

# Tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme pri rješavanju problema otpada

Jakša Miličić, Goran Vego

## Ključne riječi

otpad,  
gospodarenje otpadom,  
tehnologija,  
plazma,  
rasplinjavanje na  
osnovi plazme

## Key words

waste,  
waste management,  
technology,  
plasma,  
plasma based  
gasification

## Mots clés

déchets,  
gestion de déchets,  
technologie,  
plasma,  
gazéification basée  
sur plasma

## Ключевые слова

отходы,  
управление отходами,  
технология,  
плазма,  
улетучивание  
на базе плазмы

## Schlüsselworte

Abfall,  
Abfallwirtschaft,  
Technologie,  
Plasma,  
Vergasung auf  
der Plasmabasis

J. Miličić, G. Vego

Pregledni rad

## Tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme pri rješavanju problema otpada

Polazi se od činjenice da je Hrvatska donijela strateške odluke o rješavanju problema otpada. Istaknuto je da upravo sada treba odlučivati o organizacijskim oblicima rješenja, ovisno o tehnologiji. Predlaže se tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme, koja osigurava najracionalnije rješenje problema, s obzirom na to da je primjenjiva za ukupni otpad, osim nuklearnoga. Ta suvremena američka tehnologija već se primjenjuje u Japanu, a preporučuje se njena primjena i u Hrvatskoj.

J. Miličić, G. Vego

Subject review

## Solving waste problems by means of plasma based gasification technology

The paper starts by stating that Croatia has made important strategic decisions aimed at solving its waste-related problems. It is emphasized that right at this moment decisions have to be made about organizational aspects of solutions, which is dependant on the technology. The author asserts that the plasma based gasification technology is the most rational solution to the problem, particularly as it can be used for all kinds of waste, except for nuclear waste. This modern American technology has already been applied in Japan and can readily be applied in Croatia as well.

J. Miličić, G. Vego

Ouvrage de synthèse

## Problèmes de déchets résolus par la gazéification des déchets basée sur plasma

L'ouvrage commence par l'assertion que la Croatie a fait des décisions stratégiques importantes dans le but de résoudre ses problèmes relatifs aux déchets. Il est souligné que, en ce moment, les décisions doivent être prises sur les aspects organisationnels des solutions, ce qui dépend de la technologie. L'auteur affirme que la technologie de gazéification basée sur plasma est la solution la plus rationnelle puisque elle peut être utilisée pour toutes sortes de déchets, à l'exception des déchets nucléaires. Cette technologie moderne provenant des Etats Unis a déjà été appliquée au Japon, et son application en Croatie est également recommandée.

Џ. Миличић, Г. Вего

Обзорная работа

## Технология улетучивания на базе плазмы при решении проблем отходов

В работе исходит из факта, что Хорватия вынесла стