količine proizvedenog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj u 2012. godini (1,670.005 t).

Ukupna količina proizvedenog komunalnog otpada u Zadarskoj županiji u razdoblju od 2006. do 2012. prosječno iznosi oko 85.550 t.



Dijagram 4. Količine proizvedenog komunalnog otpada u RH [17]

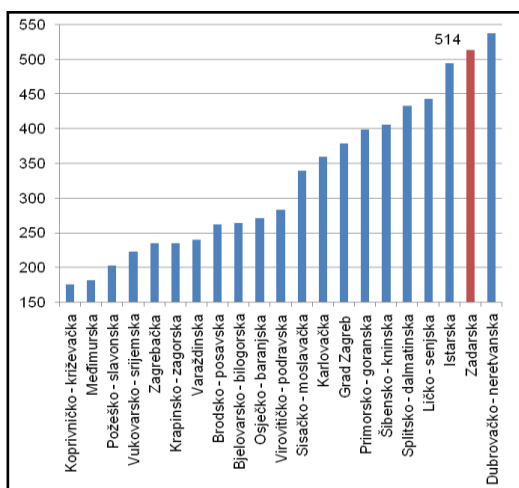


Dijagram 5. Proizvedeni komunalni otpad u Zadarskoj županiji [10]

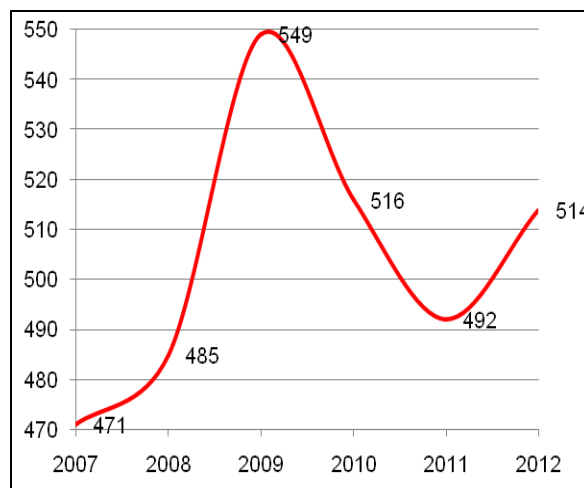
5.1.2. Količina proizvedenog komunalnog otpada po stanovniku

Specifična količina proizvedenog komunalnog otpada na razini države u 2012. godini je, prema [17], iznosila 390 kg/stanovniku. Prosjek Zadarske županije je 514 kg, što je za oko 32% veće od prosjeka a to, prema Izvješću, možemo pripisati utjecaju turizma.

Ukoliko se promatra specifična količina proizvedenog komunalnog otpada u Zadarskoj županiji u razdoblju od 2006. do 2012. vidljivo je da prosjek iznosi 505 kg što je oko 29% više od prosjeka države (390 kg) u istom razdoblju.



Dijagram 6. Specifična količina proizvedenog komunalnog otpada u RH [17]



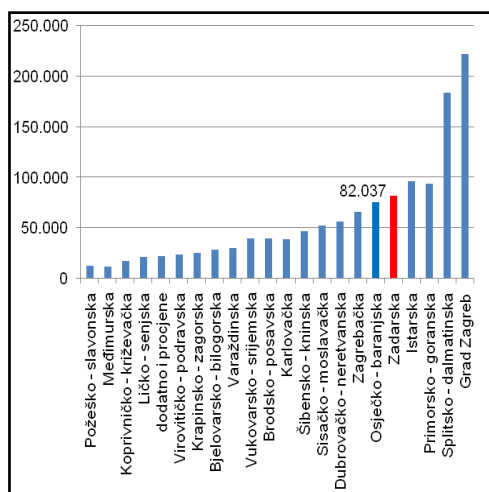
Dijagram 7. Specifična količina proizvedenog komunalnog otpada u Zadarskoj županiji [10]

5.2. Količine skupljenog otpada

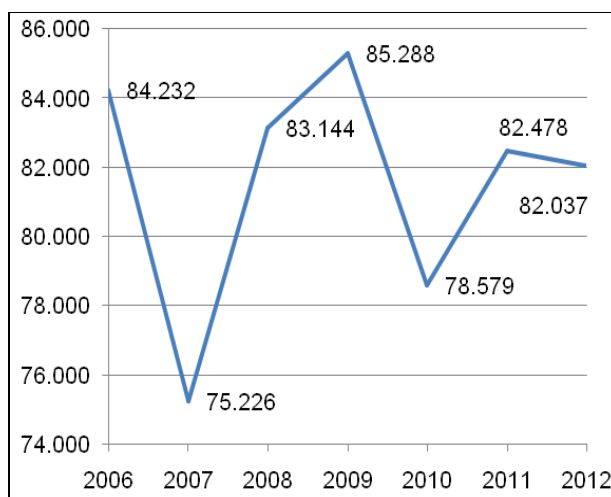
5.2.1. Količine skupljenog miješanog komunalnog otpada

Prema Izvješću u Zadarskoj županiji je u 2012. godini proizvedeno 82.037 t miješanog komunalnog otpada tj. oko 6% od količine proizvedenog miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj u 2012. godini (1,287.927 t).

Godišnja količina proizvedenog miješanog komunalnog otpada u Zadarskoj županiji u razdoblju od 2006. do 2012. prosječno je iznosila oko 81.569 t



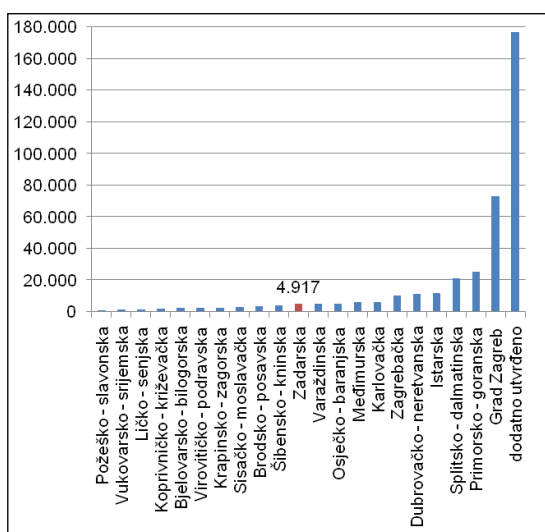
Dijagram 8. Količina proizvedenog miješanog komunalnog otpada u RH [17]



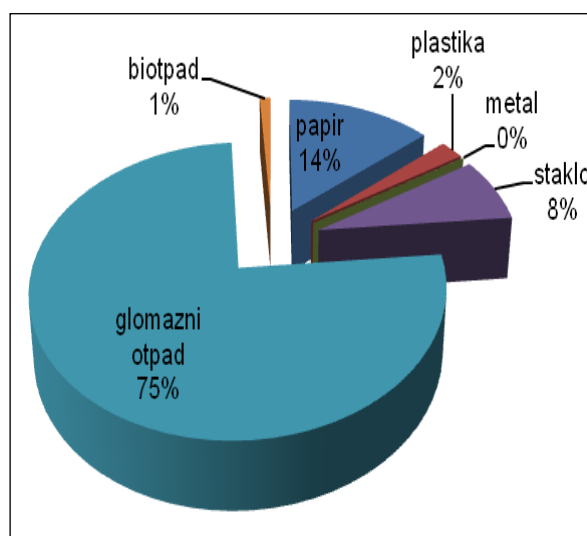
Dijagram 9. Količina proizvedenog miješanog komunalnog otpada u Zadarskoj županiji [10]

5.2.2. Količine odvojeno skupljenih ostalih vrsta komunalnog otpada

Prema [17] u Zadarskoj županiji je u 2012. godini odvojeno skupljeno 4.917 t ostalih vrsta komunalnog otpada tj. svega oko 1,4 % od ukupne količine odvojeno skupljenih ostalih vrsta komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj u 2012. godini (382.078 t).

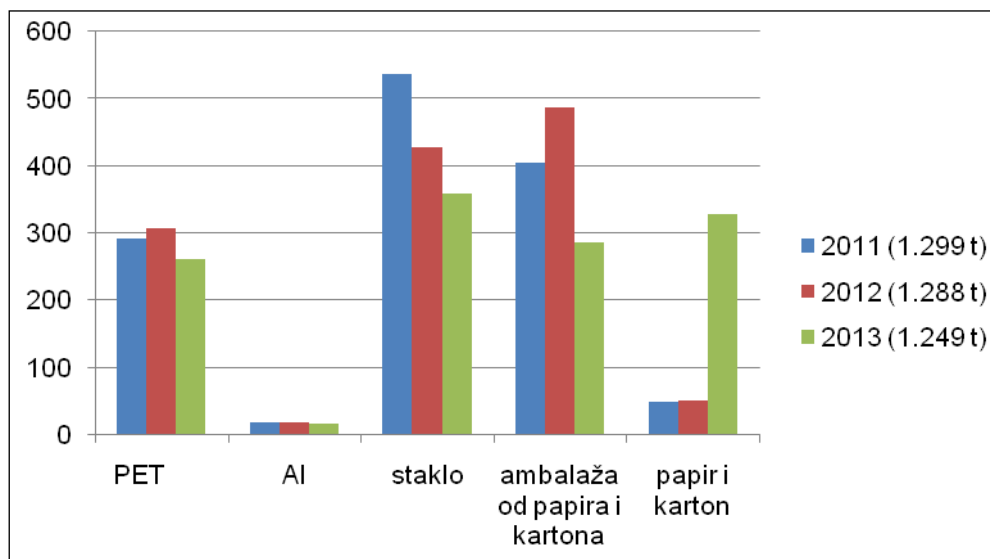


Dijagram 10. Količine odvojeno skupljenih ostalih vrsta komunalnog otpada u RH [17]



Dijagram 11. Količine odvojeno skupljenih vrsta komunalnog otpada u Zadarskoj županiji [17]

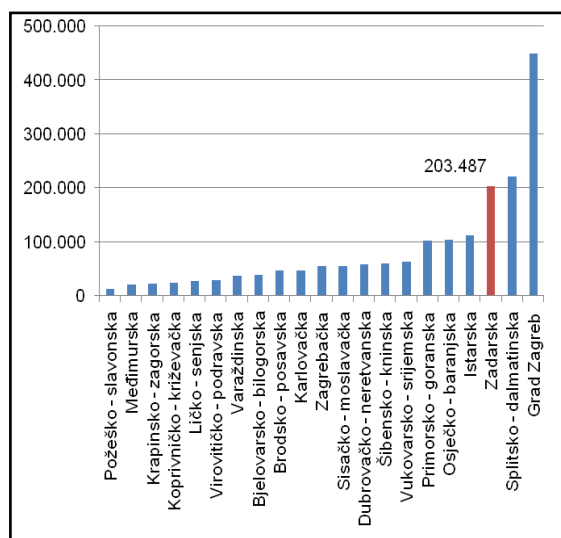
Iz podataka o količini skupljene ambalaže zaprimljene na odlagalište Diklo u 2011., 2012. i 2013., vidljivo je da je ta količina prosječno iznosi oko 1.279 t i da nema značajnih odstupanja u količinama.



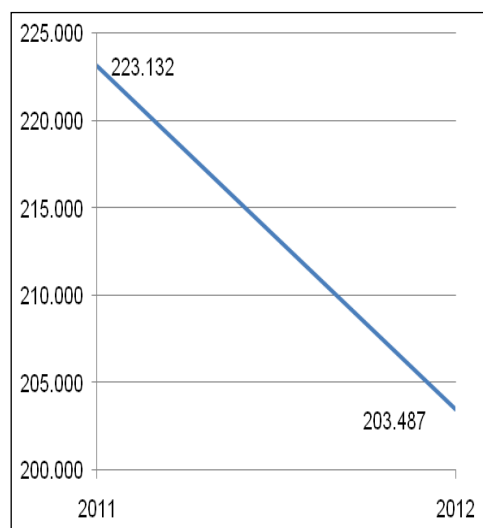
Dijagram 12. Količine skupljene ambalaže zaprimljene na odlagalištu Diklo [19]

5.2.3. Količine ukupno odloženog otpada

Prema [17] u Zadarskoj županiji je u 2012. godini na odlagališta na koja se odlagao komunalni otpad odloženo 203.487 t otpada tj. oko 11% od ukupne količine odloženog otpada u Republici Hrvatskoj u 2012. godini (1,797.215 t).



Dijagram 13. Količine ukupno odloženog otpada u RH [17]

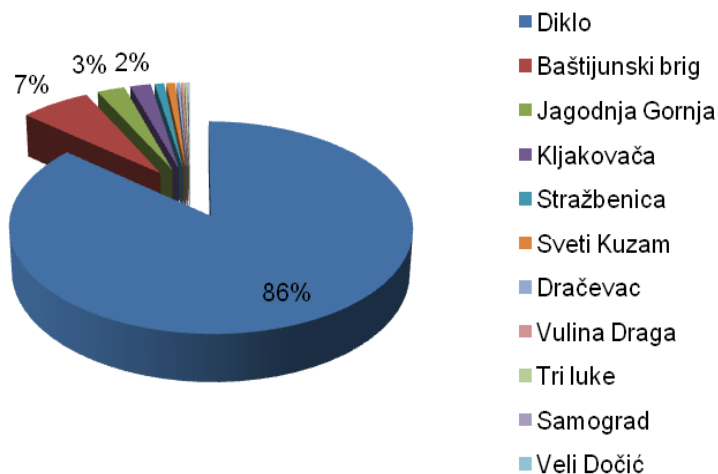


Dijagram 14. Količine odloženog otpada u Zadarskoj županiji [10]

Ukoliko se pogleda odnos količine otpada odloženog u 2012. i 2011. godini, vidljivo je da je količina odloženog otpada pala za oko 9%.

Prema [17], u Zadarskoj županiji se je u 2012. otpad odlagao na 11 odlagališta: Diklo (Zadar), Baštijunski brig (Biograd na Moru), Jagodnja Gornja (Polača), Kljakovača (Obrovac),

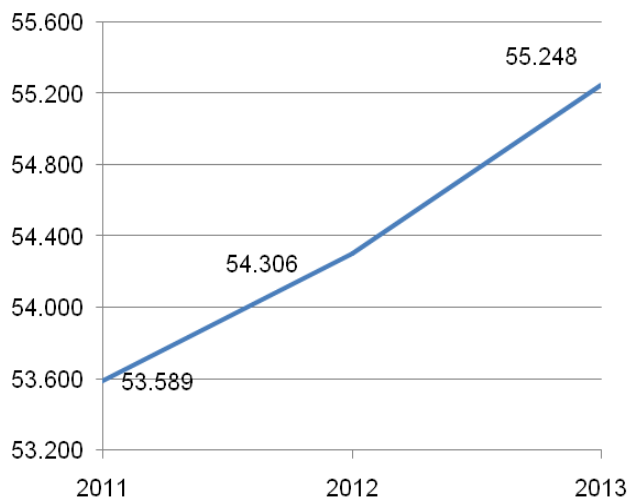
Stražbenica 2 (Gračac), Sveti Kuzam (Pag), Dračevac (Jasenice), Vulina Draga (Povljana), Tri luke (Tkon), Samograd (Starigrad), Veli Dočić (Sali). Ukupno je odloženo 203.487 t od čega je najveći dio, oko 86% (175.516 t), na odlagalištu Diklo.



Dijagram 15. Odlagališta otpada na kojima se odlagao komunalni otpad u Zadarskoj županiji [17]

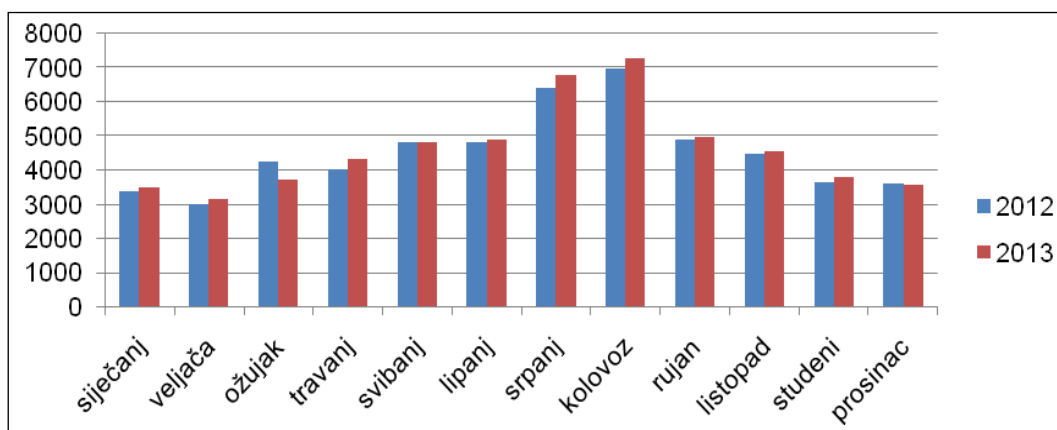
5.2.4. Količine miješanog komunalnog otpada zaprimljenog na odlagalište Diklo

U nastavku je dan pregled količina miješanog komunalnog otpada zaprimljenog na odlagalište Diklo u 2011., 2012. i 2013. iz kojeg je vidljivo da količina rasla za oko 1,5% godišnje.



Dijagram 16. Količine miješanog komunalnog otpada zaprimljene na odlagalište Diklo u 2011., 2012. i 2013. [19]

Ukoliko se promatra količina miješanog komunalnog otpada zaprimljenog na odlagalište Diklo po mjesecima u 2012. i 2013. godini, vidljivo je da su najveće količine tijekom srpnja i kolovoza, prosječno oko 6.860 t, dok je, za usporedbu, u prosincu zaprimljeno oko 3.850 t što znači da tijekom ljeta dolazi do povećanja od oko 80%.



Dijagram 17. Količine miješanog komunalnog otpada zaprimljene na odlagalište Diklo po mjesecima u 2012. i 2013. [19]

6. GRAĐEVINE ZA GOSPODARENJE OTPADOM

Članak 4. Stavak 1 ZOGO-a pod pojmom „*građevine za gospodarenje otpadom*“ navodi da je to građevina za sakupljanje otpada (skladište otpada, pretovarna stanica i reciklažno dvorište), građevina za obradu otpada i centar za gospodarenje otpadom (dalje: CGO). U nastavku je dan pregled i opis postojećih odlagališta otpada te aktivnosti vezane uz planirani CGO-a i pretovarne stanice.

6.1. Aktivna odlagališta otpada

Prema dokumentu *Izješće o stanju projektne dokumentacije za aktivna odlagališta otpada na području Zadarske županije* [20] Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (dalje: FZOEU) je sklopio ugovore s jedinicama lokalne samouprave u sufinanciranju sanacija odlagališta (8. veljače 2005. za odlagališta Baštijunski brig, Kljakovača, Sveti Kuzam, Stražbenica 2, Jagodnja Gornja, Tri luke, Diklo, Samograd i Vulina Draga te 10. srpnja 2007. za odlagalište Dračevac). Odlagališta su uvrštena na indikativnu listu za prijavu za sufinanciranje iz fondova Europske unije. Za sva odlagališta je predviđena sanacija in-situ, osim za odlagalište Tri luke gdje je predviđena sanacija ex-situ. Također, nedavno je FZOEU donio Odluku o povećanju postotnog učešća Fonda u sufinanciranju realizacije programa sanacije odlagališta komunalnog otpada za preostali nerealizirani dio procijenjene vrijednosti investicije za odlagališta Tri luke i Sveti Kuzam sa 60% na 75% odnosno za odlagališta Jagodnja Gornja, Stražbenica 2 i Dračevac sa 80% na 90%. Za sva odlagališta je predviđena sanacija nakon što CGO započne s radom.

6.1.1. Diklo

Nalazi se sjeverno od naselja Diklo, s radom je započelo 1963. godine. Kapacitet glavne jedinice odlagališta iznosi 4,375.000 t. Ploha za odlaganje otpada zauzima površinu od oko 33,6 ha i podijeljena je na dva dijela: ploha „A“ i ploha „B“. Također uređen je prostor površine oko 670 m² za odlaganje azbestnog otpada i radna ploha za prihvatanje zelenog i građevinskog otpada površine oko 116.000 m². Neposredno uz ulazno-izlaznu zonu smješteno je reciklažno dvorište površine oko 1050 m².

Za odlagalište je ishođena lokacijska dozvola, izrađeni su idejni i glavni projekti i u tijeku je priprema za izradu dokumentacije za izmjenu zahvata sanacije i zatvaranja odlagališta komunalnog otpada.

6.1.2. Baštijunski brig

Odlagalište se nalazi sjeveroistočno od Biograda na Moru. Otpad se odlaže od 1962. godine. Na ulazu odlagališta postoji rampa i stražarska kućica. Čuvarska služba je organizirana tijekom 24 sata.

2013. godine je ishođena lokacijska dozvola za rekonstrukciju i sanaciju kojom su definirane dvije faze – odlagalište i pristupna cesta. U tijeku je izrada glavnog projekta za odlagalište.

6.1.3. Jagodnja Gornja

Odlagalište se nalazi u općini Polača, otpad se odlaže od 2005. godine.

U svibnju 2014. je dobivena potvrda glavnog projekta i u tijeku je priprema za izradu dokumentacije za nadmetanje za izvođenje radova.

6.1.4. Kljakovača

Odlagalište se nalazi kod naselja Bilišane, istočno od Obrovca. 2008. godine je ishođena lokacijska dozvola za sanaciju i izrađeni su glavni projekti.

6.1.5. Stražbenica 2

Odlagalište se nalazi oko 4 km od Gračaca, otpad se odlaže od 2002. godine. Površina odlagališta iznosi oko 11.000 m². Odlagalište je ograđeno.

Lokacijska dozvola je ishođena i u tijeku je izrada dokumentacije za nadmetanje za izradu glavnih projekata.

6.1.6. Sveti Kuzam

Sveti Kuzam je odlagalište na području Grada Paga, koristi se od 1982. godine.

Za odlagalište je ishođena lokacijska dozvola, potvrda i izmjena potvrde glavnog projekta. U tijeku je provođenje postupka javne nabave radova za uređenje i konačno zatvaranje odlagališta.

6.1.7. Dračevac

Odlagalište Dračevac se nalazi u napuštenom rudniku, odnosno iskopu bivšeg rudnika boksita iznad naselja Maslenica.

Za odlagalište je ishođena lokacijska dozvola i podnesen je zahtjev za izmjenu i dopunu lokacijske dozvole. U tijeku je izvršenje ugovora o Izradi tehničke dokumentacije sanacije i to izmjene i dopune idejnog projekta te izrada glavnog i izvedbenog projekta sanacije.

6.1.8. Vulina Draga

Vulina Draga se nalazi oko 3 km od naselja Poveljana, s odlaganjem na ovoj lokaciji započelo se 1999.godine. Odlagalište je površine 11.500 m² i ograđeno je.

Za odlagalište je podnesen zahtjev za izdavanje nove lokacijske dozvole.

6.2. Neaktivna službena odlagališta

Odlagalište Tri luke je odlagalište otpada Općine Tkon, s odlaganjem se je prestalo u lipnju 2013. godine. U tijeku su pripremne radnje za početak sanacije.

Odlagalište Samograd se nalazi iznad Starigrada, s odlaganjem se je prestalo u lipnju 2013. godine. U tijeku je postupak ishođenja potvrde na glavni projekt.

6.3. Centar za gospodarenje otpadom

CGO ima ključnu ulogu u uspostavi sustava održivog gospodarenja otpadom. Uspostava sustava, kao i izgradnja CGO-a, je opsežan i složen višegodišnji proces. U nastavku je dan pregled dosadašnjih aktivnosti i aktivnosti u tijeku.

6.3.1. Odrađene aktivnosti

Prema dokumentu Izvješće o radu TD Eko d.o.o. za 2013. godinu [21] do sada je napravljeno puno dokumentacije na temelju koje su ishođena odgovarajuća rješenja. Također je poduzeto i puno drugih aktivnosti, kako je i vidljivo iz dijela spomenutog Izvješća.

Ministarstvo zaštite okoliša i prirode (dalje: MZOIP) je provelo postupak procjene utjecaja na okoliš CGO-a Zadarske županije na lokaciji Biljane Donje i postupak utvrđivanja objedinjenih uvjeta zaštite okoliša te je 14. srpnja 2014. u jedinstvenom postupku donijelo rješenje o objedinjenim uvjetima zaštite okoliša u kojem je navedeno da je zahvat – CGO Zadarske županije prihvatljiv za okoliš.

6.3.2. Aktivnosti u tijeku

U tijeku je izvršenje ostatka ugovora o usluzi izrade dijela projektno-tehničke dokumentacije za izgradnju CGO-a i pretovarnih stanica na području Zadarske županije za sufinanciranje iz EU fondova. Također je u tijeku i usklađivanje idejnog projekta s objedinjenim uvjetima zaštite okoliša, kao i završavanje studije izvodljivosti i aplikacije za sufinanciranje projekta iz EU fondova.

6.4. Planirane pretovarne stanice

Za pretovarnu stanicu Biograd na Moru napravljen je idejni projekt kao i Elaborat za ocjenu o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš te je u tijeku provedba postupka ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš pri MZOIP.

U tijeku je izrada geodetskog i idejnog projekta za pretovarnu stanicu Pag. Napravljena je radna verzija Elaborata za ocjenu o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš jer je u tijeku postupak donošenja Izmjena i dopuna Prostornog plana uređenja Grada Paga.

6.4.1. Pretovarna stanica Gračac

Za pretovarnu stanicu Gračac u tijeku je izrada geodetskog i idejnog projekta, kao i postupak donošenja Izmjena i dopuna Prostornog plana uređenja Općine Gračac.

7. SAKUPLJANJE I RECIKLIRANJE OTPADA

7.1. Skupljači otpada

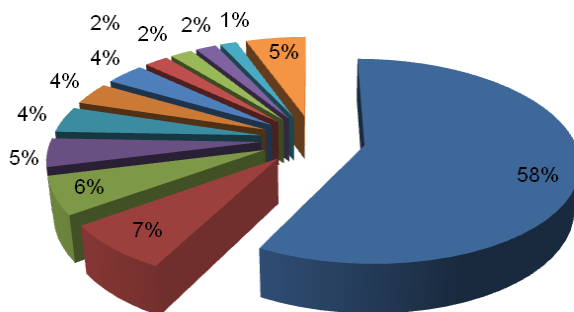
Prema [17] u 2012. godini je na području Zadarske županije bilo 23 skupljača. Najveći skupljač je Čistoća d.o.o. koja je u 2012. skupila 50.127 t komunalnog otpada.

7.2. Sustav za sakupljanje i recikliranje

Uspostava sustava za sakupljanje i recikliranje otpada prikazana je na primjeru društva Čistoća d.o.o. koje i upravlja odlagalištem Diklo.

Čistoća d.o.o. obavlja usluge [22] odvoza miješanog komunalnog otpada na području gradova Zadar i Nin, općina Vrsi, Novigrad, Posedarje, Sukošan, Poličnik, Ražanac, Starigrad, Privlaka, Galovac, Škabrnja, Preko i Zemunik odnosno uslugom odvoza miješanog komunalnog otpada obuhvaćeno je oko 53.000 domaćinstava, oko 1.100 pravnih osoba i oko 1.300 obrtnika.

■ Čistoća d.o.o.	58%	■ Bošana d.o.o.	7%
■ KD Polača	6%	■ INFRA-GRAD d.o.o.	5%
■ BENKOVIĆ d.o.o.	4%	■ Čisti otok d.o.o.	4%
■ LOŠI Prijevoznički obrt	4%	■ Otok Ugljan d.o.o.	2%
■ Komunalno d.o.o.	2%	■ KD Pag d.o.o.	2%
■ JKU "Otok Pašman"	2%	■ ostali skupljači s udjelom manjim od 1%	



Dijagram 18. Skupljači otpada u 2012. [17]

7.2.1. Odvojeno skupljanje otpada iz kućanstva

Čistoća d.o.o. je 2005. godine [22] započela s formiranjem eko-otoka koji su sadržavali spremnike različite boje za odlaganje raznih vrsta otpada (plava–novine, karton; zelena–staklo; žuta–PET ambalaža; siva–metalna ambalaža; crvena–stare baterije; bijela–lijekovi). Međutim, tijekom godina je svako postavljanje eko-otoka odnosno spremnika za plastiku i staklo rezultiralo razbijanjem istih od strane individualnih skupljača te se je odustalo od tog modela.



Slika 4. Uređeni eko-otok [22]



Slika 5. Razbijeni spremnici [22]

Stoga se je započelo s postavljanjem spremnika za papir kraj višestambenih odnosno poslovnih zgrada.

Također, u rujnu 2014. se je započelo s postavljanjem zelenih otoka sa spremnicima za odvojeno prikupljanje stakla, papira, odjeće i obuće uz kontejnere za mješani komunalni otpad kako bi se građanima dala mogućnost odvajanja korisnog otpada i u svojim kvartovima.



Slika 6. Dodatni spremnik za papir [23]



Slika 7. Zeleni otok [23]

Čistoća d.o.o. razvija i sustav skupljanja svih ostalih polimera. Naime, već petu godinu zaredom odvaja se otpad od polimera i plastike na način da se građanima dijele vrećice kako bi odvajali sve one vrste plastike odnosno plastične ambalaže koja nije u sustavu povrata. Na početku je oko 8% kućanstava bilo uključeno a sada oko 18%.

Od rujna 2014. započelo se je sa skupljanjem otpadnog papira iz kućanstva tako da se uz postojeće žute vrećice za odvajanje polimera od sada mogu dobiti i plave vrećice za odvajanje otpadnog papira. Vrećice se besplatno preuzimaju.



Slika 8. Vrećice za polimere [22]



Slika 9. Vrećice za papir [22]

Početakom 2014. godine započela je provedba pilot projekta odvojenog sakupljanja biorazgradivog otpada od ostalog miješanog komunalnog otpada iz domaćinstava na području naselja Novi Bokanjac i Crno.

Svi korisnici na navedenim područjima su uz postojeće zelene posude dobili i smeđe posude za odlaganje biorazgradivog otpada volumena 80 lit. Ukoliko je netko od korisnika želio proizvoditi humus kompostiranjem, dobio je komposter.

Predviđeno trajanje projekta je 6 mjeseci, bez promjena u cijeni usluge.

7.2.2. *Reciklažno dvorište*

U okviru odlagališta Diklo [22] formirano je reciklažno dvorište u kojem se može odložiti papir, staklo, plastika (PET ambalaža), metalna ambalaža (limenke), stare baterije, otpadna jestiva i maziva ulja i antifriz, zauljena ambalaža i krpe, otpadne fluorescentne cijevi, električni i elektronički otpad, otpadne baterije, glomazni otpad, sve vrste otpadnih polimera (plastike) i otpadnih vrećica.

Reciklažno dvorište je pod nadzorom i otvoreno je 0-24 sata.

7.2.3. *Projekti*

Čistoća d.o.o. kontinuirano potiče građane da uoče probleme koji se javljaju kod gospodarenja otpadom i stoga sustavno radi na edukaciji svih dobnih skupina. U sklopu toga osmišljen je i projekt „Edukacija o cjelovitom gospodarenju otpadom“ u suradnji sa dječjim vrtićima u Zadru.

8. ZAKLJUČAK

Iz prethodno navedenog vidljivo je Zadarska županija ima dva osnovna problema: rast u količini proizvedenog otpada i nezavršeni postupci vezani uz sanaciju odlagališta otpada.

Uzroci rasta količina proizvedenog otpada su prvenstveno značajno povećanje broja noćenja turista kao i raniji početak odnosno kasniji završetak turističke sezone, što je vidljivo iz mjesečnih količina miješanog komunalnog otpada doveženog na odlagalište Diklo.

Stoga je potrebno uložiti dodatni napor na osvješćivanju posjetitelja Zadarske županije o potrebi odvojenog skupljanja otpada tijekom njihova boravka. Isto se odnosi i na pružatelje usluga smještaja koji moraju osigurati način odvojenog skupljanja otpada.

Za sva odlagališta otpada se je započelo s izradom dokumentacije za sanaciju ali samo neka su ishodila svu potrebnu dokumentaciju. Potrebno je, uz maksimalnu suradnju s FZOEU, nastaviti sa započetim aktivnostima.

9. IZVORI PODATAKA

- [1] Plan gospodarenja otpadom Zadarske županije (Službeni glasnik Zadarske županije 15/2009)
- [2] Zakon o održivom gospodarenju otpadom (Narodne novine 94/13)
- [3] <http://www.zadarska-zupanija.hr/>
- [4] http://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatske_%C5%BEupanije
- [5] <https://www.google.hr/maps/place/Zadarska+%C5%BEupanija/>, obrada autora
- [6] Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011 (Državni zavod za statistiku, 2013.)
- [7] Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2001 (Državni zavod za statistiku, 2002.)
- [8] Turizam u brojkama 2013. (Hrvatska turistička zajednica, 2014.)
- [9] Turizam u brojkama 2005., Turistički promet 2006., Analiza turističkog prometa 2007., Turistički promet u Republici Hrvatskoj 2008. godine, Turistički promet u Republici Hrvatskoj 2009. godine, Turizam 2010. – kratki pregled, Turizam u brojkama 2011., Analiza komercijalnog turističkog prometa u Republici Hrvatskoj 2012., Turizam u brojkama 2013 (Hrvatska turistička zajednica)
- [10] Autorska obrada prethodno navedenih podataka, rujan 2014.
- [11] Podaci dostavljeni od strane Turističke zajednice Zadarske županije, rujan 2014.
- [12] Zakon o prostornom uređenju (Narodne novine 153/13)

- [13] Prostorni plan Zadarske županije (Službeni glasnik Zadarske županije br. 2/01, 6/04, 2/05, 17/06 i 3/10 i izmjene u tijeku)
- [14] Prostorni plan uređenja grada Benkovac (Službeni glasnik Zadarske županije br. 1/03 i 6/03, Službeni glasnik grada Benkovca br. 02/08, 04/12, 02/13)
- [15] Urbanistički plan uređenja cjelovite zone proizvodne – pretežito industrijske namjene (I1) (Službeni glasnik Grada Biograda na Moru, broj 2/2008, 9/2012 i 12/2013)
- [16] Studija o utjecaju na okoliš Centra za gospodarenje otpadom Zadarske županije, APO d.o.o., prosimac 2013.
- [17] Izvješće o komunalnom otpadu za 2012. godinu (Agencija za zaštitu okoliša, veljača 2014.)
- [18] Katastar otpada – Izvješće za 2006. godinu Komunalni otpad, Registar onečišćavanja okoliša – Izvješće o komunalnom otpadu za 2007.g. , Izvješće o komunalnom otpadu za 2008. Godinu, Izvješće o komunalnom otpadu za 2009. Godinu, Izvješće o komunalnom otpadu za 2010. Godinu, Izvješće o komunalnom otpadu za 2011. godinu (Agencija za zaštitu okoliša)
- [19] Podaci o količinama otpada zaprimljenim na odlagalište Diklo, Čistoća d.o.o., rujan 2014.
- [20] Izvješće o stanju projektne dokumentacije za aktivna odlagališta otpada na području Zadarske županije (EKO d.o.o., ožujak 2013)
- [21] Izvješće o radu TD Eko d.o.o. za 2013. godinu (EKO d.o.o., svibanj 2014.)
- [22] <http://www.cistoca.hr/>
- [23] Fotografije autora, rujan 2014.

UTJECAJ POSTROJENJA ZA TERMIČKU OBRADU OTPADA NA ZDRAVLJE LJUDI

THERMAL WASTE TREATMENT PLANT (INCINERATION PLANT) IMPACT ON HUMAN HEALTH

doc. dr. sc. Sandra Tucak Zorić^{1*}

¹ Medicinski fakultet Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

*e-mail kontakt: sandra.tucak-zoric@zagreb.hr

SAŽETAK

U sustavu gospodarenja otpadom pozornost javnosti uglavnom je prvo bila usmjerena na odlagališta opasnog otpada, a zatim i na postrojenja za termičku obradu otpada. U središtu interesa javnosti je pitanje mogućih utjecaja postrojenja za termičku obradu otpada na zdravlje ljudi, posebno u lokalnim zajednicama gdje su takva postrojenja već izgrađena ili se tek trebaju izgraditi. Ovaj interes javnosti potaknuo je provođenje cijelog niza istraživanja diljem svijeta kako bi se utvrdilo u kojoj je mjeri ova zabrinutost lokalnih zajednica opravdana, posebno vezano uz emisije onečišćujućih tvari iz ovih postrojenja u okoliš te mjeru i način utjecaja ovih tvari na zdravlje ljudi. U proteklim je godinama proveden niz znanstvenih i stručnih istraživanja (studija) korištenjem različitih metodoloških pristupa. Cilj je ovog rada dati pregled postojećih dostupnih saznanja i informacija, pružajući ujedno uvid u stavove znanstvenika i pojedinih nadležnih tijela o pouzdanosti procjena i nesigurnostima koji prate ovakva istraživanja.

Ključne riječi: *postrojenja za termičku obradu otpada, utjecaj na zdravlje, znanstvena i stručna istraživanja, pregled dostupnih saznanja i informacija*

ABSTRACT

In the waste management system, attention was mainly focused on the hazardous waste disposal, and then on the thermal treatment waste plant. At the center of public interest is a question of the possible impacts of waste thermal treatment (incinerators) on human health, especially in communities where such facilities are already built or are yet to be built. This public interest prompted the implementation of a range of research around the world to determine the which extent these concerns of local communities are justified, particularly with regard to pollutant emissions from these plants in the environment and measure of impact and the way these substances effect on human health. In recent years was implemented a series of scientific and technical research (study) using different methodological approaches. The aim of this paper is to review the existing available knowledge and information, providing both insight into the attitudes of scientists and individual competent on the reliability of estimates and uncertainties that accompany such research.

Keywords: *plant for thermal treatment of waste, the impact on health, scientific and technical research, review of available knowledge and information*

1. UVOD

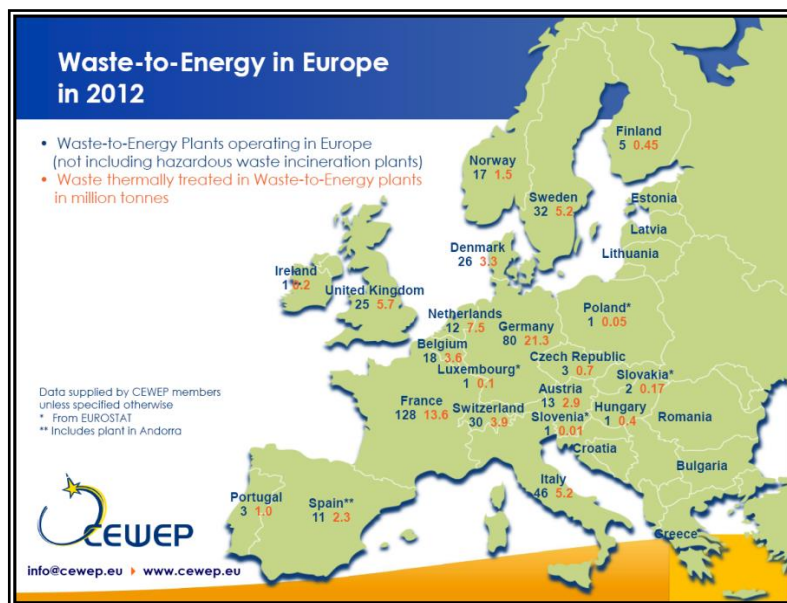
Neslaganje javnosti protiv infrastrukture za gospodarenje otpadom javljaju se u SAD-u 70-tih godina, a slično je i EU (primjerice Friends of Earth još od 1971. provode kampanje). Razlog za neslaganja leži u zabrinutosti javnosti zbog utjecaja industrijskih postrojenja na okoliš i ljudsko zdravlje (*Rootes i Leonard*), odnosno štetnost nusproizvoda industrije na ljudsko zdravlje. U prvoj fazi ti su protesti u SAD-u bili usmjereni na odlagališta opasnog otpada, da bi se zatim usmjerili na postrojenja za termičku obradu otpada, uglavnom zbog pojačanog straha od zagađenja zraka. Pojavila se potreba za istraživanjem i pregledom utjecaja onečišćujućih tvari, posebno novootkrivenih, na ljudsko zdravlje. U termičkim procesima pri termičkoj obradi otpada nastaju sljedeće onečišćujuće tvari koje čine reakcije različitih gorivih tvari, koje se sastoje najvećim dijelom iz ugljika (C) i vodika (H), čestice, zatim spojevi s kisikom koji se dovodi zrakom sumpor (IV) oksid (SO₂), klorovodična kiselina (HCl), flourovodična kiselina (HF), ugljik monoksid (CO), dušikov oksid (NO_x), pare žive (Hg), nikala (Ni), arsena (As), olova (Pb), kroma (Cr), bakra (Cu), mangana (Mn), te teški metali, poliklorirani dibenzo-p-dioksini i poliklorirani dibenzo-p-furani (PCDD "dioksini", i PCDF „furani“) ili poliklorirani bifenili (PCBs), i poliaromatski hidrokarboni (PAH). pri čemu kao produkti izgaranja nastaju dimni plinovi i pepeo.

Treba razlikovati nekoliko razdoblja u razvitku tehnologije termičke obrade. U početku se otpad odlagao, ali je došlo do pojave odlagališnih plinova, te se početkom osamdesetih godina 20. st. započelo s prikupljanjem i izgaranjem odlagališnih plinova uplinskim bunarima i stanicama. Godinama se tehnologija plinskih stanica razvijala te se to može smatrati pretečom postrojenja za termičku obradu otpada. Danas se postrojenja za termičku obradu otpada razvijaju, ugrađuje moderna tehnologija, sve je veći broj energana na otpad.

Najčešći argumenti koje pojedine udruge spominju protiv postrojenja za termičku obradu otpada tiču se emisija čestica, teških metala i dioksina, koji su potencijalno opasni po ljudsko zdravlje. Općenito, javnost termičku obradu otpada ne doživljava isključivo kao tehnološki ili ekonomski proces, već i kroz prizmu emocija, a konotacije su u mnogim slučajevima negativne. Izraz 'termička obrada' ili 'spaljivanje otpada' tako ne znači samo proces obrade ili postrojenje, već se veže uz cijeli niz manje ili više maglovitih predodžbi, pa tako i o utjecaju nastajućih emisija s nepoznatim štetnim sastojcima, na primjer dioksina na ljudsko zdravlje. Ovo se važno pitanje, nastajanje nusproizvoda u postrojenjima za termičku obradu otpada i njihov potencijalni utjecaj na ljudsko zdravlje, detaljnije obrađuje u ovom radu. Daje se kratki prikaz situacije s termičkom obradom u EU, a zatim i pregled znanstvenih radova iz pojedinih zemalja EU o utjecajima postrojenja ljudsko zdravlje.

2. POSTROJENJA ZA TERMIČKU OBRADU OTPADA U EU I STUDIJE UTJECAJA NA ZDRAVLJE

Trenutno postoji 406 postrojenja za termičku obradu otpada koje posluju u Europskoj Uniji. Nema sveobuhvatnih podataka o trenutnom kapacitetu termičke obrade u svakoj zemlji, pa se ukupna količina otpada koji se termički obrađuje može uzeti kao procjena, iako kapaciteti termičkih obrada, u nekim slučajevima mogu biti malo viši, jer ne rade sve postrojenja za termičku obradu otpada u punom kapacitetu. (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, www.cewep.eu, 2010). Prema podacima Eurostata iz ožujka 2012. udio termičke obrade u razvijenim zemljama Europske unije u Danskoj iznosi 54%, Švedskoj 51%, Belgiji 42%, Luksemburgu i Nizozemskoj 38%, Njemačkoj 37% te Francuskoj i Austriji 35% (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>).



Slika 1. Broj postrojenja za termičku uporabu otpada te podaci o količinama termički saniranog otpada u mili. Tona (IZVOR: CEWEP, 2012., Waste to Energy in Europe in 2012.)

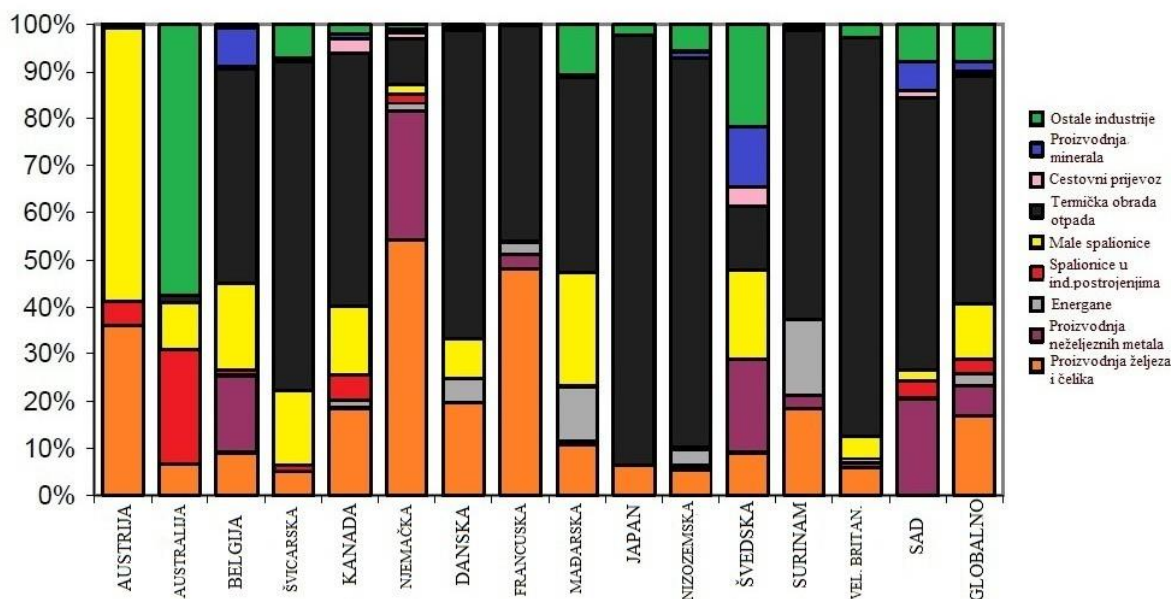
Postrojenja za termičku obradu otpada (spalionice) su postrojenja u kojima se spaljuje otpad sa ili bez uporabe topline proizvedene izgaranjem. To uključuje oksidacijsku termičku obradu otpada, kao i druge termičke procese, poput pirolize, rasplinjavanja ili plazma procesa.

Obrada otpada postrojenjima za termičku obradu otpada kao nusproizvod generira široku paletu različitih spojeva, koje bi u nekontroliranom i nepravilno izvedenom procesu mogle doseći opasne razine. Zato, kod svake termičke obrade otpada najveća se pozornost posvećuje zaštiti okoliša i zdravlja ljudi, pa su današnja suvremena postrojenja opremljena složenim i potpuno automatskim uređajima za čišćenje dimnih plinova.[8]

Upravo dimni plinovi izazivaju značajan interes javnosti, posebno u neposrednoj blizini lokacija postojećih postrojenja za energetske uporabu otpada ili lokacija na kojima se predlaže izgradnja novih postrojenja. Javnosti su dostupne informacije o istraživanjima vezanim za zdravstvene posljedice koje se mogu povezati izlaganju postojećim organskim onečišćivačima. Pojavom prvih postrojenja za termičku obradu otpada rađene su studije kojima se nastoje utvrditi štetnost emisija iz postrojenja za termičku obradu otpada. U studijama je objavljeno niz podataka kojim se navodi mogućnost pojave karcinoma respiratornih i unutarnjih organa, Non - Hodgkin's limfoma, utjecaj na novorođenčad te razvitak fetusa uključujući i izloženost žena za vrijeme trudnoće.

Zbog značajnog interesa javnosti i sve češće izgradnje postrojenja za termičku uporabu otpada krenulo se u detaljnije istraživanje utjecaja onečišćujućih tvari iz postrojenja na ljudsko zdravlje, pri čemu svaka od tih metoda ima svoje prednosti i mane. Mnoge studije su manjkave zbog nedostatka dobrih informacija o izloženosti i koriste zamjenske neizravne mjere koje bi mogle dovesti do pogrešaka u postupku klasifikacije izloženosti. Tako je znanost na neki način pomalo iznevjerila javnost ali i struku, ukazala na vlastitu manjkavost [10]. Nedostatak podataka se također može skrivati u definiranju pojave utjecaja na zdravlje, osobito ako su ih građani sami prijavljivali ili otkrili. Mišljenja znanstvenika se lomi na zaključcima koji proizlaze iz revizije raznih studija i podataka koje koriste, te tu dolazi do znanstvenog razilaženja mišljenja. Dok jedni smatraju da su postrojenja za termičku obradu otpada štetna za zdravlje, drugi ih odobravaju uzimajući u obzir znanstvene dokaze. Značajniji izvori onečišćujućih tvari su nekontrolirani

procesi gorenja, procesi izgaranja goriva u energetske postrojenjima (termoelektrane, toplane i sl.), proizvodnja čelika i obojenih metala, cestovni transport itd. Dioksini i furani nastaju kao sporedni produkti u industrijskim procesima prerade i proizvodnje, te izgaranja. Na slici 2. naveden je postotak onečišćenja zraka dioksina i furana iz različitih industrija.



Slika 2. Postotak dioksina i furana u zraku iz različitih industrija, udio po državama 1995. godine (Izvor: UNEP, 1999. „DIOXIN AND FURAN INVENTORIES“, National and Regional Emissions of PCDD/PCDF)

2.1. Ujedinjeno Kraljevstvo Velike Britanije i Sjeverne Irske

Na području Ujedinjenog Kraljevstva u pogonu je 25 postrojenja za termičku obradu otpada (Eurostat (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>) and CEWEP (www.cewep.eu), prema podacima iz 2012. godine. U izgradnji ili se planira izgraditi se još 5 postrojenja za termičku obradu otpada do kraja 2015. godine ([http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_incinerators_in_](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_incinerators_in_the_United_Kingdom)

[the_United_Kingdom](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_incinerators_in_the_United_Kingdom)). Vodeće načelo, sada i zakonski regulirano, za gospodarenje otpadom u Europi i Velikoj Britaniji je hijerarhija gospodarenja otpadom. Sva postrojenja za termičku obradu komunalnog otpada u Velikoj Britaniji proizvode energiju iz otpada u obliku električne i / ili toplinske energije.

Odbor za kancerogenost kemikalija u hrani (*Committee on Carcinogenicity of Chemicals in Food- COC*) je izdao dva priopćenja o podudarnosti pojave karcinoma i života u blizini postrojenja za termičku obradu otpada. U inicijalnoj izjavi Odbora sažet je pregled opsežne studije Jedinica zdravstvene statistike na malom području (*Small Area Health Statistic Unit*) koja je ispitivala učestalost karcinoma u razdoblju od sredine 70-tih do sredine 80-tih na uzorku od 14 milijuna stanovnika koji su živjeli na udaljenosti od 7,5 kilometara od 72 postrojenja za termičku obradu komunalnog otpada u Velikoj Britaniji. U izjavi napominju da je prije studije Jedinice zdravstvene statistike na malom području postojao mali broj studija o smrtnosti od karcinoma u okruženju, a ni jedna o postrojenjima za termičku obradu otpada u Velikoj Britaniji. Spomenuta postrojenja obuhvaćena ovim istraživanjem bila se postrojenja starije generacije prije nego što su donesene striktno kontrole emisija i više su zagađivale od modernih postrojenja. 2000. godine Odbor je u drugom priopćenju: „Očitovanje o postrojenjima za termičku obradu komunalnog otpada i karcinomima“ zaključio da „bilo koji potencijalni rizik od karcinoma zbog blizine stanovanja postrojenjima za termičku obradu otpada (za razdoblja dulja

od 10 godina) izuzetno nizak i vjerojatno nemjerljiv bilo kojom modernom epidemiološkom metodom. Odbor se složio da u ovom trenutku nije potrebno provoditi daljnja epidemiološka istraživanja o učestalosti raka u blizini postrojenja za termičku obradu otpada“.

Agencija za zaštitu zdravlja Velike Britanije (*Health Protection Agency*) u svojem je očitovanju iz rujna 2009. godine „Utjecaj na zdravlje emisija u zrak iz postrojenja za termičku obradu komunalnog otpada“ (*The Impact on Health of Emissions to Air from Municipal Waste Incinerators*) utvrdila da je Odbor za kancerogenost kemikalija u hrani (*Committee on Carcinogenicity of Chemicals in Food- COC*), pregledao sedam (7) radova Comba et al, 2003; Floret et al, 2003; Knox E, 2000; Viel et al, 2000; 2008a i 2008b; Zambon et al, 2007. Agencija navodi da je sedam spomenutih radova „istraživalo stariju generaciju postrojenja za termičku obradu otpada“, dok su tri rada istražila „jedno postrojenja za termičku obradu otpada za koje je utvrđeno da je prekoračilo čak i starije emisijske standarde“. Također su zabilježeni „problemi u interpretaciji većine ovih studija i to zbog nedostatka kontrole socio-ekonomskih zbujujućih kofaktora ili uključenja drugih izvora onečišćenja, osim postrojenja za termičku obradu otpada. Odbor za kancerogenost kemikalija u hrani je stoga u svojoj „Nadopuni očitovanja“ iz 2009. godine zaključio „da nema potrebe za izmjenom očitovanja iz 2000. godine, ali bi situaciju trebalo dalje nadzirati“. [12]

Također Agencija za zaštitu zdravlja Velike Britanije (*Public Health England*) rezimirala je analizu Knoxa iz 2000. godine koja provodi analizu rođenja i smrti sve djece u Velikoj Britaniji i njihove adrese u trenutku rođenja i smrti od karcinoma između 1953. i 1980. te ako su se preselili u nekom trenutku između rođenja i smrti.[6] Autor koristi tehniku koja uspoređuje udaljenosti od sumnjivih izvora: kao što postrojenja za termičku obradu otpada u odnosu na adresu prebivališta pri rođenju i na adresu prebivališta u trenutku smrti. Studijom je utvrđena veća podudarnost pojave karcinoma kod djece koja su živjela u blizini postrojenja za termičku obradu otpada u trenutku rođenja. Studija je kritizirana na temelju nedostatka informacija o neto migraciji ukupnog stanovništva prema i od blizine postrojenja [16]

2.2. Francuska

U Francuskoj postoji 128 postrojenja za termičku obradu otpada, prema podacima iz 2012. godine (Eurostat (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>) and CEWEP (www.cewep.eu), 2012.). Francuska je ujedno zemlja sa najviše postrojenja za termičku obradu otpada, sa najvećim udjelom termičke obrade otpada od 13, 6 milijuna tona u 2012. godini.

Od 2000. godine objavljeno je 6 studija koje istražuju povezanost postrojenja za termičku obradu otpada i života oko nje. Jednu od tih studija je proveo Odjel za epidemiologiju Rhône-Alpes u razdoblju od pet godina (od 2002. do 2006.) upravo zbog iskazane zabrinutosti stanovništva za zdravlje. Istraživanjem je uspoređen udio karcinoma u populaciji izloženoj postrojenju za termičku obradu otpada (48.000 stanovnika u 30 općina) s podacima iz baze podataka o karcinoma. Studijom nije nađen „nikakav statistički pojačan rizik od karcinoma u području obuhvaćenom studijom, bilo za sve karcinome ili za one najčešće prijavljene da su povezani izloženosti postrojenjima za termičku obradu otpada ili dioksinima“. [17]

Linzalone & Bianchi, 2007. u studijama su se fokusirali na emisije finih i ultra finih čestica iz postrojenja za termičku obradu otpada i istaknuli su potrebu za opreznim pristupom, zbog ograničenog broja studija i nedostatku znanja o utjecaju na zdravlje.[7] Opisali su 2007. godine dvije francuske studije [4][5], koja se bavi odnosom između razina dioksina u krvi stanovništva koje živi u blizini postrojenja za termičku obradu i pojave karcinoma, „koji nije dao dosljedne rezultate“.

Također, Državni zavod za javno zdravstvo nadzora (*Institut de Veille sanitaire*) u suradnji s Francuskom agencijom za hranu i sigurnost (*Agence française de Sécurité sanitaire des aliments, AFSSA*) proveli su nacionalnu studiju o razinama dioksina i PCB u populaciji. Ovu studiju naručilo je Ministarstvo zdravstva. Glavni cilj je bilo razjasniti da li ljudi koji žive oko postrojenja za termičku obradu komunalnog otpada imaju više razine dioksina od onih ljudi koji žive daleko od postrojenja za termičku obradu otpada, te procjena koliko je hrana proizvedena na lokalnoj razini pridonijela ovoj izloženosti. Zaključak je da život u blizini postrojenja za termičku obradu otpada nema značajan učinak na razine dioksina, osim za potrošače lokalnih proizvoda životinjskog podrijetla (uključujući i mliječnih proizvoda i jaja), a posebno za one koji su živjeli u neposrednoj blizini starih postrojenja za termičku obradu otpada koje su zagađivale u prošlosti. Ovo opažanje je izraženije među poljoprivrednicima koji su živjeli oko starih postrojenja za termičku obradu otpada, a konzumirali su svoje proizvode.[3]

2.3. Njemačka

Prema podacima Eurostata iz 2012. godine (*Eurostat* <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>) and CEWEP (www.cewep.eu) Njemačka ima u pogonu 80 postrojenja za termičku obradu otpada. Trenutni kapacitet termičke obrade je veći od nacionalne proizvodnje otpada. Prema Studiji koju je naručilo Njemačko Ministarstva okoliša (Dehoust i sur. 2010.), očekuje se smanjenje od 5 milijuna tona otpada za Njemačku do 2020. godine.

Većina studija nisu u potpunosti mjerodavne zbog nedostatka adekvatnih mjerenja na unutarnju ili vanjsku izloženost i na sličnost mogućih uzroka raznih bolesti. Tako profesor toksikologije *Dieter Schrenk, MD PhD sa Sveučilišta u Kaiserslauternu, Njemačka*, u svom radu iz lipnja 2006. godine „Zdravstveni učinci postrojenja za termičku obradu otpada“ napominje u zaključku da „... recenzijom više radova nema dokaza o povišenoj razini dioksina koji se može naći u blizini modernih postrojenja za termičku obradu otpada. Međutim, postoje čvrsti dokazi da se pojavljuju povišene razine dioksine kod ljudi u blizini postrojenja za termičku obradu otpada bez obrade dimnih plinova ili nedovoljne obrade dimnih plinova.“ [11]. Autor rada obradio je studiju „Klorirani dibenzodioksini i dibenzofuran (PCDD/F) u krvi i ljudskom mlijeku osoba koje žive u blizini gradske postrojenja za termičku obradu komunalnog otpada“ [1]. U usporedbi je bila sva populacija u Njemačkoj te stanovnici koji žive u blizini postrojenja za termičku obradu otpada Schwandorf koja nije dala nikakve naznake o povećanoj tjelesnoj opterećenosti „dioksina“. Prema Autorima, ovo otkriće u skladu je s ranijim izvješćem koje pokazuje normalne pozadinske koncentracije „dioksina“ u uzorcima tla, voća i povrća iz istog područja. Dakle, nema opasnosti za zdravlje koje se odnose na emisije „dioksina“ iz postrojenja za termičku obradu otpada. Zaključak studije je da nije pronađeno povećanje razine dioksina u krvi stanovnika koji žive u blizini postrojenja za termičku obradu otpada Schwandorf u Njemačkoj.

2.4. Danska

Danska se uglavnom oslanja na termičku obradu otpada uz energetske oporabu. Tako postoji 26 postrojenja za termičku obradu otpada u kojima se termički obrađuje 54 % otpada (Eurostat (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>) and CEWEP (www.cewep.eu)). U Danskoj većina kućanstava ne prikuplja otpad odvojeno, što rezultira niskim stopama recikliranja – oko 22%. Od tog postotka najveći je udio organskog otpada, što sadrži 90% vode i nepogodan je za sanaciju termičkom obradom. Ostatak materijala pogodnih za recikliranje izdvajaju se iz ostataka termičke obrade (metalni spojevi sa i bez željeza). Skoro svaki grad u Danskoj ima svoja postrojenja za termičku obradu otpada, a ona su uglavnom u javnom vlasništvu.

Zbog nedostatka podataka iz Danske, nemoguće je govoriti o mišljenju zdravstvene zajednice.

Iako, dokumentom iz 1997. godine "Dioksini, izvori, razine i izloženost u Danskoj" Dansko Ministarstvo okoliša i energije ažuriralo je izvještaj iz 1995. godine. Procijenjena je ukupna emisija dioksina i furana (PCDD / PCDF) u atmosferu u 1995. iz svih poznatih izvora. Termička obrada otpada je jedan od izvora emisije dioksina. Ostali izvori onečišćenja su termička obrada kliničkih bolničkih zdravstvenih otpada s rizikom emisija u zrak, ispušni plinovi automobila, dim cigareta, erupcije vulkana i šumski požari, te obrada čelika. Na temelju ograničenih podataka iz Danske čini se da se emisija dioksina smanjuje.[12]

3. ZAKLJUČAK

Nema sumnje da postrojenja za termičku obradu otpada izazivaju zabrinutost javnosti.

Pregledana literatura upućuje da nema zdravstvenog utjecaja postrojenja za termičku obradu otpada na zdravlje, odnosno da se rezimiranjem svih spomenutih studija u tekstu naziru slabi dokazi o utjecaju emisija iz postrojenja za termičku obradu otpada na zdravlje ljudi. Može se zaključiti da na ljudsko zdravlje utječe puno faktora, kao što su način života, prehrana, konzumiranje alkohola, pušačke ili slične ovisnosti, te svakodnevnica života, prvenstveno zračenje repetitora za mobilne uređaje, sami mobilni uređaji, ispušni plinovi iz automobila i dim iz raznih postrojenja diljem svijeta ili u našoj neposrednoj blizini (grijanje). Poanta je da se u današnje vrijeme ne može živjeti „ zdravo“, niti se nikada nije moglo, ali medicina i znanost, te naša svijest je danas toliko napredovala da smo svjesni svih tih utjecaja, koje možemo samo kontrolirati, nikako eliminirati u potpunosti.

Kada se pregledaju očitovanja svjetskih zdravstvenih organizacija i agencija, izvještaj Britanskog društva za ekološku medicinu i studije raznih znanstvenika sa sveučilišta i instituta, može se zaključiti da postrojenja za energetske oporabu otpada ne utječu ili ih je nemoguće povezati sa ljudskim zdravljem. Neke studije ukazuju na slabe dokaze o pozitivnoj vezi između pojava raznih oblika karcinoma i života u blizini postrojenja za termičku obradu otpada, no ti dokazi su u većini studija izloženosti loše karakterizirani zbog nedostatka informacija o emisijama i karakteristikama života stanovnika oko postrojenja za termičku obradu otpada (prehrana, stres, uvjeti na poslu, genetska predispozicija). Iz svih tih radova se može zaključiti da u većini slučajeva, emisije iz modernih postrojenja za termičku obradu otpada slabo pridonose lokalnim razinama onečišćenja zraka.

Kako je izraz termička obrada otpada emocionalno obojen, prate ga negativne konotacije u smislu emisija teških metala u zraka (olova, žive, kadmija) , te spojevi dioksina i furana koji su opasni po zdravlje i u najmanjim količinama. Samim time ni redovito mjerenje i praćenje koncentracije ovih spojeva neće biti dostatno za zaštitu ljudskog zdravlja u okolici postrojenja za termičku obradu otpada.

Dioksini i furani izazivaju najveću zabrinutost. Dioksini su direktno povezani sa nepotpunim izgaranjem, uglavnom se pojavljuju kao nusprodukti industrijskih procesa, ali mogu biti i rezultati prirodnih procesa poput vulkanskih erupcija i šumskih požara. Isto tako se pojavljuju u svakodnevnom gradskom životu poput ispušnih plinova automobila i dim cigareta. Danas, u modernim postrojenjima za termičku oporabu otpada, korištene su najmodernije tehnologije koje omogućuju kontroliranu termičku obradu otpada s niskim emisijama dioksina, furana i ostalih toksičnih spojeva, koje su često 40-90% ispod dopuštenih granica.[15]

Danas suvremena postrojenja za termičku obradu otpada koja primjenjuju najbolju raspoloživu tehnologiju i stroge propise vezano uz granične vrijednosti emisija i dopuštene razine emisija dioksina i furana, poput onih u zemljama Europske unije, imaju mali doprinos koncentraciji onečišćujućih tvari u zraku. U razmatranju utjecaja onečišćujućih tvari u zraku važno je također

uzimati u obzir utjecaj različitih izvora onečišćenja kako bi se mogla sagledati cjelovita slika utjecaja na ljudsko zdravlje.

4. REFERENCE

- [1] Deml E, Mangelsdorf I, Greim H „Chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans (PCDD/F) in blood and human milk of non occupationally exposed persons living in the vicinity of a municipal waste incinerator“. Chemosphere 33, (1996), 1941-1950
- [2] Fréry, N, et al., „The French dioxin and incinerators study“, Institut de veille sanitaire Paris.(2008); Dostupno na:
http://archives.invs.sante.fr/publications/2008/biosurveillance/S2_Nadine_Frery.pdf
- [3] Institut de Veille sanitaire, „Etude d'imprégnation par les dioxines, des populations vivant à proximité d'usines d'incinération d'ordures ménagères. Synthèse des résultats, Institut del Veille Sanitaire,(2006 a); Dostupno na:
http://www.invs.sante.fr/publications/2008/rapport_uiom/rapport_uiom.pdf
- [4] Institut de Veille Sanitaire, „ Incidence des cancers à proximité des usines d'incinération d'ordures ménagères, Premiers Résultats, Institut del Veille Sanitaire,(2006 b); Dostupno na: http://www.invs.sante.fr/publications/2008/rapport_uiom/rapport_uiom.pdf
- [5] Jerman M, „Inventarizacija dioksina i furana u Republici Hrvatskoj“, Institut za energetiku i zaštitu okoliša, d.o.o,2003; Dostupno na:
http://www.jelena-suran.com/joomla/images/stories/PCDD_PCDF20Izvjestaj.pdf
- [6] Knox E., „ Childhood cancers, birthplaces, incinerators and landfill sites“ Int J Epidemiol. (2000)29(3):391.
- [7] Linzalone N , Bianchi F „Incinerators: Not only dioxins and heavy metals, also fine and ultrafine particles“. Epidemiologia e Prevenzione, (2007), 31 (1):62-66 (in Italian).
- [8] Prelec Z,. Postupci obrade i zbrinjavanja otpada“, Inženjerstvo zaštite okoliša, Obrada i zbrinjavanje otpada, 2007.; Dostupno na:
http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_zastite_okolisa/10.pdf
- [9] Schrenk D, „Health Effects of Municipal Waste Incinerators“, , University of Kaiserslautern, Germany,2006.; Dostupno na:
<http://www.viridor.co.uk/assets/Uploads/pdf/Appendix133Healtheffectsofmunicipalincinerators.pdf>
- [10] Tomašević L, Jeličić A, „Etika znanstvenog istraživanja i načelo opreznosti“ Katolički bogoslovni fakultet; Sveučilišni odjel za forenzične znanosti, Sveučilište u Splitu,2011.; Dostupno na: <http://hrcak.srce.hr/97184?lang=en>

Internet stranice:

- [11] Broj postojećih i budućih postrojenja za termičku obradu otpada na području Ujedinjenog Kraljevstva Velike Britanije i Sjeverne Irske;
Dostupno na:http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_incinerators_in_the_United_Kingdom [10. listopada 2014.]
- [12] COC, Committee on Carcinogenicity of Chemicals in Food, Consumer Products and the Environment, 2009; Dostupno na:
http://www.norfolk.gov.uk/consumption/groups/public/documents/general_resources/ncc085352.pdf [02. listopada 2014.]
- [13] UNEP, 1999. „DIOXIN AND FURAN INVENTORIES“,National and Regional Emissions of PCDD/PCDF; Dostupno na: <http://www.chem.unep.ch/pops/pdf/dioxinfuran/difurpt.pdf> [03. listopada 2014.]

- [14] Health Protection Agency „The Impact on Health of Emissions to Air from Municipal Waste Incinerators“; Dostupno na:
http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/HPA_Incinerator_Advice_Sept_09.pdf
[03. listopada 2014.]
- [15] World health organization, „Dioxins and their effects on human health“; Dostupno na:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/> [03. listopada 2014.]
- [16] Department for Environment, Food & Rural Affairs DEFRA, 2004;
Dostupno na:https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf [04. listopada 2014.]
- [17] French institute for Public Health Surveillance - Annual Report 2006.; Dostupno na:
http://www.invs.sante.fr/publications/2007/annual_report_2006/chapitre_6_2006.pdf [04. listopada 2014.]

ZBRINJAVANJE MULJA S UREĐAJA ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

DISPOSAL OF WASTEWATER TREATMENT SLUDGE

Doc. dr. sc. Dražen Vouk, dipl. ing. građ. *¹, Prof. dr. sc. Davor Malus, dipl. ing. građ.¹,
Domagoj Nakić, mag. ing. aedif.¹

¹Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za hidrotehniku, Kačićeva 26, Zagreb

* e-mail kontakt: dvouk@grad.hr

SAŽETAK

Na svakom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda generiraju se određene količine mulja, koje je potrebno adekvatno obraditi na samom uređaju i zbrinuti u okoliš u skladu sa zakonskom regulativom. Konačno zbrinjavanje mulja nije važno isključivo s aspekta zadovoljenja zakonskih propisa, već i s aspekta odabira optimalne koncepcije pročišćavanja, uključivo i samu obradu mulja. Navedeno je posebno izraženo kroz mogućnosti ponovne upotrebe mulja. Trenutni prijedlozi strategija konačnog zbrinjavanja muljeva u Hrvatskoj orijentirani su na izgradnju četiri do pet spalionica mulja. Spaljivanjem mulja generira se pepeo koji je po obujmu tri do pet puta manji od svježeg mulja te ga je također potrebno zbrinuti u skladu sa zakonskom regulativom. U radu će se posebni osvrt dati na mogućnost i opravdanost ponovne upotrebe pepela, koji se generira u postupku spaljivanja mulja.

Ključne riječi: mulj, otpadne vode, uređaj za pročišćavanje, zbrinjavanje mulja, pepeo

ABSTRACT

Each stage of wastewater treatment generate certain quantities of sewage sludge, that needs to be adequately treated at wastewater treatment plants and disposed of in the environment.

Final disposal of sewage sludge is important not only in terms of satisfying the regulations, but the aspect of choosing the optimal wastewater treatment technology, including the sludge treatment. Special emphasis is given on the possibility for reuse of sewage sludge. Current proposal of sewage sludge management strategy in Croatia is oriented towards the construction of four to five sludge incineration plants. In the process of sewage sludge incineration special form of ash is generated – incinerated sewage sludge ash (ISSA), which is three to five times less in volume compared to stabilized and dehydrated sludge. ISSA also need to be disposed of in accordance with certain legislation. In this paper special emphasis is given on the possibility and feasibility of reuse of ISSA.

KEY WORDS: sludge, wastewater, treatment plant, sludge disposal, ISSA

1. UVOD

U postupku pročišćavanja otpadnih voda kao nusprodukt svakog tehnološkog generiraju se određene količine mulja (prvenstveno kroz izdvajanje mulja iz primarnih i naknadnih taložnika). Generirani primarni (iz prethodnog taložnika) i biološki (iz naknadnih taložnika) mulj potrebno adekvatno obraditi na samom uređaju i zbrinuti u okoliš u skladu sa zakonskom regulativom. U Hrvatskoj se mulj još uvijek najvećim dijelom odlaže na odlagalištima krutog otpada i na druge, često neodgovarajuće i nedopuštene načine.

U dosadašnjoj praksi izgradnje uređaja za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV) struka je bila koncentrirana na liniju vode te nastojanja da konačni efluent (pročišćena voda) zadovolji propisane kriterije učinkovitosti pročišćavanja. Projektanti, lokalne vlasti, pa čak i izrađivači studija o utjecaju na okoliš, nisu znali, a ne znaju ni danas, gdje će se mulj konačno odložiti, koja obilježja bi trebao imati i kakva je ekonomska bilanca njegovog konačnog odlaganja. Bila je, a u većini slučajeva je i danas dovoljna konstatacija da će se odložiti na odgovarajućoj lokaciji od strane ovlaštene osobe i u skladu s relevantnom zakonskom regulativom.

Ovo naizgled idilično stanje još uvijek traje iako je stručna javnost već relativno dugo vremena upoznata s europskim smjernicama za konačno odlaganje muljeva s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda u kojima je klasično odlaganje na uređena odlagališta praktički nemoguće (navod odgovarajuće direktive i pravilnika), a problem će dodatno zaoštriti realizacija Plana provedbe vodno-komunalnih direktiva.

Stoga je neminovna potreba da se projekti novih UPOV-a dopune opsežnim analizama i istraživanjima koja će problem muljeva tretirati integralno na lokalnoj i regionalnoj razini, uz zadovoljenje zakonskih odredbi i propisa, uzimajući u obzir temeljna ishodišta kao što su:

- kakvoća mulja s gledišta mogućnosti primjene za različite namjene,
- energetska vrijednost mulja,
- jedinična količina proizvedenog mulja,
- kemijski sastav mulja u odnosu na različite mogućnosti njegove obrade na samom uređaju,
- mogućnost centralizirane obrade,
- trošak odvoza stabiliziranog i dehidriranog mulja van granica Hrvatske,
- raspoloživost za upotrebu na poljoprivrednim i ostalim površinama i dr.

Potrebno je istaknuti da se projekti izgradnje UPOV-a u kojima nije riješeno konačno zbrinjavanje mulja, ne mogu smatrati potpunim, jer ne obuhvaćaju tehnološka rješenja i troškove koji su s tim povezani. Shodno rečenom, učinkovitost sustava javne odvodnje i cijena pročišćavanja otpadnih voda (iskazana jedinično po ekvivalent stanovniku ili kroz volumen otpadne vode), ne može se temeljiti samo na troškovima nastalim unutar kruga UPOV-a, već na ukupnim troškovima do konačnog zbrinjavanja mulja. Troškovi obrade i zbrinjavanja mulja nisu zanemarivi te kod uređaja veličine od 5.000 do 200.000 ES, iznose približno 50 % ukupnih troškova poslovanja [1], a u određenim okolnostima (odvoz izvan Hrvatske) mogu biti i znatno veći uz povećanje negativnog sociološkog utjecaja [2].

Činjenica je da do danas u Hrvatskoj nije cjelovito riješen problem zbrinjavanja mulja, niti je isti određen propisima, uputama ili smjernicama. Kako gradnja UPOV-a u Hrvatskoj postaje sve intenzivnija, zbrinjavanje mulja će opterećivati rad komunalnih organizacija, koje se bave odvodnjom i pročišćavanjem otpadnih voda.

Odabir optimalnog postupka obrade mulja na UPOV-u ovisi između ostalog i o konačnom zbrinjavanju pa je već kod izgradnje uređaja to nužno uzeti u obzir. Pojedine studijske analize [2], nakon cjelovite raščlambe različitih rješenja, a uzimajući u obzir i troškove zaštite okoliša, zaključuju kako bi postupak termičke obrade bio prihvatljiv koncept konačne obrade mulja na UPOV-ima većeg kapaciteta. Termičkom obradom mulja se u značajnoj mjeri olakšava daljnje gospodarenje novo nastalim proizvodom (pepelom), prvenstveno kao posljedica značajnog smanjenja mase i volumena konačnog nusprodukta. Termičkom obradom se smanjuje ukupna masa mulja i do 85% [3]. Smanjuje se i volumen ukupne otpadne tvari, termički se uništavaju toksične organske komponente, minimiziraju se neugodni mirisi i olakšava daljnje gospodarenje, a moguće je dobivanje energije [4]. Termička obrada mulja predložena je i kao optimalno rješenje konačnog zbrinjavanja muljeva za veći dio Hrvatske u sklopu tehničko ekonomske studije koju je izradio WYG International Ltd [5].

Međutim, i u sklopu postupka termičke obrade muljeva javlja se nusprodukt (pepeo) koji u konačnici treba zbrinuti na odgovarajući način, a čije količine nisu zanemarive. Primjerice, na centralnom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda grada Zagreba pri radu uređaja s punim kapacitetom (veličine 1.500.000 ES) proizvodit će se oko 80.000 t/godišnje dehidriranog i stabiliziranog mulja, dok bi se u procesu termičke obrade proizvodilo oko 18.000 t/godišnje pepela [6]. Danas se na zagrebačkom UPOV-u proizvodi oko 55.000 t/godišnje dehidriranog i stabiliziranog mulja, koji se privremeno skladišti na samoj lokaciji uređaja, jer još nije poznat način njegovog konačnog odlaganja iako se predlaže termička obrada mulja. Donatello [7] je procijenio da se danas na globalnoj razini u procesima termičke obrade muljava s UPOV-a generira oko 1.700.000 t pepela/godišnje (najveći dio u SAD, EU i Japan). Izgradnjom novih i rekonstrukcijom postojećih UPOV-a navedena brojka će se konstantno povećavati.

Prema načelima jednakosti svih građana u Hrvatskoj te u nastojanjima za usklađivanjem s odredbama Okvirne direktive o vodama Europske unije u tijeku je aktivno poduzimanje određenih mjera vezanih za izgradnju cjelovitih sustava odvodnje otpadnih voda s pripadnim uređajima za pročišćavanje za aglomeracije veće od 10.000 (ES). Drugim riječima, pristupanjem Europskoj uniji, Hrvatska se obvezala do 2018. godine izgraditi sve uređaje za pročišćavanje kapaciteta većeg od 10.000 ES, uključivo i adekvatno zbrinjavanje muljeva. Navedeno će do 2018. godine u konačnici rezultirati puštanjem u pogon uređaja za pročišćavanje ukupnog opterećenja oko 4.500.000 ES, što će rezultirati generiranjem ukupne količine dehidriranog i stabiliziranog mulja u iznosu oko 250.000 t/godišnje (160.000 m³ pepela godišnje). U slučaju odabira termičke obrade muljeva generiralo bi se oko 57.000 t pepela godišnje (21.000 m³ pepela godišnje).

Mogućnost ponovne upotrebe mulja (pepela) u velikoj mjeri ovisi o njegovom sastavu, prije svega kemijskom. Stoga rezultate određenih istraživanja koja su rađena s muljevima čiji se sastav razlikuje od muljeva generiranih na području Hrvatske treba uzeti s određenim oprezom. Primjerice, u Hrvatskoj je tijekom posljednja dva desetljeća znatno opala industrijska proizvodnja, što je rezultiralo značajnim promjenama količina i sastava otpadnih voda koje dotječu na UPOV, a samim tim i na sastav muljeva. Isto tako, sastav mulja i pepela koji se generira na UPOV-ima u značajnoj mjeri ovisi i o tehnološkom procesu pročišćavanja vode i same obrade mulja.

Konačno zbrinjavanje mulja nije važno isključivo s aspekta zadovoljenja zakonskih propisa, već i s aspekta odabira optimalne koncepcije pročišćavanja, uključivo i samu obradu mulja. Navedeno je posebno izraženo kroz mogućnosti ponovne upotrebe mulja. Uz prethodno opisanu problematiku, najveći naglasak u ovom radu stavljen je na pregled mogućnosti ponovne upotrebe mulja, odnosno nusprodukata njegove konačne obrade (pepela) i određene

rezultate dosadašnjih istraživanja, koji bi trebali poslužiti za intenzivnije poticanje razmišljanja vezanih uz isplativost i opravdanosti ponovne upotrebe (recikliranja) mulja s uređaja za pročišćavanje. Pritom će se posebno istaknuti mogućnosti i opravdanost ponovnog korištenja mulja/pepela u betonskoj industriji. U prilog navedenim nastojanjima za proširenje svijesti o važnosti ponovne upotrebe mulja/pepela ide i trenutni prijedlog strategije konačnog zbrinjavanja muljeva u Hrvatskoj koji je orijentiran na izgradnju četiri do pet spalionica mulja [5].

2. SVOJSTVA MULJA

Pod svojstvima mulja podrazumijeva se njegovo porijeklo, karakteristike i količine. Osnovni cilj pročišćavanja otpadnih voda je da se iz njih uklone nepoželjni sastojci prije konačnog ispuštanja u okoliš. Pritom se stvara niz nusprodukata koje je potrebno sakupiti i obraditi prije nego što se kontrolirano zbrinu.

Na UPOV-ima I. stupnja pročišćavanja s prethodnim taložnicima, flotacijom, mikrositima i dr., izdvaja se sirovi ili primarni mulj, a oni II. i III. stupnja pročišćavanja (biološki) proizvode i biološki mulj. Na nekim UPOV-ima koriste se kemijska sredstva koja ubrzavaju ili poboljšavaju učinkovitost pojedine tehnološke operacije. Ta se kemijska sredstva dodaju u otpadnu vodu i muljeve i njihov najveći dio završava u muljevima povećavajući im ukupnu masu, volumen i utječu na promjenu njihovog sastava.

Prema stupnju pročišćavanja, za prosječne komunalne otpadne vode, sadržaj suhe tvari u mulju u pojedinim tehnološkim fazama može se procijeniti prema Tablici 1.

Obrada otpadnog mulja izdvojenog na UPOV-ima podrazumijeva smanjenje volumena mulja u svakoj fazi obrade, radi manjih troškova njegove naknadne obrade te prijevoza obrađenog mulja do konačnog zbrinjavanja, te nadziranje razgradnje otpadne tvari, kako bi se spriječili neželjeni utjecaji na okoliš. U pogledu smanjenja volumena mulja te povećanja koncentracije suhe tvari u ovisnosti o postupku obrade mulja mogu se navesti vrijednosti prikazane u Tablici 2.

Tablica 1. Koncentracija suhe tvari u mulju u pojedinim fazama pročišćavanja [8]

Tehnološka faza	Koncentracija suhe tvari (%)	
	Raspon vrijednosti	Karakteristična vrijednost
Prethodni taložnik		
Primarni mulj	5-9	6
Primarni mulj s dodatkom soli željeza za uklanjanje fosfora	0,5-3	2
Primarni mulj s malim dodatkom vapna za uklanjanje fosfora	2-8	4
Primarni mulj s velikim dodatkom vapna za uklanjanje fosfora	4-16	10
Naknadni taložnik		
Aktivni mulj uz prethodno taloženje	0,5-1,5	0,8
Aktivni mulj bez prethodnog taloženja	0,8-2,5	1,3
Prokapnik	1-3	1,5
Okretni biološki nosači	1-3	1,5
Anaerobna digestija		
Primarni mulj	2-5	4
Mješavina primarnog i aktivnog mulja	1,5-4	2,5
Primarni mulj i mulj iz prokapnika	2-4	3
Aerobna digestija		
Primarni mulj	2,5-7	3,5
Mješavina primarnog i aktivnog mulja	1,5-4	2,5
Primarni mulj i mulj iz prokapnika	0,8-2,5	1,3

Tablica 2. Smanjenje volumena mulja te povećanje koncentracije suhe tvari [9]

	Sirovi mulj	Zgusnuti mulj	Dehidrirani mulj	Sušeni mulj	Spaljeni mulj
Koncentracija suhe tvari (%)	1	5	25	90	100
Smanjenje obujma mase u odnosu na sirovi mulj	1	5	25	90	330
Smanjenje obujma (%)	100	20	4	1,11	0,30

3. OSVRT NA ZAKONSKU REGULATIVU

Pri donošenju odluke o načinu obrade i konačne dispozicije (odlaganja) mulja izdvojenog u postupcima pročišćavanja voda potrebno je voditi računa o relevantnoj zakonskoj regulativi, odnosno o odredbama i propisima koji su na snazi. U nastavku će se izdvojiti najvažnije.

U Planu gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007.-2015. godine (NN 85/07) navodi se: „Mulj nastao pročišćavanjem komunalnih otpadnih voda mogao bi se tretirati sastavnicom komunalnog otpada, no gospodarenje muljem je u nadležnosti pravnih osoba koje upravljaju uređajima za obradu otpadnih voda, a ne tijela nadležnih za gospodarenje otpadom“.

U Zakonu o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14), navodi se: „Mulj nastao u postupku pročišćavanja otpadnih voda može se koristiti u skladu s posebnim propisima. Odlaganje mulja iz stavka 1 ovog članka u vode zabranjeno je“.

Prema Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07, 111/11, 17/13), odlaganje mulja na odlagalištima nije dopušteno. U istom se dokumentu navodi da je na odlagališta otpada zabranjen prihvata, između ostalog i: "komunalnog otpada ukoliko mu masa biorazgradive komponente premašuje 35 % od ukupne mase". Biološki stabiliziran mulj sadrži uvijek više od 35 % biorazgradive tvari. Također se navodi da je kao kriterij za odlaganje otpada na odlagalište neopasnog otpada, kao granična vrijednost za ukupni organski ugljik (TOC), definirano 5 % od mase suhe tvari, a stabilizirani mulj ima više od 5 % TOC. Navedeno stupa na snagu s početkom 2017. godine. Stoga je očigledno da približavanjem 2017. godine i naglim porastom dinamike izgradnje UPOV-a u Hrvatskoj problem konačnog odlaganja mulja značajno raste, inicirajući potrebu za ulaganjem golemih financijskih sredstava na tehnologije i građevine za tu namjenu.

Jedna od mogućnosti zbrinjavanja mulja je korištenje u poljoprivredi pa je Ministarstvo zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva donijelo Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi, (NN 38/08). Pravilnikom je dopušteno godišnje koristiti najviše 1,66 tona suhe tvari mulja po hektaru poljoprivrednog tla. U slučaju korištenja mulja u poljoprivredi, moraju se uzeti u obzir i zahtjevi navedeni u Pravilniku o dobroj poljoprivrednoj praksi u korištenju gnojiva, (NN 56/08).

Za slučaj termičke oksidacije mulja nema posebnih propisa. Primjenjuju se propisi koji se koriste kod spaljivanja krutog otpada, odnosno propisa donesenih temeljom Uredbe o razinama onečišćujućih tvari u zraku (NN 117/12) i Zakona o zaštiti zraka (NN 130/11, 47/14).

4. OBRADA MULJA

U ovisnosti o načinu konačne dispozicije mulja najčešće se određuje i postupak njegove prethodne obrade. Ne postoji jedinstven način konačnog zbrinjavanja mulja, a u odnosu na relevantne čimbenike (svojstva otpadne vode, stupanj i tehnologija čišćenja otpadne vode, svojstva i količina proizvedenog mulja, kapacitet UPOV-a, zakonski propisi, mjesne prilike, troškovi izgradnje i održavanja i dr.) potrebno je za svaki uređaj odabrati način na koji će se mulj konačno zbrinuti. U okvirima nastojanja za ponovnom upotrebom (recikliranjem) mulja izuzetno je važno imati u vidu da različite mogućnosti ponovne upotrebe mulja zahtijevaju primjenu određenih postupaka obrade mulja. Primjerice, ukoliko se iz mulja želi izdvojiti fosfor, što danas predstavlja jedan od svjetskih trendova, potrebno je postići niske razine pH vrijednosti mulja, što isključuje stabilizaciju ili dodatnu dehidraciju mulja vapnom. S druge strane, ukoliko se mulj želi ponovno koristiti u betonskoj industriji, kao zamjena cementa ili agregata, poželjno je koristiti mulj sa što većom pH vrijednosti mulja, pri čemu se stabilizacija ili dodatna dehidracija mulja vapnom ocjenjuje poželjnim. Tijek obrade mulja na UPOV-ima najčešće prolazi tri osnovne faze:

- zgušnjavanje,
- stabilizacija,
- odvodnjavanje.

Zgušnjavanje mulja je proces u kojem se dolazi do smanjenja volumena mulja, kako bi se smanjili troškovi njegove kasnije obrade, kao i troškovi izgradnje objekata koji slijede na liniji mulja. Ovisno o svojstvima mulja i primijenjenom tehnološkom rješenju, zgušnjavanjem se postiže koncentracija suhe tvari u mulju 2-12 %ST. Razlikuju se tri osnovna postupka:

- gravitacijsko zgušnjavanje,
- zgušnjavanje isplivavanjem,

- mehaničko zgušnjavanje (centrifuga, gravitacijska traka i rotacijski bubanj).

Stabilizacijom mulja postiže se inhibicija, smanjenje ili eliminacija mogućnosti daljnjeg truljenja mulja (razgradnje organske tvari uz pomoć mikroorganizama). Mogući postupci stabilizacije mulja su:

- biološka stabilizacija,
- kemijska stabilizacija,
- toplinska stabilizacija.

Biološka stabilizacija mulja podrazumijeva primjenu jednog od dva postupka biološke razgradnje organske tvari – aerobna (uz prisutnost kisika) ili anaerobna (bez prisutnosti kisika). Kod srednjih, a posebice većih uređaja, preporuča se primijeniti anaerobna stabilizacija. Naime, to je jedini biološki postupak kojim se može iskoristiti energijska razina mulja. Bioplin, koji je proizvod anaerobne stabilizacije sadrži oko 2/3 metana i 1/3 ugljik-dioksida i ima donju ogrjevnu moć od 6,63 kWh/m³ plina.

Dehidracija mulja je postupak kojim se iz mulja uklanja sadržaj vode. Ovisno o svojstvima zgusnutog mulja, primijenjenom tehnološkom rješenju te mogućnosti dodavanja određenih kemijskih sredstava (CaO, FeCl₃ i dr.), dehidracijom se postiže koncentracija suhe tvari u mulju 25-35 %ST. Dva su osnovna tehnološka rješenja dehidracije mulja:

- fizikalno uklanjanje vode (polja za sušenje mulja),
- mehaničko uklanjanje vode (centrifuge, trakaste filter prese, vakuumske filter prese).

Da bi se dobio kruti mulj s većim sadržajem suhe tvari, te shodno tome manji volumen (i s time manji prijevozni troškovi) trebalo bi strojno dodavati vapno dehidriranom mulju. Kompost od mulja, kojem se dodaju komadići drveta i/ili piljevina, zbog poboljšanja odnosa ugljika i dušika sadrži 40-50% suhe tvari.

Uz prethodno izdvojena tri osnovna postupka obrade mulja, izdvajaju se i dodatne faze obrade mulja koje se prema potrebi mogu primijeniti:

- homogenizacija,
- kondicioniranje,
- sušenje,
- spaljivanje,
- dezinfekcija.

Sušeni mulj koji sadrži oko 90 % suhe tvari moguće je proizvesti u posebnim pećima na temperaturi 200 do 400°C. Zbog potrošnje energije u količini od 4,0 do 5,0 MJ/kg isparene vode, ovaj postupak se rijetko primjenjuje. Posljednjih godina razvija se postupak sušenja mulja (do 90% suhe tvari) primjenom sunčeve energije, pod nazivom solarna dehidracija. Na području Hrvatske može se računati s energijom sunca od 1.000 do 1.700 kWh po m² vodoravne površine. To odgovara toplinskoj energiji od 100 do 110 litara loživog ulja po m² godišnje. U klimatskim uvjetima karakterističnim za veći dio područja Hrvatske, sunčeva energija omogućava isparavanje oko 800 kg vode po m² godišnje.

U slučaju kada, iz bilo kojih razloga, ne postoji mogućnost korištenja mulja u poljoprivredne i slične namjene, tada se kod većih uređaja (i/ili skupine srednjih i manjih uređaja), prije konačnog zbrinjavanja, predlaže termička oksidacija mulja. Podrazumijeva se da će se kod termičke oksidacije iskoristiti energetska razina mulja.

Primjenom zajedničkog spaljivanja mulja i gradskog krutog otpada omogućava se sušenje mulja do razine samospaljivosti te time izbjegava potreba dodavanja drugog energenta. Naime, još uvijek se smatra da je korištenje bioplina iz mulja jedan od najpovoljnijih načina korištenja energetske razine mulja.

Potrebno je napomenuti da kod spaljivanja mulja postoji opasnost od onečišćenja zraka pa je potrebno predvidjeti pročišćavanje plinova izgaranja. Na temperaturi većoj od 800°C odstranjuju se neugodni mirisi, ali još uvijek je potrebno dim iz peći pročistiti obzirom na sadržaj prašine (lebdećeg pepela) te dušikovih oksida, teških metala, ukupnih ugljikovodika i otrovnih organskih spojeva.

Jedan od postupaka toplinske obrade mulja je i piroliza. To je postupak razgradnje organske tvari pri visokoj temperaturi u atmosferi bez kisika. Konačni proizvodi su plinovi (metan, vodik, ugljik-monoksid), ulja, katran i pougljena kruta tvar te pepeo. Plinovi iz pirolize mogu se upotrebljavati za proizvodnju pare te pretvorbu u električnu energiju. Postupak je još uvijek u razvoju te do sada nema značajnijih primjena u obradi mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadne vode.

Osim smanjenja ukupne količine generiranog otpada, termičkom obradom mulja stvara se otpad (pepeo) koji se može u odnosu na svoje karakteristike i kemijski sastav upotrijebiti u određenim granama gospodarstva s posebnim naglaskom na građevinsku industriju u proizvodnji cementa, betona, opeke, keramike, ugradnji u asfaltnu mješavinu u cestogradnji, proizvodnji mješavina za poboljšanje tla, izdvajanje fosfora kao ograničenog resursa na Zemlji. [3, 7, 10, 11,12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

5. MOGUĆNOSTI PONOVNE UPOTREBE MULJA

Kvalitetno gospodarenje muljem predstavlja izazov za sve dionike koji se bave odvodnjom i pročišćavanjem otpadnih voda te gospodarenjem otpadom. Konačno odlaganje kanalizacijskog mulja skup je i ekološki osjetljiv postupak s kojim se čak i danas muče gotovo sve razvijene zemlje svijeta. Iz dosadašnje svjetske prakse proizlazi više mogućih rješenja ponovne upotrebe mulja i nusprodukata njegove obrade (npr. pepela), među kojima se ističe sljedeće:

1. Korištenje u betonskoj industriji
2. Korištenje u opekarskoj industriji
3. Korištenje pepela pri izgradnji prometnica
4. Korištenje pepela u funkciji poboljšanja tla

5.1 Korištenje mulja/pepela u betonskoj industriji

Građevna industrija je značajan potrošač prirodnih resursa i materijala, što ju čini sektorom s enormnim potencijalom za korištenje otpadnih materijala generiranih unutar područja građevinarstva, ali i kroz aktivnosti u drugim sektorima. Danas je beton najkorišteniji umjetno dobiveni građevni materijal na svijetu. Mineralni dodaci betonu definirani su kao anorganski materijali, pucolanski materijali ili latentni hidraulički materijali koji fino usitnjeni mogu biti dodani u beton i/ili mortove na bazi Portland cementa, kako bi se poboljšala određena svojstva ili dobile određene karakteristike [20].

Tri su osnovna principa korištenja otpadnih materijala u cementnoj industriji: kao sirovine za formiranje klinkera, kao alternativnog goriva u procesu proizvodnje ili kao zamjenski materijali u cementnim mješavinama gdje zamjenjuju određeni udio Portland cementa.

Osnovni kemijski elementi prisutni u Portland cementu su kalcij, silicij, aluminij i željezo. Ovi elementi, kao što je već spomenuto, prisutni su u značajnim udjelima i u pepelu koji nastaje kao nusprodukt spaljivanja mulja [7].

Zahvaljujući značajnoj kalorijskoj vrijednosti sušenog kanalizacijskog mulja interesantna je mogućnost njegove primjene kao alternativnog goriva u cementnoj industriji pri proizvodnji klinkera. Anorganski pepeo koji u tom procesu preostaje kao nusprodukt, budući posjeduje značajna pucolanska svojstva, moguće je dalje iskoristiti kao zamjenu za dio sirovina iz prirode potrebnih za dobivanje cementa. Naime, kada organski dio mulja izgori, anorganske frakcije preostale u obliku pepela ugrađuju se u cementni klinker. Procijenjeno je da bi se ovakvim pristupom proizvodnji cementa potreba za fosilnim gorivima u modernim cementnim pećima mogla smanjiti do čak 70% [21]. Ovakav pristup zbrinjavanju kanalizacijskog mulja možda je i najobuhvatniji budući se koristi kao alternativno gorivo pri čemu se produkt sagorijevanja (pepeo) direktno ugrađuje u otopljeni klinker bez potrebe za zasebnim odlaganjem. Time se istovremeno reducira i potreba za gorivom pri procesu spaljivanja, ali i potreba za sirovim materijalom iz prirode u proizvodnji cementa.

Primjena mulja u procesu dobivanja cementa zahtijeva promjenu dijela fizikalno-kemijskih karakteristika mulja, kao što su reduciranje udjela vlage i organske tvari te povećanje sadržaja kalcijevih spojeva. Ovi ciljevi, postižu se prethodnom stabilizacijom mulja, između ostalog i dodavanjem alkalnih sredstava, primjerice vapna [22]. Pritom se kemijskom i toplinskom energijom stvorenom reakcijama mulja i vapna isparava vlaga iz mulja te dolazi do reakcija mineralizacije organske tvari.

Ipak, najveći potencijal ponovne upotrebe mulja/pepela u betonskoj industriji odnosi se na mogućnosti primjene kao zamjene za dio originalnih sirovina u betonu. Pepeo se u betonu može koristiti kao pucolanski aktivan materijal, djelomično zamjenjujući cement, ili kao inertni filer, koji zamjenjuje pijesak i/ili fini agregat. Veći broj autora [7, 15, 23, 24, 25, 26, 27] objavio je da djelomična zamjena Portland cementa s pepelom nastalim spaljivanjem mulja utječe na obradivost i razvoj čvrstoće cementnih pasti, mortova i/ili betona.

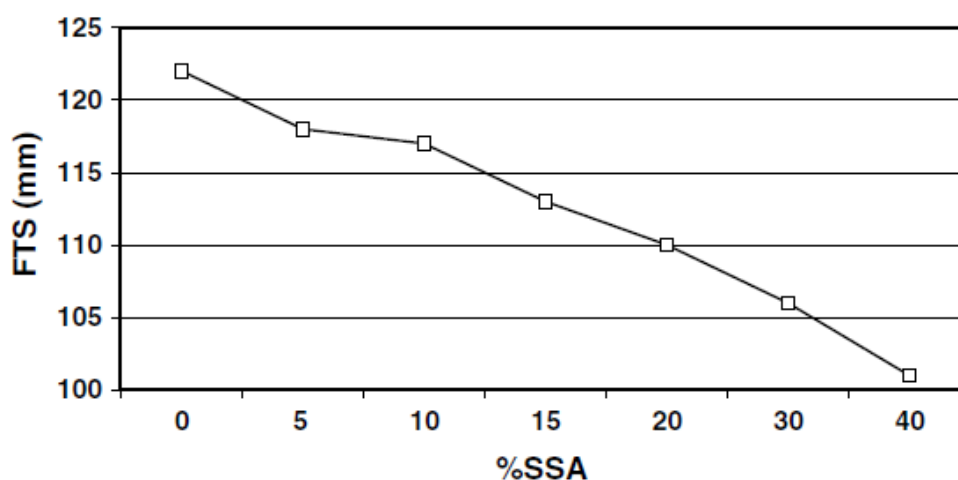
Značajni sadržaji SiO_2 i Al_2O_3 u pepelu garantiraju mogućnost primjene ovog materijala kao pucolanskog. Uglavnom negativni utjecaji zamjene dijela cementa pepelom pripisuju se povećanim zahtjevima za vodom uslijed nepravilne morfologije čestica pepela, djelomičnog smanjenja tlačne i vlačne čvrstoće te obradivosti betona, a zabilježena su i duža vremena vezanja betona [7].

U slučaju zamjene dijela cementa pepelom, u cementnim pastama i betonima, zabilježena su duža vremena vezivanja [7, 15, 28], smanjenje vremena slijeganja i povećanje ukupne poroznosti [29] te smanjenje obradivosti [15, 24, 27] i povećana potreba za vodom [7, 24]. Monzo [24] je zaključio da je pad obradivosti mortova s dodatkom pepela nelinearan te da je kod većih udjela pepela pad obradivosti manje značajan. Ove nedostatke djelomično je moguće nadoknaditi dodatkom alternativnih kemijskih dodataka kao što su plastifikatori i superplastifikatori [24], povećanjem finoće čestica pepela [25] pa čak i dodatkom letećeg pepela [30]. Primjerice, uz dodatak 20 % letećeg pepela moguće je nadomjestiti navedene nepovoljne utjecaje nastale u betonu uslijed zamjene 10 %-tnog udjela cementa pepelom. Važno je naglasiti da se povećanjem finoće čestica pepela produljuje vrijeme vezanja i vrijeme slijeganja,

tj. povećava se adsorpcija vode (uslijed veće ukupne slobodne površine čestica), a samim tim dolazi do povećane pucolanske aktivnosti i razvoja većih tlačnih čvrstoća dobivenog betona.

S obzirom na čvrstoće dobivenih betona, mogu se izdvojiti dva značajna trenda: povećanjem udjela pepela kojim se zamjenjuje cement smanjuje se čvrstoća betona i povećanjem finoće čestica pepela čvrstoće formiranih betona rastu.

Uspoređujući rezultate pojedinih autora, zamjetne su značajne razlike u apsolutnim vrijednostima dobivenih rezultata. Primjerice, zamjena 20 % Portland cementa s pepelom, dovodi do različitih smanjenja tlačne čvrstoće: 24 % [31], 52% [25], 32% [32]. U radu Jamshidi-a [26] objavljeno je da zamjena 10% cementa pepelom uzrokuje smanjenje tlačne čvrstoće za 8 % te se, stoga, u slučaju udjela pepela većih od 10 % dobiveni betoni mogu primjenjivati samo kao nekonstruktivni. Očite razlike posljedica su prije svega različitih dimenzija uzoraka morta i različitih primijenjenih v/c omjera. Značajnu ulogu igra i primijenjeni proces dobivanja pepela: tip peći, temperatura, utjecaj različitih dodataka tijekom spaljivanja i sl.



Slika 1. Obradivost morta u ovisnosti o udjelu pepela - cement CEM I 42.5R [27]

Prema Chen [19] čvrstoća (tlačna i savojna) analiziranih mortova opada linearno s povećanjem udjela pepela kao zamjene za cement. Taj utjecaj na hidraulička svojstva objašnjava se kroz suficit vode, koja je u mješavinama s dodatkom pepela potrebna kako bi se održala obradivost i sadržaj CaO u pepelu (manje od 10 %).

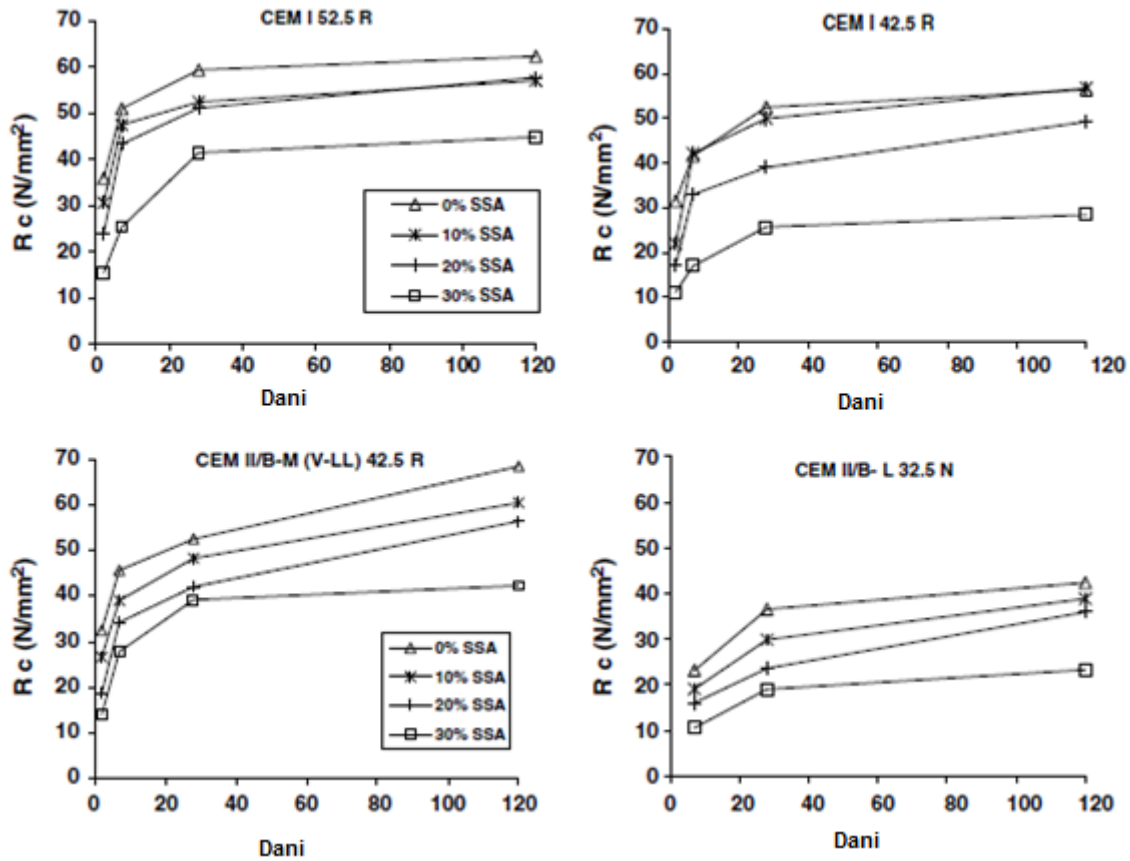
Utjecaj vrste komercijalno dostupnog cementa također ima utjecaj na ponašanje mortova u kojima je određeni udio cementa zamijenjen s pepelom [27]. Prema tom istraživanju, cement CEM II/B-M (V-LL) istaknut je kao najprikladniji (među analiziranim tipovima cementa) za izradu mortova s određenim udjelom pepela. Najveće vrijednosti tlačne čvrstoće dobivene su na uzorcima morta spravljenog s cementom CEM I 52.5 R, zbog toga što je i nominalna čvrstoća tog cementa najviša. Najniže vrijednosti dobivene su s cementom CEM II/B-L 32.5 N. Kod svih mortova tlačna čvrstoća se smanjivala povećanjem udjela pepela.

Dodatna mogućnost primjene pepela dobivenog spaljivanjem mulja u betonu odnosi se na zamjenu dijela finog agregata [33, 34] i pijeska [7]. Također, moguća je i primjena pepela u samom postupku proizvodnje laganih agregata [34].

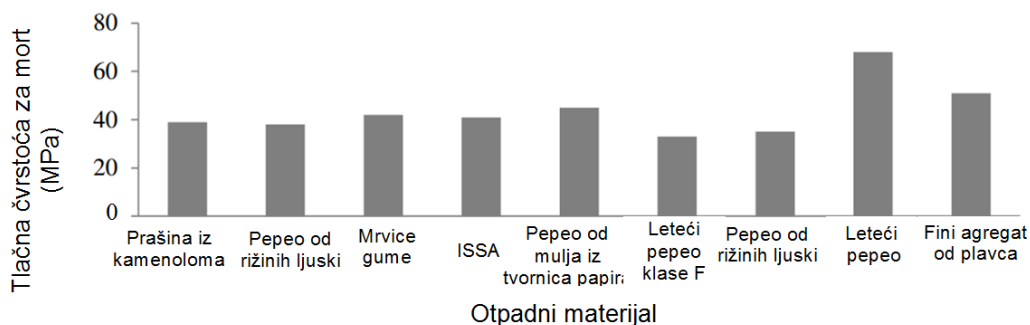
Prema istraživanju Baeza-Broton [35], uzorci s udjelom ISSA kao zamjene za cement u betonu do 5 % pokazali su čak nešto veće tlačne čvrstoće u odnosu na referentne uzorke. Udjeli ISSA

veći od 5 % daju nešto manje vrijednosti tlačne čvrstoće, ali još uvijek iznad 90 % tlačne čvrstoće kontrolnih uzoraka [35].

Postoje i mogućnosti korištenja ISSA u mješavinama s vraćenim betonom (beton preostao na gradilištima tijekom betoniranja i vraćen u betonare) koje se nakon sušenja usitnjavaju te se dobiva mrvljeni materijal za izradu nosivih slojeva [36]. U ovom slučaju bolje karakteristike konačnog materijala dobivene su korištenjem mljevenog ISSA.



Slika 2. Tlačna čvrstoća mortova u ovisnosti o tipu cementa i udjelu sadržanog pepela [27]



Slika 3. Tlačna čvrstoća građevnog materijala (morta) dobivenog uz korištenje različitih industrijskih otpada (kao zamjena za 10% cementa) [37]

Ekološki utjecaji prilikom korištenja nusprodukata spaljivanja mulja (pepela) u cementnim materijalima obrađeni su analiziranjem izluživanja iz betonskih uzoraka te je generalno zaključeno da je ono po svim parametrima unutar dopuštenih granica [7, 19].

5.2 Korištenje mulja/pepela u opekarskoj industriji

Opeka i ostali keramički materijali zauzimaju vrlo značajno mjesto u području zidanih materijala zahvaljujući svojim fizikalnim, mehaničkim i kemijskim karakteristikama što se posebno odnosi na čvrstoću, trajnost i zbijenost. Iz navedenog proizlaze određena nastojanja za ugradnjom dijela otpadnih materijala u postupcima njihove proizvodnje.

Zamjenom dijela sirove gline, u proizvodnji keramičkih materijala, otpadnim materijalima (muljem ili pepelom), pridonosi se smanjenju vađenja sirove gline iz prirode, a stoga i očuvanju prirodnih resursa. Smanjuju se troškovi za izvlačenje gline iz prirode, a ne manje važno, uvelike se rješava i problem gospodarenja i odlaganja mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Nadalje, ovim postupcima moguće je čak pridonijeti poboljšanju nekih karakteristika konvencionalnih opeka.

Dodavanje materijala koji izgaraju (sušenog mulja) u proces pečenja opeka dovodi do stvaranja pora, smanjenja gustoće proizvoda i njegove toplinske vodljivosti, ali i negativnih utjecaja na mehaničku otpornost modificiranjem sastava i mikrostrukture [38]. Stoga je, za proizvodnju kompetitivnih opeka, potrebno pronaći kompromis između termalnih i mehaničkih karakteristika. Smanjena gustoća dobivenog materijala, uz zamjenu dijela originalnih sirovina muljem, a uslijed povećane poroznosti, uvelike se odražava i na mehaničku otpornost krajnjeg proizvoda. Ipak, tradicionalne opeke, kako bi zadovoljile zahtjeve u pogledu čvrstoće, ne smiju imati tlačnu čvrstoću ispod 100 kg/cm² što znači da opeke proizvedene uz 10%-tni udio mulja udovoljavaju ovom uvjetu [39]. Udio mulja koji se može inkorporirati u glinu za dobivanje raznih opekarskih materijala značajnim dijelom ovisi o karakteristikama mulja (granulacija čestica te kemijski i mineraloški sastav), ali u još većoj mjeri ovisi o karakteristikama korištenog sirovog materijala [40].

Pepeo dobiven spaljivanjem mulja također sadrži određena svojstva slična materijalima koji se koriste u proizvodnji opeka i ostalih keramičkih materijala. Prvenstveno se to odnosi na sadržaj željeza, kalcija i fosfora čiji su spojevi prepoznati kao spojevi značajnih keramičkih karakteristika, koji pozitivno doprinose značajkama materijala prilikom procesa pečenja. U Japanu se već neko vrijeme pojedine opeke proizvode isključivo od pepela, ali posebnim procesima tlačenja pepela pri izrazito visokim tlakovima što ovu tehnologiju čini neracionalno skupom za europske prilike [41].

Pepeo dobiven spaljivanjem mulja može se u keramičke materijale inkorporirati kao zamjena za dio gline ili pijeska [17]. Smanjena gustoća materijala dobivenog uz zamjenu dijela originalnih sirovina pepelom, uslijed povećane poroznosti, uvelike se odražava i na mehaničku otpornost krajnjeg proizvoda. Prema istraživanju Anderson i Skerratt [41] dodatak od 5% težinskog udjela pepela smjesi za proizvodnju opeka nema značajnijih utjecaja na karakteristike prilikom oblikovanja i pečenja konačnih proizvoda. Generalno je zaključeno da se skupljanje tijekom sušenja značajno smanjuje uz dodatak pepela što bi moglo biti značajnom prednosti budući se time smanjuje potrebno vrijeme sušenja. Dodavanje pepela, ima i tendenciju povećanja skupljanja tijekom pečenja, kao i povećanje poroznosti konačnog proizvoda, što u konačnici znači blagi pad čvrstoće i povećanu absorpciju vode.

5.3 Korištenje pepela pri izgradnji prometnica

Određeni broj znanstvenih istraživanja usmjeren je na ispitivanje mogućnosti zamjene dijela praškastog vapnenca u asfaltnim mješavinama pepelom dobivenim spaljivanjem mulja, koji u tom slučaju preuzima ulogu mineralnog filera [10, 36]. Sato [36] se bavio ispitivanjem asfaltnih mješavina uz upotrebu originalnog pepela te, zasebno, uz upotrebu mljevenog pepela (veća finoća čestica pepela). Zaključeno je da se pepeo može koristiti kao filer u asfaltnim mješavinama, ali kvaliteta tako dobivenih mješavina ipak je nešto niža od konvencionalnih (uz korištenje isključivo praškastog vapnenca). Mješavine u kojima je korišten originalno dobiveni pepeo (bez mljevenja) zahtijevale su značajno povećanje udjela asfalta, a budući je asfalt skup, dobiveni učinak je nepovoljan. Također, te su mješavine pokazale značajan pad dinamičke stabilnosti i čvrstoće na cijepanje (što je veći udio pepela u mješavini, veći je i pad navedenih svojstava). Neki od spomenutih problema mogu se ukloniti korištenjem mljevenog pepela. Na ovaj način, potrebne količine asfalta u mješavinama mogu se čak i smanjiti, dok se dinamička stabilnost i čvrstoća na cijepanje mogu, u određenim slučajevima, i povećati. U ovom slučaju, ipak, dolazi do pada rezidualne stabilnosti mješavine. Moguće je i korištenje pepela dobivenog spaljivanjem mulja kao zamjene za dio agregata u asfaltnim mješavinama [3, 10].

5.4 Korištenje pepela u funkciji poboljšanja tla

Stabilizacija tla je uobičajena inženjerska tehnika korištena za poboljšanje fizikalnih karakteristika slabog temeljnog tla. Brojne su mehaničke i kemijske metode stabilizacije tla: dodavanje vapna, letećeg pepela, cementa, prirodnog gipsa, kombinacije vapna i gipsa, vapna i pepela, pepela od rižinih ljuski, letećeg pepela od ugljena i čelika [42].

Glinovita tla su karakterizirana visokim potencijalom za bubrenjem i skupljanjem, što može uzrokovati brojne probleme prilikom njihova korištenja za temeljenje inženjerskih konstrukcija poput zgrada, cesta i ostalih projekata. Pepeo dobiven spaljivanjem mulja uz dodatak hidratiziranog vapna moguće je primijeniti za stabilizaciju mekog kohezivnog temeljnog tla. Povećanjem udjela dodanog pepela slabim temeljnim tlima, dolazi do pada vrijednosti indeksa plastičnosti tla [42]. Nadalje, povećanje udjela dodanog pepela do 7,5% suhe tvari tla rezultira povećanjem maksimalne suhe gustoće, dok će povećanje udjela pepela iznad 7,5% uzrokovati pad suhe gustoće. Ovom trendu odgovara i ponašanje rasta/pada tlačne čvrstoće tla s dodatkom pepela (do 7,5 % dodanog pepela uzrokuje rast tlačne čvrstoće tla, dok daljnje dodavanje pepela dovodi do pada tlačne čvrstoće tla). Potencijal bubrenja tla značajno je smanjen uz dodatak pepela. Uspješno su poboljšana osnovna svojstva mekog temeljnog tla i korištenjem mješavine pepeo/cement. Primijećen je značajan pad vrijednosti indeksa plastičnosti tako dobivenog tla što dovodi i do promjene kategorije od slabo nosivog do srednje nosivog temeljnog tla [16, 43]. Zabilježen je i utjecaj na bubrenje tla, odnosno što je veći udio dodanog pepela/cementa, bubrenje tla je manje, dok se tlačna čvrstoća dobivenog tla povećava, kao i ocjena ukupne čvrstoće i nosivosti temeljnog tla. Prema rezultatima triaksijalnih tlačnih testova [16], uz korištenje mješavine pepela i hidratiziranog vapna kao stabilizatora slabih temeljnih tla, moguće je povećati čvrstoću na posmik takvog tla za 30 do 50-70 kPa. Uz ovakve mjere, potencijalno je moguće slaba temeljna tla svrstati u kategoriju dobrih temeljnih tla te ostvariti pozitivne učinke vezane uz stabilizaciju tla.

6. ZAKLJUČAK

Hrvatska jako kasni s donošenjem i provedbom nacionalne strategije gospodarenja muljevima s UPOV-a, što stvara, i stvarat će u bliskoj budućnosti niz problema koji mogu rezultirati lošim tehnološkim, ekonomski i ekološki neodrživim rješenjima. Problem zbrinjavanja mulja ne može

se, zbog velikog broja varijabli koje utječu na ekonomska i ekološka ishodišta, rješavati na razini lokacije jednog UPOV-a, već na razini velikih prostornih cjelina (županija i države). Zbog različitih tehnoloških mogućnosti obrade i zbrinjavanja mulja i mogućih negativnih utjecaja na čovjeka i okoliš, znanstvena i stručna javnost trebala bi postići konsenzus na razini države o tome koja su rješenja prihvatljiva za Hrvatsku, i na temelju tog konsenzusa izraditi plan gospodarenja muljem. Od rješenja koja se čine prihvatljivim je svakako ponovna upotreba mulja i njegovih nusproizvoda za različite namjene (npr. pepela dobivenog termičkom obradom u betonskoj industriji i pri izgradnji prometnica, sušenog mulja u opekarskoj industriji ili kao poboljšivača tla) odnosno sva ona rješenja u kojima se višekriterijski postižu optimalni rezultati. U okvirima održivog razvoja, ponovnom upotrebom mulja gotovo u potpunosti se zatvara ciklus pročišćavanja otpadnih voda pri čemu se generiraju zanemarive količine otpadne tvari, koje je kao otpadnu tvar potrebno odložiti u okoliš. U odnosu na svjetske trendove, zasigurno će i u Hrvatskoj u bliskoj budućnosti ponovna upotreba mulja poprimati sve veći značaj, kako u znanstveno-istraživačkom pogledu, tako i s aspekta konačne primjene.

7. ZAHVALA

Ovaj rad je financirala Hrvatska zaklada za znanost projektom (7927): "Reuse of sewage sludge in concrete industry – from microstructure to innovative construction products".

8. REFERENCE

- [1] Nowak, O.; Kuehn, V.; Zessner, M., (2003), Sludge management of small water and wastewater treatment plants, *Water Science and Technology*, Vol 48, 11-12, 33-41.
- [2] Kocks Consult GmbH, (2010), Konceptualna studija zbrinjavanja otpadnog mulja - CUPOV Zagreb, Zagrebačke otpadne vode, Zagreb.
- [3] FHWA-RD-97-148, (2012). User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, Federal Highway Administration, US Department of transportation, USA.
- [4] Tantawy, M.A., El-Roudi, A.M., Abdalla E.M., Abdelzaher, M.A., (2012). Evaluation of the pozzolanic activity of sewage sludge ash. *ISRN Chemical Engineering*, vol. 2012, Article ID 487037.
- [5] WYG International Ltd & WYG savjetovanje d.o.o. & WYG Ireland & FCG International Ltd, (2013), Obrada i zbrinjavanje otpada i mulja generiranog pročišćavanjem otpadnih voda na javnim sustavima odvodnje otpadnih voda gradova i općina u hrvatskim županijama, Tehničko-ekonomska studija, Projekt zaštite voda od onečišćenja na priobalnom području 2.
- [6] Tedeschi, S., Malus, D., Vouk, D., (2012). Konačna obrada mulja otpadnih voda grada Zagreba. *Građevinar: časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera*, 2; pp 133-139.
- [7] Donatello, S., Cheeseman, C.R., (2013). Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Manage.* 33, pp 2328-2340.
- [8] Metcalf and Eddy Inc., (2003), *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, Mc Graw Hill, New York, str. 1457.

- [9] OTV, (1997), Traiter et Valoriser les Boues. Liguge (France): Aubin Imprimeurs, 457.
- [10] Al Sayed, M.H., Madany, I.M., Buali, A.R.M., (1995). Use of sewage sludge ash in asphaltic paving mixes in hot regions. *Constr. Build. Mater.* 9 (1), pp 19-23.
- [11] Taruya, T., Okuno, N., Kanaya, K., (2002). Reuse of sewage sludge as raw material of portland cement. *Water Sci, Technol.*, 46(10), pp 255-8.
- [12] Cheeseman, C.R., Viridi, G.S., (2005). Properties and microstructure of lightweight aggregate produced from sintered sewage sludge ash. *Resour. Conserv. Recy.* 45 (1), pp 18-30.
- [13] Chiou, I.J., Wang, K.S., Chen, C.H., Lin, Y.T., (2006). Lightweight aggregate made from sewage sludge and incinerated ash. *Waste Manage.* 26, pp 1453-1461.
- [14] Chen, C.H., Chiuo, I.J., Wang, K.S., (2006). Sintering effect on cement bonded sewage sludge ash. *Cem. Concr. Compos.* 28, pp 26-32.
- [15] Cyr, M., Coutand, M., Clastres, P., (2007). Technological and environmental behaviour of sewage sludge ash (SSA) in cement-based materials. *Cem. Concr. Res.* 37, pp 1278-1289.
- [16] Lin, D.F., Lin, K.L., Hung, M.J., Luo, H.L., (2007). Sludge ash/hydrated lime on the geotechnical properties of soft soil. *J. Hazard. Mater.* 145 (1-2), pp 58-64.
- [17] Petavratzi, E., Wilson, S., (2007). Incinerated sewage sludge ash in facing bricks. *WRT 177 / WR00115*.
- [18] Chen, L., Lin, D.F., (2009). Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement. *J. Hazard. Mater.* 162 (1), pp 321-327.
- [19] Chen, M., Blanc, D., Gautier, M., Mehu, J., Gourdon, R., (2013). Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw materials in construction. *Waste Manage.* 33, pp 1268-1275.
- [20] Hewlett, P.C., (1998). *Leas Chemistry of Cement and Concrete*, 4. izdanje Elsevier Ltd, Oxford, UK.
- [21] Husillos Rodriguez, N., Martinez-Ramirez, S., Blanco-Varela M.T., Donatelo, S., Guillem, M., Puig, J., Fos, C., Larrotcha, E., Flores, J., (2013). The effect of using thermally dried sewage sludge as an alternative fuel on Portland cement clinker production. *Journal of Cleaner Production.* 52, 94-102.
- [22] Valderrama, C., Granados, R., Cortina, J.L., (2013). Stabilisation of dewatered sewage sludge by lime addition as raw material for the cement industry: Understanding process and reactor performanc. *Chemical Engineering Journal.* 232, 458-467
- [23] Monzo, J., Paya, J., Borrachero, M.V., Bellver, A. Peris-Mora, E., 1997. Study of cement-based mortars containing spanish ground sewage sludge ash. *Stud. Environ. Sci.* 71, 349-354
- [24] Monzo, J., Paya, J., Borrachero, M.V., Girbes, I., (2003). Reuse of sewage sludge ashes (SSA) in cement mixtures: the effect of SSA on the workability of cement mortars. *Waste Manage.* 23, 373-381.

- [25] Pan, S.C., Tseng, D.H., Lee, C.C., Lee, C., (2003). Influence of the fineness of sewage sludge ash on the mortar properties. *Waste Manage.* 33, 1749-1754.
- [26] Jamshidi, A., Mehrdadi, N., Jamshidi, M., (2011). Application of sewage dry sludge as fine aggregate in concrete. *J. Envir. Stud.* Vol. 37, No. 59.
- [27] Garces P., Perez-Carrion, M., Garcia-Alcocel, E., Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., (2008). Mechanical and physical properties of cement blended with sewage sludge ash. *Waste Manage.* 28, pp 2495-2502.
- [28] Lin, K.L., Lin, D.F., Luo, H.L., (2009). Influence of phosphate of the waste sludge on the hydration characteristics of eco-cement. *J. Hazard. Mater.* 168, 1105-1110.
- [29] Yusuf, R.O., Moh'd Fadhil, M.D., Ahmad, H.A., (2012). Use of sewage sludge ash (SSA) in the production of cement and concrete – a review. *Int. J. Global Environmental Issues*, Vol. 12, Nos. 2/3/4. 214-228.
- [30] Paya, J., Monzo, J., Borrachero, M.V., Amahjour, F., Girbes, I., Velazquez, S., Ordonez, L.M., (2002). Advantages in the use of fly ashes in cements containing pozzolanic combustion residues: silica fume, sewage sludge ash, spent fluidized bed catalys and rice husk ash. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology.* 77, 331-335.
- [31] Donatello, S., Tyrer, M., Cheeseman, C.R., (2010). Comparison of test methods to assess pozzolanic activity. *Cem. Concr. Compos.* 32, pp 63-71.
- [32] Tay, J.H., (1986). Potential use of sewage sludge ash as construction material. *Resour. Conserv. Recy.* 13, 53-58.
- [33] Dunster, A., BRE, (2007). Incinerated sewage sludge ash (ISSA) in autoclaved aerated concrete (AAC). WRT 177 / WR0115.
- [34] Kosior-Kazberuk, M., (2011). Application of SSA as Partial Replacement of Aggregate in Concrete. *Polish J. of Environ.* Vol. 20, No. 2, 365-370.
- [35] Baeza-Brotons, F., Garces, P., Paya, J., Saval, J.M., 2014. Portland cement systems with addition of sewage sludge ash. Application in concretes for the manufacture of blocks., *Journal of Cleaner Production* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.clerpo.2014.06.072>.
- [36] Sato, Y., Oyamada, T., Hanehara, S., (2013). Applicability of sewage sludge ash (SSA) for paving materials: A study on using SSA as filler for asphalt mixture and base course material. *Third International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*.
- [37] Agrawal, D., Hinge, P., Waghe, U.P., Raut, S.P., 2014. Utilization of industrial waste in construction material – A review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.* Vol. 3 (Issue 1).
- [38] Bories, C., Borredon, M.-E., Vedrenne, E., Vilarem, G., (2014). Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. *Journal of Environmental Management.* 143, 186-196.
- [39] Weng, C.-H., Lin, D.-F., Chiang, P.-C., (2003). Utilization of sludge as brick materials. *Advances in Environmental Research.* 7, 679-685.

- [40] Teixeira, S.R., Santos, G.T.A., Souza, A.E., Alessio, P., Souza, S.A., Souza, N.R., (2011). The effect of incorporation of a Brazilian water treatment sewage sludge on the properties of ceramic materials. *Appl. Clay Sci.* 53, 561-565.
- [41] Anderson, M., Skerratt, G., (1999). The use of sewage sludge incinerator ash in brickmaking. *Wastes Management.* Aug. 1999, page 36.
- [42] Al-Sharif, M.M., Attom, M.F., (2013). A geoenvironmental application of burned wastewater sludge ash in soil stabilization. *Environ. Earth Sci.*, DOI 10.1007/s12665-013-2645-z.

VREDNOVANJE RECIKLIČNOSTI ELEKTROOTPADA

ASSESSMENT OF RECYCLABILITY FOR ELECTRICAL WASTE

prof. dr. sc. Antun Pintarić, redoviti profesor*¹

¹ Elektrotehnički fakultet Osijek, Kneza Trpimira 2B, Osijek

*e-mail kontakt: pinta@etfos.hr

SAŽETAK

Zbrinjavanje dotrajalih proizvoda postaje obveza koja sve više košta. Recikliranje je jedan od načina prerade otpada koji može ostvariti prihod koja pokriva troškove, pa i donosi dobit. Rad se bavi pitanjem vrednovanja prikladnosti recikliranju dotrajalih proizvoda.

U radu se predlaže model ocjenjivanja recikličnosti dotrajalih proizvoda koji se zasniva na rastavljanju proizvoda i analizi strukture proizvoda (vrijeme rastavljanja, masa dijelova, vrsta materijala, recikličnost dijelova). Model je primijenjen na uzorku od dvadesetpet elektroproizvoda (električni kućanski aparati, kompjutorska oprema). Recikličnost je iskazana je kao odnos utvrđene i maksimalno moguće prikladnosti recikliranju. Tako izračunata vrijednost predstavlja potencijalnu recikličnost dotrajalog proizvoda. Recikličnost promatranih proizvoda se najčešće kreće od 0,40 do 0,70.

Zaključno, model omogućava numeričko iskazivanja prikladnosti dotrajalog proizvoda recikliranju. U tome je smislu od koristi za uspoređivanje recikličnosti proizvoda međusobno, te za proračun isplativosti recikliranja.

Ključne riječi: *recikliranje, recikličnost, elektrootpad*

ABSTRACT

This paper starts from the fact that End-Of-Life (EOL) products caring becomes more and more expensive obligation. Recycling is a method of EOL products processing that can earn benefit covering costs and even achieving profit. The study deals with assessment solution of recyclability EOL products.

Proposed model of EOL products recyclability evaluating is based on product disassembling and analyzing of its structure (time required for disassembling, quantity of components, materials, recyclability of components). Model was applied on sample of twenty five electro-equipment (small domestic appliances, computer equipments). Recyclability of products is expressed as a ratio between established and maximum possible recycling applicability. Calculated value is potential recyclability for EOL products.

Conclusively, model provides numeric expression of EOL products to recycling. In that sense, model is beneficial for products comparing based on recyclability, and for estimate of recycling profitability.

Keywords: *recycling, recyclability, electro-equipment*

6. UVOD

Gospodarstvo s kružnim tokom materijala (nj. Kreislaufwirtschaft), u sve većem broju zemalja postaje i zakonska obveza. Preko 30 zemalja (većinom europskih) ima uveden sustav *take-back* koji propisuje odgovornost proizvođača za zbrinjavanje vlastitih dotrajalih proizvoda i ambalaže.

Prikladnost dotrajalog proizvoda preradi, kao što su obnavljanje i uporaba (recikliranje), se može kretati u rasponu od neizvodivog, odnosno neisplativog do profitabilnog postupka. Presudni utjecaj na to imaju odluke donesene u fazi konstruiranja proizvoda.

Dva su osnovna pristupa recikliranju – recikliranje proizvoda (hr. *obnavljanje*, e. *remanufacturing*, nj. *Werkstückrückgewinnung*) i recikliranje materijala (hr. *oporaba*, e. *recycling*, nj. *Werkstoffrückgewinnung*). Kod recikliranja proizvoda treba ostvariti prikladnost prikupljanju, rastavljanju, čišćenju, provjeravanju, razvrstavanju dotrajalih dijelova i ponovnom sastavljanju, a kod recikliranja materijala prikladnost prikupljanju, usitnjavanju, razdvajanju i razvrstavanju. U oba je slučaja važno ostvariti jednostavno rastavljanje proizvoda, tj. primijeniti lakorastavljive spojeve [1]. Svrha rastavljanja je razdvajanje na jednostavnije strukturne cjeline (dijelovi, sklopovi) s ciljem kasnije prerade ili odlaganja.

Desetljeća primjene recikliranja su donijela brojna iskustva uobličena u preporuke i smjernice za konstruiranje recikliranju prikladnih proizvoda. Pri tome recikličnost, kao novi zahtjev pri konstruiranju, označava prikladnost proizvoda ili materijala odvajanju iz otpada i vraćanju u uporabu kao funkcionalno ispravnog dijela ili kao sirovine za ponovno dobivanje materijala [1, 2, 3].

Sve veća važnost recikliranja nametnula je potrebu vrednovanja recikličnosti proizvoda. Poznato je nekoliko metoda, od kojih su poznatije opisane u [4, 5, 6, 7]. Ipak, niti jedna nije općeprihvaćena. To otvara prostor i za manipulaciju kupaca od strane proizvođača s pojmom recikličnošću u marketinške svrhe.

Istraživanje vrednovanja recikličnosti materijala i proizvoda [8] ponudilo je model koji temeljem strukturne analize proizvoda brojčano iskazuje potencijal recikličnosti proizvoda. Ovaj rad daje kratki opis modela i njegovu primjenu na dotrajalim elektroproizvodima.

7. PRIKAZ MODELA VREDNOVANJA RECIKLIČNOSTI

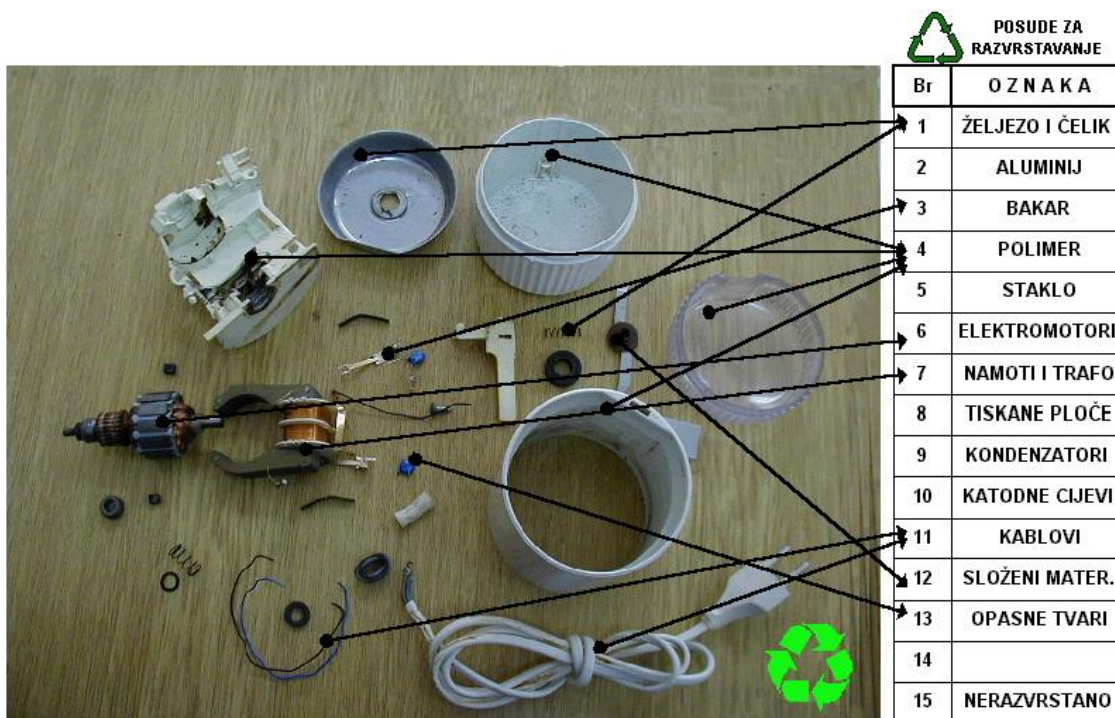
Pojam recikličnosti je ovdje ograničen na prikladnost dotrajalog proizvoda materijalnom iskorištenju (recikliranje ili uporaba) koje se zasniva na ponovnoj uporabi materijala, pri čemu se on koristi kao sirovina, tzv. "sekundarna sirovina", u proizvodnji materijala. Prerada se sastoji od niz operacija koje uključuju prikupljanje, razdvajanje i preradu putem kojih se proizvodi ili drugi materijali ponovno iskorištavaju ili na drugi način izdvajaju iz otpadnih tokova za uporabu u obliku sirovine u proizvodnji novih proizvoda ili kao gorivo [9].

Proizvodu se pristupa kao sklopu sastavljenom od većeg ili manjeg broja dijelova. Stoga se činilo logičnim vrednovanje početi analizom elemenata, tj. dijelova, a zatim obradom tih podataka doći do spoznaje o recikličnosti proizvoda tj. cjeline. Potrebno je istaknuti da se istraživanje zasniva na rastavljanju proizvoda, pri čemu je sačuvan integritet dijelova, odnosno sklopova. Širi pristup bi obuhvaćao mehaničko usitnjavanje (dezintegriranje proizvoda) i primjenu raznih postupaka razvrstavanja. Proširenje granica istraživanja u tome pravcu bi zahtijevalo drugačiji pristup izgradnji modela koji bi zahtijevao niz laboratorijskih ispitivanja i eksperimentalnih podataka (npr. prikladnost usitnjavanju, mjerenje razdvojitosti komponenti i dr.).

2.1. Elementarni pokazatelji

Prva faza primjene modela ima analitički karakter. Proizvod se rastavlja tijekom čega se mjerenjem, zapažanjem ili procjenom utvrđuju elementarni pokazatelji (jer su na razini pojedinačnog dijela, tj. elementa proizvoda) relevantni za vrednovanje recikličnosti.. Kako bi primjena modela bila jednostavnija odabrano je tek šest pokazatelja (prikazani u zaglavlju tablice 2). Neki su u nastavku pojašnjeni.

Vrsta materijala/komponente, (vm)_i, se određuje na bazi svojstava materijala - najčešće magnetičnosti, boji, gustoći i tvrdoći. Ranija su istraživanja [3] ukazala na manjkavost razvrstavanja elemenata samo prema vrsti materijala. To je potvrđeno i kod elektroproizvoda gdje su sklopovi (osobito elektronički) toliko složeni da bi njihovo rastavljanje predstavljalo neracionalni gubitak vremena, a dobit ne bi pokrila troškove. Na koncu neke je sklopove (otpornici, tranzistori, integrirani krugovi i sl.) nerazumno rastavljati. S druge strane praksa recikliranja ima razvijene postupke prerade takvih sklopova (tiskane pločice, kablovi, katodne cijevi, elektronički elementi). To upućuje na to kako je prikladnije takve sklopove odvojeno prikupljati prema sličnosti kasnijeg postupka prerade (slika1). Tako se npr. u jedan spremnik odvajaju elektronički sklopovi, u drugi izolirani vodiči i kablovi, u treći elektromotori itd.. Dio tako razvrstanog otpada se prerađuje posebno prilagođenim postupcima.



Slika 1. Primjer razvrstavanja na komponente otpada

Odlučeno je stoga dijelove razvrstati u skupine (spremnike) koje se prerađuju istim postupkom. U tome se slučaju napušta klasična podjela materijala. U spremnik s dijelovima na bazi bakra će se naći i neki teško rastavljivi sklop bakra s nešto polimera, željeza ili drugog onečišćenja. Svrhovito je unaprijed utvrditi popis tipiziranih materijala koji će se primjenjivati ovom metodom kako bi se izbjegla nedosljednost u primjeni.

Vrijeme rastavljanja, v_i , v_{kl} , predstavlja mjerenjem dobiveni podatak o trajanju operacije rastavljanja, koje se mogu podijeliti u dvije osnovne skupine: rastavljanje spojeva (v_{kl}), te

odvajanje i odlaganje dijelova (v_i). Tome treba dodati pripremno-završno vrijeme (v_{pz}) rastavljanja.

Vrijeme rastavljanja i odvajanja dijelova je važan pokazatelj koji upućuje na isplativost recikliranja, ali i na druge aspekte recikliranja (npr. organizaciju rada, odvajanje dijelova koji sadrže opasne tvari).

Jednako kao kod vrsta materijala i kod rastavljanja je potrebno napraviti popis tipskih operacija i zahvata kako bi se izbjegle nejasnoće ili preklapanja (recimo da jedna operacija ima više naziva ili obrnuto).

Recikličnost elementa, r_i , je pokazatelj kojim se procjenjuje recikličnost (prikladnost preradi) za pojedine dijelove, odnosno za teško rastavljive sklopove. Iako se ovakvom pristupu može prigovoriti da je subjektivan, on nije rijetkost u ocjeni prikladnosti materijala preradi klasičnim tehnologijama (zavarivost, livljivost, rezljivost i dr.). Od ocjenjivača se očekuje poznavanje raspoložive tehnologije recikliranja. Kao pomoć se koristi tablica za ocjenjivanje (ponderiranje) recikličnosti (**tablica 1**), a predstavlja prilagođeni oblik koja se koristi kod ocjenjivanja recikličnosti automobila [10]. Ocjene su brojčane, a veći broj označava veću prikladnost recikliranju. Opasnom je otpadu pridružena ocjena 0 iako bi se mogla pridružiti i negativna vrijednost jer predstavlja trošak prerade, u pravilu lišen dobiti.

Tablica 1. Kriteriji ocjenjivanja recikličnosti materijala

Ocjena reci-kličnosti, r_i	Opis kriterija
0	dio ili sklop koji sadrži opasne tvari, zahtijeva posebno postupanje
1	materijal s nepoznatom tehnologijom recikliranja
2	organski materijal, može se koristiti kao izvor energije, ali se ne može reciklirati
3	materijal je tehnološki moguće reciklirati, ali to zahtijeva dodatnu obradu te razvoj postojećih procesa i materijala
4	materijal se tehnološki može reciklirati, ali oprema nije dostupna
5	materijal je recikličan, postupak recikliranja poznat i uspješno se primjenjuje

Dobra strana ovakvog ocjenjivanja recikličnosti je uvažavanje tehnološke razine recikliranja u toj sredini. To znači da će isti proizvod u razvijenijoj sredini imati veći stupanj recikličnosti (preradivosti i iskoristivosti), a u manje razvijenoj zemlji niži stupanj. Pronalaženjem novih postupaka, odnosno razvojem tehnologije recikliranja raste stupanj recikličnosti.

2.2. Složeni pokazatelji

Druga faza primjene modela predstavlja sintezu elementarnih pokazatelja. Model daje izraze za računanje složenih pokazatelja koji se odnose na razinu proizvoda. To su:

Broj elemenata, B , je ukupan broj elemenata nekog proizvoda. S gledišta složenosti rastavljanja (dakle i troškova) je poželjno da broj elemenata bude što manji.

Ukupna masa proizvoda, M , predstavlja sumu masa pojedinačnih elemenata, a može se dobiti vaganjem sklopa ili zbrajanjem masa elemenata. Ovaj je pokazatelj od pomoći u situacijama

kada dva različita proizvoda imaju isti pokazatelj recikličnosti proizvoda (R). U tom slučaju proizvod veće mase ima veći ponder (npr. veću financijsku dobit od recikliranja).

Broj vrsta materijala/komponenti po proizvodu, B_{vm} , mjera je raznovrsnosti materijala u odbačenom proizvodu. S gledišta prikladnosti recikliranju materijala teži se što manjem broju različitih vrsta materijala (niži troškovi, veća čistoća). Inkompatibilnost materijala u smislu recikliranja (nerastavljivi spoj različitih materijala koji su postupku dobivanja materijala nesnošljivi) je neka vrsta mjere nesavršenosti raspoloživih postupaka recikliranja [11], a osobito propusta u izboru materijala, dakle konstrukcijskoj izvedbi.

Ukupno vrijeme rastavljanja proizvoda, VR, se određuje zbrajanjem pojedinih operacija rastavljanja, prema izrazu

$$VR = \sum_{i=1}^n v_i + \sum_{k=1}^g \sum_{l=1}^h v_{kl} + v_{pz} \quad (1)$$

gdje je

v_i vrijeme odvajanja i odlaganja i-tog dijela, s

i oznaka dijela, 1...n

v_{kl} vrijeme rastavljanja l-te veze k-tog spoja, s

k oznaka spoja, 1...g

l oznaka veze, 1...h

v_{pz} pripremno-završno vrijeme, s

Recikličnosti proizvoda, R, je složeni pokazatelj koji se računa prema izrazu

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i \cdot m_i \cdot r_i}{M \cdot r_{max}} \quad (2)$$

gdje je:

b_i broj ponavljanja i-tog dijela u proizvodu

m_i masa i-tog dijela, kg

r_i ocjena recikličnosti i-tog dijela

r_{max} najveća ocjena recikličnosti, koja ovdje iznosi 5

M ukupna masa proizvoda, kg

To je ključni pokazatelj mogućnosti materijalne iskoristivosti dotrajalog proizvoda. Izračunava se kao omjer sume recikličnosti dijelova ponderiranih masom u odnosu na maksimalnu recikličnost proizvoda. Radi se o bezdimenzionalnom pokazatelju, čiji se iznos kreće od 0 do 1. Pokazatelj se može koristiti i za pojedine sklopove, odnosno module.

8. PRIMJENA MODELA NA UZORKU ELEKTROPROIZVODA

Model je testiran na uzorku od 25 proizvoda mahom dotrajalih električnih kućanskih aparata, odnosno računalne opreme [8]. Elektroproizvodi su odabrani jer njihovo zbrinjavanje ima slijedeće specifičnosti:

- pokazuju veliki porast potrošnje (dakle i odbacivanja),
- lako se prepoznaju i odvajaju,
- postoji tendencija smanjenja veličine proizvoda što može otežati recikliranje,
- sadrži opasne i štetne tvari.

Tablica 2 prikazuje elementarne pokazatelje na primjeru sušilice za kosu. Potrebna računanja olakšava programska podrška napravljena u MS Excelu. Prema zbirnim podacima u posljednje dvije kolone izračunava se recikličnost proizvoda prema izrazu (2), odnosno u ovom slučaju.

$$R = \frac{1533,7}{553,6 * 5} = 0,55$$

Tablica 2. Elementarni pokazatelji recikličnosti na primjeru sušilice za kosu

Redni broj	Naziv elementa	Vrsta elementa (SE, PE, SK)	Vrsta materijala	Masa elementa	Komada po proizvodu	Stupanj recikličnosti	Masa elemenata (5x6)	Recikličnost elementa (8x9)
i			vm_i	g/kom m_i	kom b_i	0.5 r_i	grama $m_i \cdot b_i$	$m_i \cdot b_i \cdot r_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	POKLOPAC VENTILATORA	PE	PLASTIKA	29,2	1	2	29,2	58,4
2	ZAŠTITNI USMJERIVAČ ZRAKA	PE	PLASTIKA	24,2	1	2	24,2	48,4
3	KLIZAČ KONTAKTA	PE	PLASTIKA	2,3	2	2	4,6	9,2
4	POKLOPAC KUČIŠTA	SE	PLASTIKA	25,5	1	2	25,5	51,0
5	LIJEVO KUČIŠTE	SE	PLASTIKA	43,9	1	2	43,9	87,8
6	DESNO KUČIŠTE	SE	PLASTIKA	49,7	1	2	49,7	99,4
7	GUMENI ODBOJNIK	PE	GUMA	2,3	2	2	4,6	9,2
8	OTISNIK KLIZAČA	PE	PLASTIKA	0,8	2	2	1,6	3,2
9	VIJCI 4 x 8	SE	ŽELJEZO	2,9	6	5	17,4	87,0
10	KUČIŠTE USMJERIVAČA ZRAKA	PE	PLASTIKA	84,9	1	2	84,9	169,8
11	MIKAMIT PAPIR	PE	MIKA PAPIR	8,2	1	2	8,2	16,4
12	GRIJAČ	SE	ŽELJEZO	5,2	1	5	5,2	26,0
13	OTPORNA ŽICA	PE	ŽELJEZO	10,3	1	5	10,3	51,5
14	PLETENI STAKLENI VRPČA	PE	STAKLO	1,8	1	2	1,8	3,6
15	NOSAČ OD MIKAMITA	SK	MIKA KARTON	21,9	1	2	21,9	43,8
16	NAPONSKI KABEL	SK	CU+PLASTIKA	100,2	1	4	100,2	400,8

XIII. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2014.
13th INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM ZAGREB 2014.

17	UVODNIK KABELA	PE	GUMA	3,7	1	2	3,7	7,4
18	ELISA VENTILATORA	PE	PLASTIKA	3,9	1	2	3,9	7,8
19	NOSAČ EL. MOTORA	PE	PLASTIKA	20,6	1	2	20,6	41,2
20	EL. MOTOR	SK	METAL+PLASTIKA	64,5	1	4	64,5	258,0
21	VIJAK 2.5 x 5	SE	ŽELJEZO	0,25	2	5	0,5	2,5
22	VODIČI RAZNI	SK	CU+PLASTIKA	13,6	1	1	13,6	13,6
23	KONDENZATOR 0.1mikro F	PE	METAL+PLASTIKA	1,6	1	0	1,6	0,0
24	PREKIDAČ	PE	METAL+PLASTIKA	6	2	4	12,0	48,0
					34		553,6	1533,7

Tablica 3. Zbirni pregled složenih pokazatelja recikličnosti za odabrane proizvode

Naziv proizvoda	Oznaka proizvoda	Masa, M, kg	Broj dijelova, B	Broj vrsta materijala/komponenti, B _{vm}	Vrijeme rastavljanja, VR, s	Recikličnost, R
Aparat za kavu (10)	AK10	1,59	64	6	269	0,7
Glačalo (4)	S4	1,37	46	4	174	0,75
Glačalo Ideal Končar (8)	S8	1,16	57	3	185	0,82
Mikser (22)	MK22	0,92	38	3	96	0,58
Mlinac za kavu (7)	ML7	0,7	40	5	125	0,6
Mlinac za kavu First (6)	MK6	0,6	17	3	72	0,55
Mlinac za kavu Gorenje (5)	MK5	0,61	31	3	86	0,62
Mouse Genius (25)	M25	0,13	13	5	18	0,83
Mouse Genius (9)	M9	0,12	13	5	15	0,81
Mouse Outsider (26)	M26	0,11	12	3	24	0,53
Osobno računalo (15)	OR15	16,12	51	3	125	0,74
Pisač (13)	P13	3,38	112	6	278	0,64
Pisač Seikosha SP-1900 (23)	P23	3,31	30	5	170	0,76
Sušilica za kosu ISKRA (1)	SK11	0,45	22	3	50	0,59
Sušilica za kosu ISKRA (11)	SK11	0,52	50	4	84	0,68
Sušilica za kosu ISKRA (2)	SK2	0,59	25	4	66	0,54
Sušilica za kosu WIGO (3)	SK3	0,69	19	3	194	0,58
Telefon ISKOM 80 (21)	T21	0,86	25	3	48	0,63
Telefon ISKRA (12)	T12	0,9	95	5	289	0,64
Telefon Iskra ETA (17)	T17	0,71	33	4	120	0,59
Telefon Iskra ETA851 (19)	T19	0,74	24	4	46	0,47
Telefon Iskra ETA865 (20)	T20	0,76	24	4	54	0,45

Telefon Panasonic KX-T7030 (18)	T18	0,85	59	4	78	0,28
Telefon Panasonic (16)	T16	0,82	50	4	92	0,36
Tipkovnica (14)	T114	1,34	247	4	393	0,63
Tipkovnica Atari (24)	T124	1,23	218	4	350	0,39

Slabu recikličnost treba pripisati velikom udjelu složenih materijala (što otežava recikliranje) i velikom udjelu neoznačenih polimera. Vrijeme rastavljanja se računa u zasebnoj tablici, što je detaljnije opisano u [8].

Složeni pokazatelji za ostale promatrane proizvode prikazani su u zbirnoj tablici rezultata (tablica 3). Vidljivo je kako se recikličnost (R) najčešće nalazi u rasponu od 0,40 do 0,70 što se može dobrim dijelom pripisati starijoj generaciji proizvoda, kada se recikličnost kao zahtjev slabo uvažavala. Najnižu recikličnost 0,28 ima dotrajali telefon Panasonic KX-T7030 (T18). Razlog tome je veliki udjel neoznačenih polimera (54% maseno) i tiskanih pločica s elektroničkim elementima (23% maseno) koji imaju niske ocjene recikličnosti. Kada bi se uvele oznake za vrstu polimera samo za dijelove mase veće od 100 g, recikličnost bi porasla na 0,43 (što je porast od 50%). Visoku recikličnost od 0,82 pokazuje proizvod označen kao S8 (glačalo Končar). Objašnjenje se temelji na velikom udjelu željeza (preko 50%).

Povoljnim se ishodom recikličnosti mogu smatrati vrijednosti od 0,75 do 1,00. Vrijednosti od 0,50 do 0,74 upućuju na potrebu rekonstrukcije proizvoda ili selektivnog rastavljanja (odvajanja ili slaborecikličnih ili vrsnorecikličnih komponenti). Vrijednosti ispod 0,50 upućuju na down-cycling postupke (niža kvaliteta reciklata) ili odlaganje. U tumačenju brožanih vrijednosti recikličnosti treba biti oprezan jer model ne uzima u obzir ostale važne aspekte preradbe (troškove, vrijeme rastavljanja, opterećenje okoliša i dr.). U tome smislu dobivene vrijednosti recikličnosti treba prihvaćati kao svojevrsni potencijal preradivosti proizvoda. Pretpostavimo da dva proizvoda imaju istu recikličnost, npr. 0,82. U tom slučaju je prikladniji onaj s kraćim vremenom rastavljanja. Vrijeme rastavljanja nije namjerno uključeno u model jer bi se u protivnom iz razmatranja izuzela varijanta mehaničkog usitnjavanja proizvoda i razvrstavanja komponenti, stoga što u tom slučaju nema rastavljanja, bar ne u klasičnom smislu.

Model je moguće poboljšati pridruživanjem baza podataka o postupcima recikliranja s karakteristikama primjene, te o recikličnosti po vrstama materijala, odnosno komponentama proizvoda. Daljnje usavršavanje modela je u tijeku.

9. ZAKLJUČAK

Opisani model na jednostavan način omogućava brojčano iskazivanje potencijala materijalnog iskorištenja dotrajalog proizvoda. Kao mogući nedostatak ovakvog načina vrednovanja recikličnosti se može smatrati subjektivnost kod ocjenjivanja recikličnosti pojedinih dijelova. Pretpostavlja se kako će metodu koristiti stručna osoba koja poznaje tehnologije recikliranja.

U određenom prostoru (zemljopisnom, gospodarskom i sl.) model se može uspješno koristiti za vrednovanje recikličnosti različitih proizvoda, na temelju kojih se mogu poduzeti odluke o načinu recikliranja. Može se reći da je model prikladniji za različite proizvode u istoj sredini, nego za iste proizvode u različitim sredinama.

10. LITERATURA

- [1] WENDE, «Integration der recyclingorientierten Produktgestaltung in den methodischen Kunstructproceesse», VDI Fortschrittsberichte Reihe1., Düsseldorf, VDI Verlag, 1994.
- [2] * *, «Recycling-Handbuch: Strategie – Technologie – Produkte», Düsseldorf, VDI-Verlag, 1996.
- [3] M. ROSE, K. A. BEITER, K. ISHII, K. MASUI, «Characterization of Product End of Life Strategies to Enhance Recyclability», ASME Design for Manufacturing Symposium, Atlanta, 1998., ASME Paper98-DETC/DFM-5742
- [4] S. MATTHEWS, C. HENDRICKSON, F. MICHAEL, D. J. HART, « Dispo-sition and End-of-Life Options for Products: A Green Design Case Study» 1999. <http://gdi.ce.cmu.edu/education.html>
- [5] * *, Automobil Recycling Case Study Overview; <http://srl.marc.gatech.edu/education/Recycle/Overview.html>
- [6] * *, «Ecodesign Navigator - Metrics and Targets», <http://sun1.mpce.stu.mmu.ac.uk/pages/projects/dfe/deeds/ecodnavi/toolbox/priorits/metrics.html>
- [7] S. ONUKI, «Design Aimed at Recycle for Printer and FAX/MFP», OKI Technical Review 64(1998)161 (<http://www.oki.co.jp/otr-161-04.html>)
- [8] PINTARIĆ, «Prilog razvoju metoda vrednovanja recikličnosti materijala i proizvoda», Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
- [9] * *, United States Environmental Protection Agency, «Remanufactured pro-ducts: good as new», EPA530-N-002, 1997.
- [10] S. L. COULTER, B. BRAS, G. WINSLOW, S. YESTER, «Designing for Material Separation: Lessons from the Automotive Recycling», ASME Design for Manufacturing Symposium, Irvine, California, 1996.
- [11] K. ISHII, «Material Selection Issues in Design for Recyclability», Proc. of the ASME Design Theory and Methodology Conference, Albuquerque, New Mexico, 1995., ASME DE-Vol. 53.

ZBRINJAVANJE NEMETALNE KOMPONENTE TISKANIH PLOČICA

DISPOSAL OF NON-METALLIC COMPONENTS OF PRINTED CIRCUIT BOARDS

**Doc. dr. sc. Aleksandra Anić Vučinić¹; doc. dr. sc. Dinko Vujević¹;
mr. sc. Vitomir Premur^{1*}; Ivana Melnjak¹, mag. ing. geoling.;
Dario Canjuga¹, bacc. ing. geoling.**

¹ Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hallerova aleja 7, Varaždin

*e-mail kontakt: vitomir. premur@gfv.hr

SAŽETAK

Tiskane pločice (TP) predstavljaju 3 do 5% mase EE otpada, ali su ujedno njegov najsloženiji dio, s najvrijednijim ali i najopasnijim komponentama. Tehnologija recikliranja TP-a s ciljem iskorištavanja vrijednih metala je usvojena, no zbog složenosti procesa, ograničeno se primjenjuje. Približno 70% mase TP-a predstavlja nemetalna komponenta (NMF) odnosno plastika, keramika, staklo i slično bez tržišne vrijednosti. Procjenjuje se da u RH godišnje nastane između 350 i 600 t NMF-e. Zbog sastava i sadržaja štetnih spojeva i elemenata opasni je otpad, koji se u nerazvijenim zemljama uglavnom odlaže, dok ga razvijene spaljuju uz znatne troškove.

Rad se bavi ispitivanjem postupka, koji koriste NMF kao sirovinu u proizvodnji betona. Uz kratki pregled zbrinjavanja TP-a i NMF-e, u radu se daje i pregled dosadašnjih svjetskih iskustva u zbrinjavanju NMF inkapsuliranjem u beton ili cement. U radu su prikazani i dobiveni rezultati istraživanja - laboratorijska ispitivanja čvrstoće betona s NMF-om kao punilom. U ispitivanjima se 5% mineralnog agregata supstituiralo NMF-om različite granulacije te se ispitala tlačna čvrstoća kocki starih 7 odnosno 28 dana. Temeljem dobivenih rezultata dane su smjernice za nastavak ispitivanja s ciljem korištenja NMF-a kao repromaterijala.

Učinkovitost inkapsuliranja štetnih tvari određena je ispitivanjem eluata u standardnim uvjetima.

Ključne riječi: tiskane pločice, nemetalna komponenta, beton

ABSTRACT

Printed circuit boards (PCB) represent 3 to 5% by weight of WEEE and are also its most complex part with the most valuable and the most dangerous components at the same time. Recycling technology of PCBs is adopted in order to exploit valuable materials, but due to the process complexity, technology is limited in application. Approximately 70% by weight of PCBs is non-metal fraction (NMF) which includes plastic, ceramics, glass and similar materials without market value. It is estimated that in Republic of Croatia arises between 350 and 600 tons of NMF on annual basis. Due to its composition and content of hazardous components NMF is hazardous waste that is mostly disposed in undeveloped countries, while developed countries incinerate it at significant costs.

This paper deals with investigation of procedures which use NMF as raw material in concrete production. With a brief overview on disposal of PCBs and NMF, in this paper also is given overview on current experiences in disposal of NMF by encapsulation in concrete or cement. The paper presents the results of laboratory studies on strength of concrete with NMF as filler. In the studies 5% of mineral

aggregate was substituted with NMF of different granulation and was tested on compressive strength of cubes aged 7 and 28 days. Based on the obtained results, guidance for continuation of studies with the aim of using NMF as raw material is given.

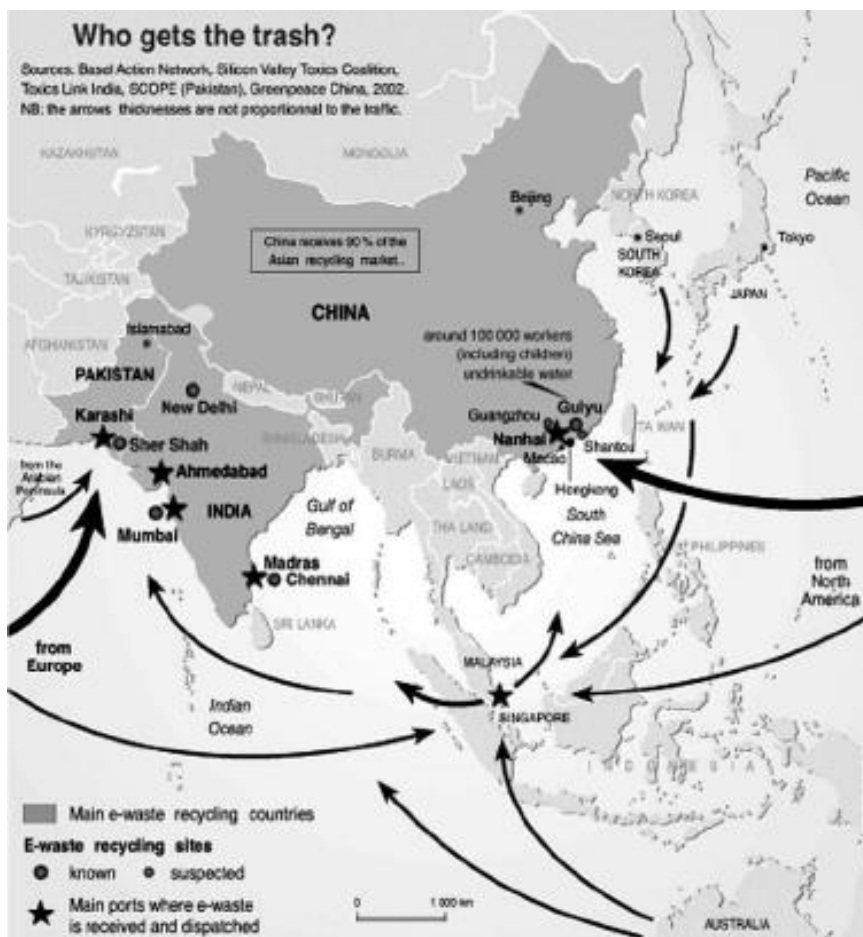
Encapsulation efficiency of the harmful substances was determined by testing the leachate in the standard conditions.

Keywords: printed circuit boards, non-metal fraction, concrete

1. UVOD

Procjenjuje se da diljem svijeta godišnje nastaje od 20 do 50 milijuna tona EE otpada, što predstavlja od 1 do 2% mase komunalnog otpada s od 2 do 3 puta bržim trendom rasta[20]. U Europi nastaje od 6,5 mil.t do 12 mil.t EE otpada, odnosno cca 8% mase komunalnog otpada s godišnjim trendom rasta od 4% do 5%[15]. Na tržište Republike Hrvatske u 2012. godini stavljeno je 39.663,17 t EE opreme, a sakupljeno 16.186,83 t EE otpada[1].

Načini zbrinjavanja EE otpada, kako u svijetu, tako i u Europi nisu na zadovoljavajućoj razini. Najveće količine EE otpada zbrinjavaju se u Kini, Indiji, Istočnoj Africi (sl. 1.) na vrlo niskoj tehnološkoj razini (sl.2.), uz ogromna zagađenja okoliša[23] (Sl. 1. i 2.).



Slika 1. Tokovi EE otpada[12]



Slika 2. Zbrinjavanje EE otpada u nerazvijenim zemljama[12],

TP-e su neizbježni dio EE opreme i čine od oko 3% do 6% njene mase[25]. Služe kao nosač svih pasivnih i aktivnih komponenti te ih povezuju u cjeloviti elektronički sklop s tankim slojem bakrenog vodiča (sl. 3). Heterogenog su sastava (sadrže metale, organski materijal, staklena vlakna i dr.) što otežava proces recikliranja. Sadržaj vrijednih metala trenutno je glavni motiv njihove obrade. Sadržaj korisne frakcije (uglavnom metalne frakcije, MF) izrazito varira ovisno o autorima i uzorkovanju[8,19,26,5] i glavni je motiv njihove obrade. Uz Au i Pd, najveću vrijednost predstavlja Cu koji čini od 16% do 27% mase TP[9,24], odnosno koncentracija mu je i do 30 puta veća nego u rudama.



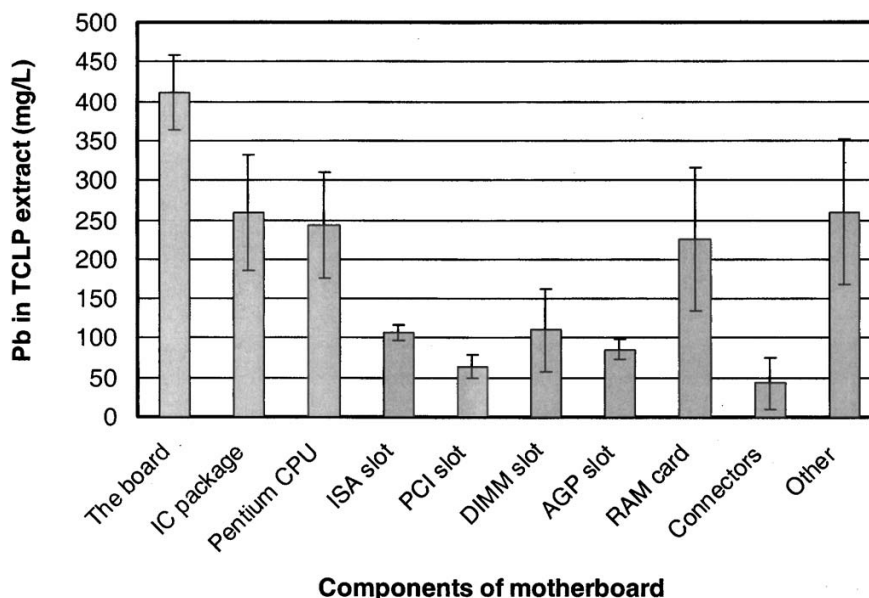
Slika 3. Očišćena i kompletna TP

Tab. 1. Neki podaci o izvorima, odlaganju, uporabi i raspodjeli EE otpada u svijetu za 2005. / 2010. god., [29]

Država, regija	God. Proizvodnja mil.t	Zbrinjavanje mil.t	Recikliranje mil.t	Izvoz mil.t	Uvoz mil.t
SAD	8,40	5,70	0,42	2,30	-
EU25	8,90	1,40	5,90	1,60	-
Japan	4,00	0,60	2,80	0,59	-
Kina	5,70	4,10	4,20	-	2,60
Indija	0,66	0,95	0,68	-	0,97
Zapadna Afrika	0,07	0,47	0,21	-	0,61

TP obrađuju se predtretmanom, najčešće rastavljanjem, mehaničkom obradom, usitnjavanjem i koncentracijom u el. polju. Na kaju metalne komponente tretiraju se pirometalurškim, hidrometalurškim, ili biotehnološkim procesima.

Nakon standardnih postupaka obrade TP-a, ostaje približno 70% otpadne nemetalne frakcije (NMF) [11] koja predstavlja opasni otpad[3,18,13,6] i neophodno ju je adekvatno zbrinuti. Nui i dr. [18], ispitivali su topljivost teških metala sa TP i različitih komponenti i ustanovili da je Pb nositelj ekotoksičnosti TP, neovisno da li se radi o kompletnim ili očišćenim TP. Izluživanjem se može osloboditi i do 50% Pb koje sadrže, a koncentracije u eluatu veće su od 30 do 100 puta od dozvoljenih granica (sl.4.). Oslobođenje ostalih teških metala izluživanjem zabilježeno je u po okoliš neškodljivim količinama.



Slika 4. Ličing test. olova [26]: The Board-matična ploča, IC package –Integrirani sklop, pentium CPU -procesor,ISA slot- Standardizirani slotovi, PCI slot-slot za periferne komponente,DIMM slot- slot za memotiju, AGP slot- Slot video kartice, RAM card– radna memorije, Connectors- konektori, Othet-ostalo

U najvećoj mjeri radi se o kompozitnom materijalu vitroplastu, pertinaksu i njima sličnim materijalima koji se sastoje od termostabilnih epoksidnih ili poliesterskih smola i armature od staklenog ili pamučnog pletiva (tab. 2.).

Tab. 2. Sastav NMF tiskanih pločica[22]

Komponenta	Udio komponente (% mase)
Stakleni prepreg	30-45
Epoksidne smole	35-40
Punilo	5
Razni nemetali	15-30

Iskorištavanje NMF-e uglavnom je samo djelomično riješeno. Najčešće se zbrinjava spaljivanjem ili odlaganjem[25,9]. Spaljivanjem se oslobađaju i vrlo toksični polimerizirani dibenzodioksini i dibenzofurani, dok se njihovim odlaganjem podzemne vode i tlo ugrožavaju teškim metalima i usporivačima gorenja na bazi broma[25]. Iz navedenih razloga nužno je razvijanje ekonomski opravdanih i za okoliš prihvatljivih procesa recikliranja NMF-e.

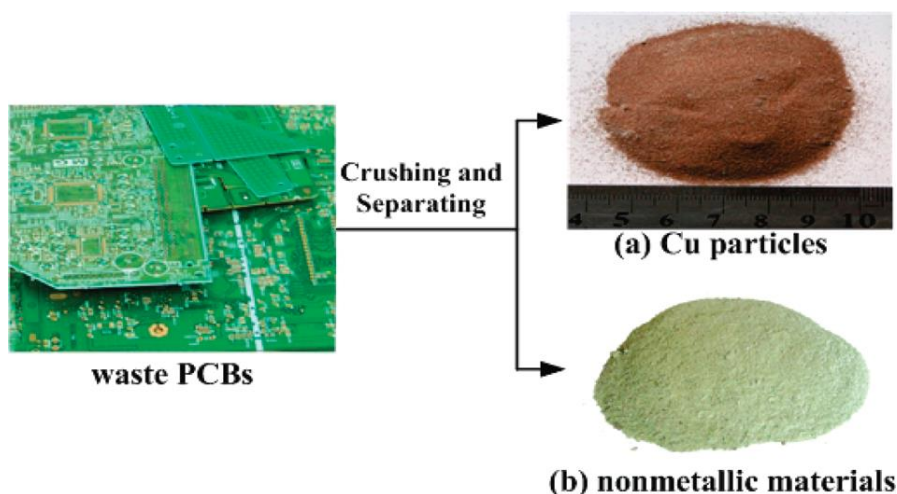
Na očišćenim TP s kojih su odstranjene elektroničke komponente još uvijek se nalazi više od 20% metala. Iako dominiraju Cu, Al Sn, Pb i Ni, značajne su i količine plemenitih metala koje možemo naći u očišćenim TP. Stoga se i očišćene TP podvrgavaju procesima odvajanja metalne frakcije, nakon čega preostane NMF u obliku praha (sl. 5.). Sastav praha NMF nakon obrade prikazan je u tablici 5.

Tablica 3. Sastav praha NMF nakon obrade[28]

Uzorak	Nemetali	Udio Cu (%)	Udio staklenih vlakana (%)	Udio smola i ostalog (%)
1	Sitni	1,64	71,50	26,86
2	Srednje	1,05	55,50	43,45
3	Krupno	0,48	46,00	53,52

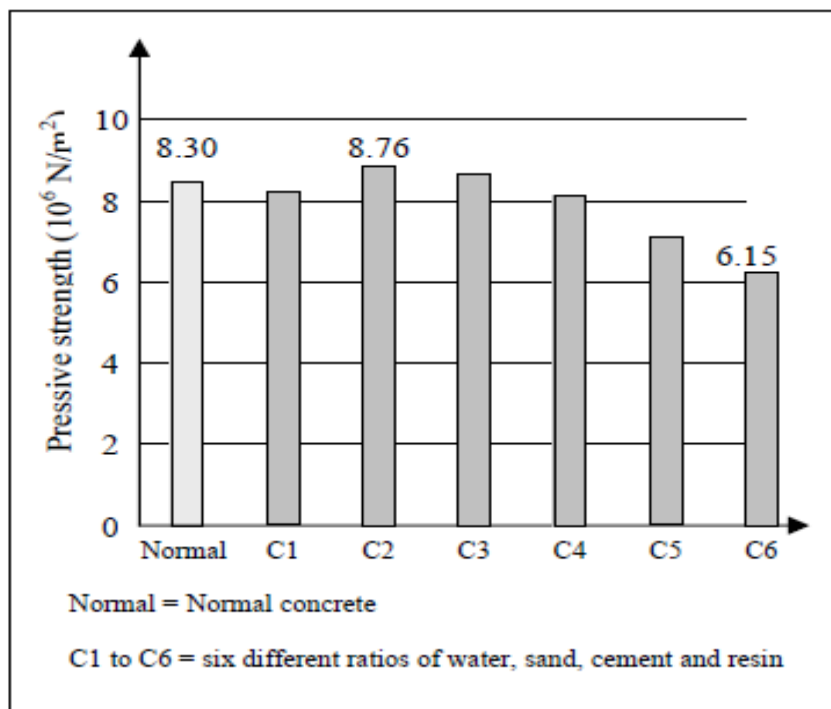
U prošlosti NMF zbrinjavala se odlaganjem ili spaljivanjem. Oba postupka imaju prouzrokuju onečišćenja okoliša, spaljivanjem emisijom polibromiranih dibenzodioxina, i dibenzofurana, dok se odlaganjem onečišćuju podzemne vode teškim metalima i retardantima gorenja na bazi broma (tetrabrombysphenol).

Provedena su brojna ispitivanja mogućnosti uporabe, no uglavnom na znanstvenoj i eksperimentalnoj razini. Ispituje se i mogućnost obrade NMF-a pirolitičkim procesima [27], procesima rasplinjavanja, depolimerizacije u superkritičnim uvjetima te korištenjem kao adsorbensa u procesu pročišćavanja otpadnih voda [2,14], kao punila u termostabilnim i termoplastičnim masama [16], modifikatora za viskoelastične materijale te kao punila u proizvodnji betona [4].



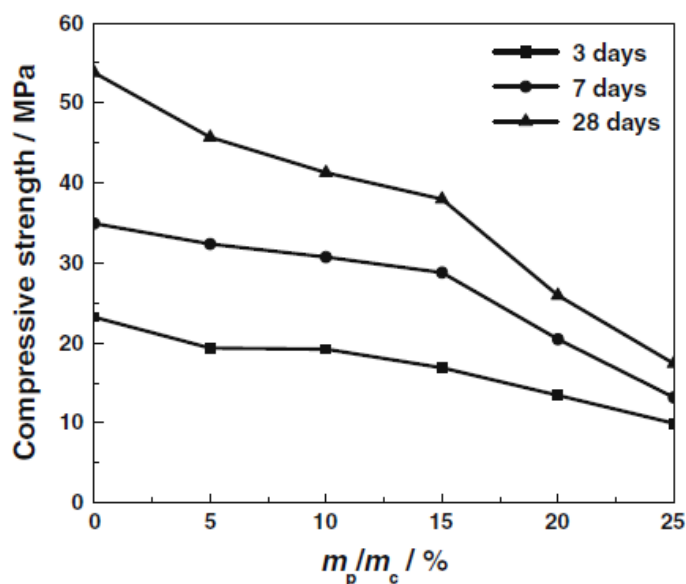
Slika 5. (a) metalna frakcija, (b) NMF[10]

Ispitivanja utjecaja raznih vrsta otpadnih plastičnih na svojstva svježeg i očvrstnalog betona istraživali su Sidique i dr. [21]. Ustanovili su da se ugradnjom plastičnih masa mogu i poboljšati neka svojstva svježeg te parametri čvrstoće očvrstnalog betona. Niu i Li [18] ugrađivali su izrezane komade NMF-e TP u betonska probna tijela te uspjeli dobiti beton vrlo dobrih mehaničkih svojstava, uz gotovo potpuno inkapsuliranje teških metala. Mou i dr [17] potvrdili su da se umješavanjem NMF-e TP može spraviti beton dobrih mehaničkih svojstava uz adekvatan omjer bitnih sastojaka (sl. 6).



Slika 6. Tlačne čvrstoće betona spravljenog sa NMF-om TP[7]

Wang i dr. [24] izradili su probna tijela u obliku prizmi dimenzija 4x4x16 cm umješavanjem praha od NMF-e TP. Izrađivao je probna tijela s približno 22,5% cementa i variranjem udjela NMF-e u punilu u rasponu od 0% do 4,68%. Ispitivanjima je došao do saznanja da se s povećanjem udjela NMF-e smanjuju zapreminska težina te tlačna i vlačna čvrstoća ispitnih tijela (sl. 7.).



Slika 7. Tlačna čvrstoća betona spravljenog uz dodatak NMF-e TP[25]

Anić-Vučinić i dr. [2] ispitivali su tekođer tlačnu čvrstoću betona na kockama dimenzija 10x10x10cm uz supstituciju punila NMF-om TP u udjelu od 0%; 5% i 10%, te dobili rezultate koji potvrđuju smanjenje tlačne čvrstoće i zapreminske težine. Ujedno je provedbom postupka izluživanja utvrđeno da se u betonu inkapsulira znatni udio teških metala.

2. MATERIJAL I POSTUPAK

U pripremi uzoraka, a radi lakše usporedbe rezultata, korištena su punila, vezivo te dodatak, istovjetni onima koji se koriste u komercijalnoj proizvodnji opločnika. Omjerima sastojaka betona pokušalo se u najvećoj mjeri približiti omjerima koji se koriste u industrijskoj proizvodnji opločnika.

Kao mineralno punilo korišteni su slijedeći agregati:

- Prirodni pijesak klase -4 mm šljunčare Hrastovljan
- Prirodni pijesak klase 8/4 mm šljunčare Hrastovljan

Vezivo:

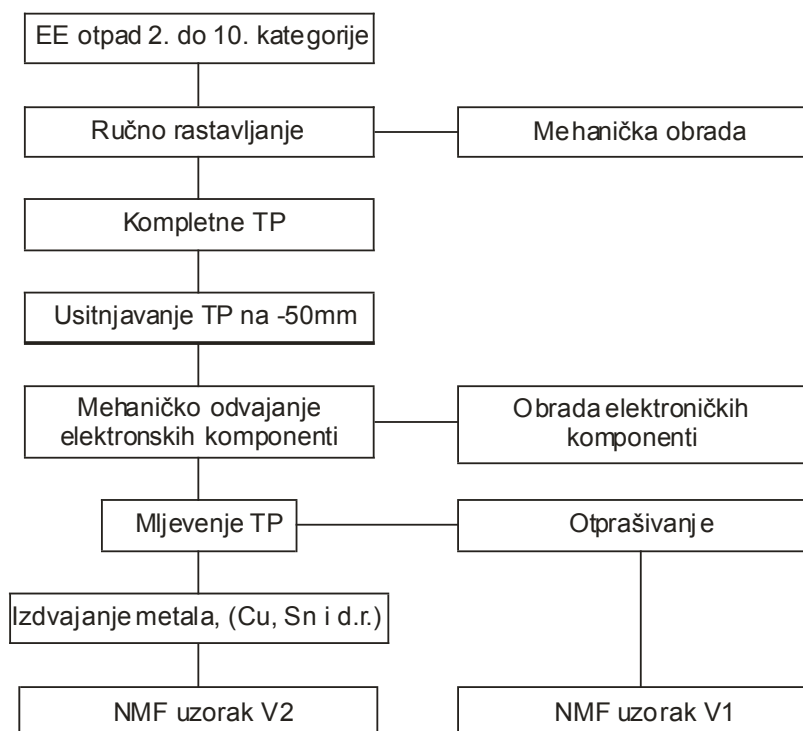
- Cement 42,5 N Nexa – Našicecement d.d.

Dodatak:

- Dodatak za hidrofobnost komercijalnog naziva Wetmix

Uzorci NMF V1 i V2 predstavljaju cjelokupnu proizvodnju jedne šarže obrade TP u pilot postrojenju tvrtke SPECTRA-MEDIA d.o.o. u Bistri (slika 8.). Uzorak V1 predstavlja sitniju NMF-u izdvojenu otprašivanjem prilikom usitnjavanja, a uzorak V2 usitnjenu NMF-u oslobođenu metalne komponente i nakon odvajanja metala (sl. 9.).

Na uzorcima V1 i V2 određen je gubitak žarenjem na 815OC u trajanju od 2 sata (tab. 4.). Granulometrijski sastav uzoraka NMF-e i punila (sl.10.) određen je suhim sijanjem na sitima s pletenom prosječnom površinom, kvadratnih otvora [7].



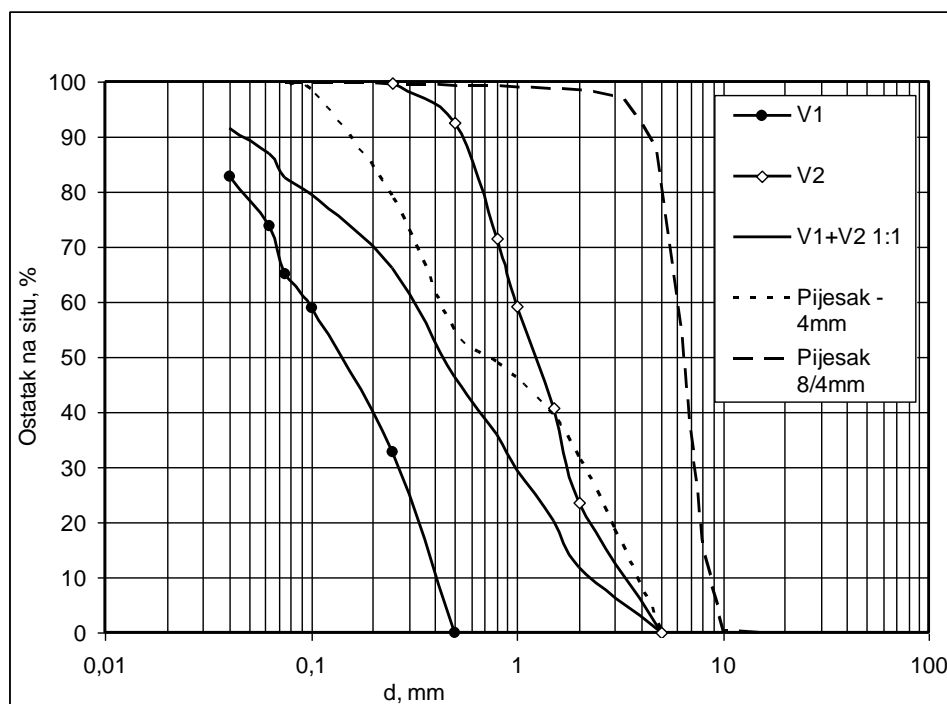
Slika 8. Tehnološka shema dobivanja uzoraka V1 i V2



Slika 9 Uzorci NMF-e V1 i V2

Tablica 4. Rezultati određivanja sagorivog u uzorcima NMF

Uzorak	*g.ž., %	Sred. g.ž., %
V1	29,31	29,99
	30,67	
V2	83,14	82,98
	82,81	



Slika 10. Granulometrijski sastav uzoraka NMF

3. POSTUPAK

Utjecaj granulometrijskog sastava na čvrstoću betona spravljenog s usitnjenom NMF-om TP određen je ispitivanjem tlapčne čvrstoće kocki brida 10,0 cm. Beton je spravljen prema recepturi kojom se oponaša receptura za izradu opločnika (tab. 5). s tim da je 5% mineralnog punila supstituirano NMF-om TP. U uzorku A korištena je sitnija klasa NMF označena sa V1, a u uzorku B, krupnija klasa NMF oznake V2 (sl. 11.). Probna tijela izrađena su i ispitana u Laboratoriju za oplemenjivanje i ispitivanje mineralnih sirovina Geotehničkog fakulteta u Varaždinu.

Izrada probnih tijela:

Probna tijela izrađena su u skladu s EN 12390-2:2009: Ispitivanje očvrstnuloaga betona – 2.dio: Izrada i njega ispitnih uzoraka za ispitivanje čvrstoća. U skladu s točkom 5. Norme sabijanje je obavljeno na vibrostolu frekvencije 50Hz i amplitude 0,3 mm u trajanju od 60 s. Uzorci su njegovani na zraku zasićenom vodenom parom pri temperaturi od 200C.

Od recepture koja se primjenjuje za za industrijsku proizvodnjuopločnika odstupilo se jedino u odnosu vode i cementa (vodocementni faktor w/c). Zbog laboratorijskih uvjeta nije se mogla postići ugradiva smjesa uz vodocementni faktor 0,35 te je u laboratorijskim uvjetima korišten vodocementni faktor w/c =0,6.

Načinjena su probna tijela bez NMF-e da bi se dobio referentni uzorak, tijela u kojima se 5% mineralnog punila zamjenilo sa sitnijom NMF-om (V1), tijela s 5% NMF-e u punilu i probna tijela u kojima se 5% punila sastojalo od mješavine NMF V1 i V2 u odnosu 1:1.

Tablica 5. Receptura za laboratorijsku pripremu ispitnih uzoraka

Udio NMF u punilu, %	0		5	
Komponenta	%	g	%	g
NMF	0,0	0,0	4,3	102,0
-4 – miješano	39,0	936,0	37,1	889,2
8/4 – miješano –	46,0	1104,0	43,7	1048,8
Cement 42,5 N Nexe	15,0	360,0	15,0	360,0
UKUPNO ČVRSTO	100,0	2400,0	100,0	2400,0
W/C, voda	0,6	216,0	0,6	216,0
Wetmix – (1% cementa)		3,6		3,6
UKUPNA MASA		2619,6		2619,6



Slika 11. Sirovine korištene za izradu probnih tijela



Slika 12. Miješanje betonske smjese

Ispitivanje tlačne čvrstoće

Tlačna čvrstoća probnih tijela određena je nakon 7 odnosno 28 dana stvrdnjavanja u skladu s normom EN 12390-3:2009: Ispitivanje očvrsnuloga betona – 3.dio: Tlačna čvrstoća ispitnih uzoraka. Obavljeno je hidrauličkom prešom ZRMK Ljubljana, mjernog područja 400 kN odnosno 150 kN, podatka očitavanja 0,5 kN (sl. 14). Tlačna čvrstoća označava se kao $f_{ck,cube}$ i za kocke brida 100 mm iznosi 90% čvrstoće kocki brida 200 mm odnosno 120% čvrstoće valjka, $f_{ck,cyl}$, baze 150 mm i visine 300 mm.



Slika 13. Ispitivanje tlačne čvrstoće

4. REZULTATI S DISKUSIJOM

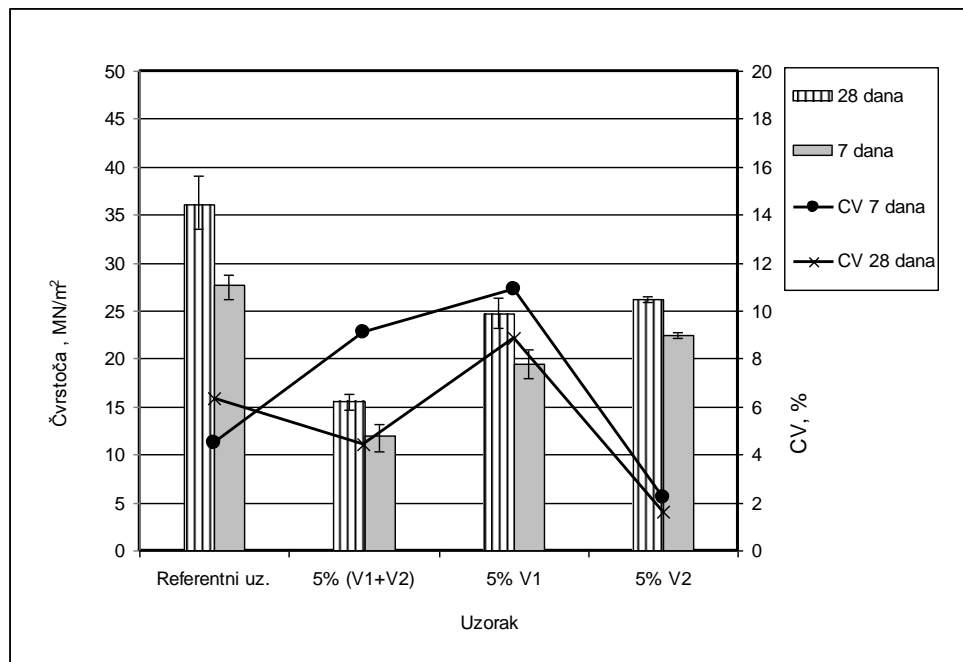
Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće kocki prikazani su dijagramom na sl. 15. Referentni uzorak dostiže čvrstoću $f_{ck,cube}$ od $27,04 \text{ kN/m}^2$ odnosno $36,12 \text{ kN/m}^2$ nakon 7 odnosno 28 dana.

Vidimo da uzorci s 5% NMF koja se sastoji od mješavine uzorka V1 i V2 dostiže najmanju čvrstoću odnosno $11,97 \text{ kN/m}^2$ nakon 7 dana odnosno $15,53 \text{ kN/m}^2$ nakon 28 dana. Konačna čvrstoća iznosi 44,27% odnosno 44,30% čvrstoće referentnog uzorka.

Kocke spravljene s 5% NMF koja se sastoji samo od uzorka V1 ili V2 pokazuju veće čvrstoće nego prethodno opisani uzorci. Uzorak sa sitnijom NMF-om (V1) nakon 7 dana doseže čvrstoću od $19,50 \text{ kN/m}^2$, a nakon 28 dana $24,75 \text{ kN/m}^2$. Ukoliko u uzorku zamijenimo 5% punila krupnijom NMF-om (V2) čvrstoće kocki iznose $22,45$ odnosno $26,20 \text{ kN/m}^2$. Čvrstoće kocki, ukoliko se u betonsku smjesu ugrađuje samo sitnija NMF odnosno krupnija NMF nakon 28 dana dosežu 68,52 odnosno 72,53% čvrstoće referentnog uzorka.

Na osnovu dobivenih rezultata se zaključiti, bez obzira da li u beton umješavamo NMF-u TP ili ne, čvrstoća betona raste s vremenom stvrdnjavanja. Nakon 7 dana probna tijela dosežu 76 do 85% čvrstoće kocki starih 28 dana.

Iz rezultata proizlazi da širina klase NMF–e negativno utječe na čvrstoće betoa. Za očekivati je bilo da će probna tijela sa sitnijom klasom NMF-e, uzorak V1, zbog najveće specifične površine punila pokazati znatno manju čvrstoću od ostalih probnih tijela. Međutim čvrstoća im je tek nešto manja od čvrstoće s krupnijom NMF-om, ali znatno veća nego s dodatkom mješavine sitnije i krupnije frakcije (V1+V2). Vjerojatno, razlog tomu je sastav punila odnosno veći udio stakla u najsitnijoj frakciji. Na znatno veći udio staklenih vlakana, koja uglavnom povećavaju čvrstoću betona, ukazuju tab. 3. i rezultati žarenja uzoraka (tab 4). Zapaža se i relativno velika disperzija rezultata mjerenja, odnosno koeficijent varijacije između 1,62 i 10,88%.

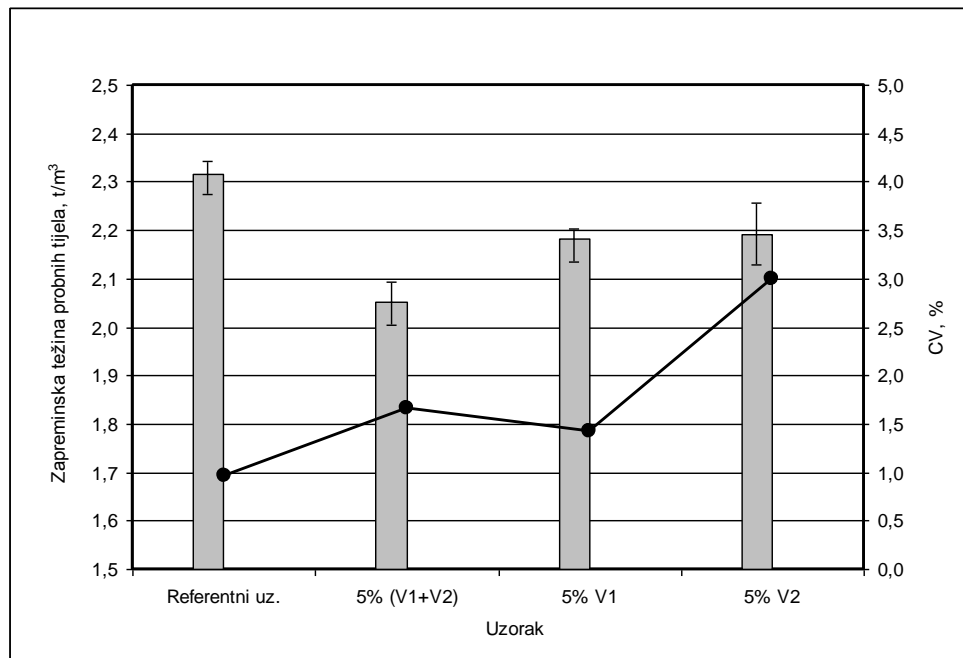


Slika 14. Tlačne čvrstoće probnih tijela

Rezultati određivanja zapreminskih težina probnih tijela potvrđuju rezultate drugih autora koji su konstatirali da se dodavanjem plastičnih masa ili NMF-e TP u beton smanjuje njegova zapreminska težina. Očekivano, najveću zapreminsku težinu imaju referentna probna tijela sa

2,315 t/m³. Zapreminske težine probnih tijela s 5% NMF-e u punilu iznose između 2,053 t/m³ i 2,190 t/m³. Promatranjem rezultata uviđa se da se može povući korelacija između zapreminskih težina i čvrstoća probnih tijela (Sl. 15).

Ujedn vidi se da su mjerenja zapreminskih težina vrlo pouzdana jer je dizperzija izmjerenih vrijednosti vrlo mala, na što ukazuje i koeficijent varijacije CV. koji je manji od 3%.



Slika 15. Zapreminske težine probnih tijela

5. ZAKLJUČAK

Ispitivanjima je potvrđena mogućnosti ugradnje NMF-e u beton. Očito granulometrijski sastav NMF-e kojom se supstituira dio mineralnog punila utječe na dosegnute čvrstoće betona, ali na čvrstoću utječe i sastav punila. Prema provedenim ispitivanjima širina klase NMF-e u punilu negativno utječe na čvrstoću betona, ali pozitivno na njegovu zapreminsku težinu. Zapreminske težine s NMF-om u punilu smanjuju zapreminske težine i u izravnoj su korelaciji s čvrstoćama. Beton spravljen prema receptu primijenjenom u ispitivanjima ne može zadovoljiti zahtjeve za izradu betonske galanterije, ali vrlo nteresantno bi bilo provesti ispitivanja uz variranje udjela cementa i NMF-e.

6. LITERATURA

- [1] Agencija za zaštitu okoliša, (2013): Ivješće o električnom i elektroničkom otpadu za 2012. godinu, Zagreb, Dostupno na:
file:///C:/Users/Vitomir/Downloads/IPOP%20II_2012%20(1).pdf
- [2] Anić Vučinić, A., Vujević, D., Premur V., Lilek, H., Blažić, D., Lenček, S., Mikić, A., Kaniški, M.: Karakterizacija i mogućnosti upravljanja otpadom nastalim u procesu oporabe tiskanih pločica, Zbornik radova, XII. Međunarodni simpozij gospodarenja otpadom Zagreb (2012).
- [3] Ban, B. C., Song, J. Y., Lim, J. Y., Wang, S. K., An, K. G., Kim, D. S.: Studies on the Reuse of Waste Printed Circuit Board as an Additive for Cement Mortar, Journal of Environmental Science and Health 40 (2005) 645-656

- [4] Batayneh, M., Marie, I., Asi, I.: Use of selected waste materials in concrete mixes, *Waste Management* 27 (2007) 1870–1876
- [5] Bizzo, W. A., Figueiredo, R. A., Andrade, V. F.: Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation, *Materials* 7 (2014) 4555-4566
- [6] Blažić, D.: Iskorištavanje vrijednih svojstava otpadne prašine od recikliranja tiskanih pločica, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin (2011), Diplomski rad.
- [7] Canjuga, D.: Optimiranje inkapsulacije EE otpada variranjem udjela cementa, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin (2014), Završni rad.
- [8] Chao, G., Hui, W., Wei, L., Jiangang, F., Xin, Y.: Liberation characteristic and physical separation of printed circuit board (PCB), *Waste Management* 31 (2011) 2161–2166
- [9] Goosey, M., Kellner, R.: Scoping Study End of Life Printed Circuit Boards, Shipley Europe Limited (2002), Dostupno na http://www.cfsd.org.uk/seeba/TD/reports/PCB_Study.pdf
- [10] Guo, J., Guo, J., Cao, B., Tang, Y., Xu, Z.: Manufacturing process of reproduction plate by nonmetallic materials reclaimed from pulverized printed circuit boards, *Journal of Hazardous Materials* 163 (2009) 1019–1025
- [11] Guo, J., Guo, J., Xu, X.: Recycling of non-metallic fractions from waste printed circuit boards: A review *Journal of Hazardous Materials* 168 (2009) 567–590
- [12] Gupta, D.: E-Waste: A Global Problem and related issues, *International Journal of Scientific & Engineering Research* 3 (2012) 2229-5518
- [13] Jovičić, N., Kalambura, S.: Zbrinjavanje električnog i elektroničkog otpada u RH - rezultati i izazovi, Znanstveno-stručni skup Gospodarenje otpadom Varaždin 2012.
- [14] Mikić, A.: Primjena koagulacije/flokulacije za pročišćavanje otpadnih voda nastalih u procesu obrade pirolitičkih dimnih plinova, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Varaždin (2012), Diplomski rad.
- [15] Moltó, J., Egea, S., Conesa, J.A., Font, R.: Thermal decomposition of electronic wastes: Mobile phone case and other parts; *Waste Management* 31 (2011) 2546–2552
- [16] Mou, P., Wa, L., Xiang, D., Gao, J., Duan, G.: A Physical Process for Recycling and Reusing Waste Printed Circuit Boards, *IEEE International Symposium* (2004) 237–242.
- [17] Mou, P., Xiang, D., Duan, G.: Products Made from Nonmetallic Materials Reclaimed from Waste Printed Circuit Boards, *Tsinghua Science and Technology*, 12 (2007) 276–283.
- [18] Niu, X., Li, Y.: Treatment of waste printed wire boards in electronic waste for safe disposal, *Journal of Hazardous Material* 145 (2007) 410–416
- [19] Oguchi, M., Murakami, S., Sakanakura, H., Kida, A., Kameya T.: A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources, *Waste Management* 31 (2011) 2150–2160
- [20] Luda, P.M: Recycling of Printed Circuit Boards, In: Kumar, S.(Ed): *Integrated Waste Management - Volume II*, Ed., InTech, Rijeka, 2011. (285-298)
- [21] Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I.: Use of recycled plastic in concrete: A review, *Waste Management* 28 (2008) 1835–1852
- [22] Sohaili, J., Muniyandi, S. K., Mohamad, S.S.: A Review on Potential Reuse of Recovered Nonmetallic Printed Circuit Board Waste, *Journal of Engineering and Applied Sciences* 2 (2011) 946-951
- [23] Sthiannopkao, S., Wong, M.H.: Handling e-waste in developed and developing countries, Initiatives, practices, and consequences, 463–464 (2013) 1147–1153
- [24] Wang, R., Zhang, T., Wang, P.: Waste printed circuit boards nonmetallic powder as admixture in cement mortar, *Materials and Structures* 45 (2012) 1439–1445
- [25] Wang, X., Gaustad, G.: Prioritizing material recovery for end-of-life printed circuit boards, *Waste Management*, 32 (2012) 1903-1913

- [26] Yadong Li, P.E.; Richardson, J.B.; Walker, A.K.; Yuan, P.-C.: TCLP Heavy Metal Leaching of Personal Computer Components, *Journal Of Environmental Engineering*, (2006) 497 – 504
- [27] Yang, X., Sun, L., Xiang, J., Hu, S., Su, S.: Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review, *Waste Management* 33 (2013) 462-473
- [28] Zheng, Y., Shen, Z., Cai, C., Ma, S., Xing, Y.: The reuse of nonmetals recycled from waste printed circuit boards as reinforcing fillers in the polypropylene composites, *Journal of Hazardous Materials* 163 (2009) 600-606
- [29] Zoeteman, B.C.J., Krikke, H.R., Venselaar, J.: Handling WEEE waste flows: on the effectiveness of producer responsibility in a globalizing world, *Int J Adv Manuf Technol* 47 (2010) 415–436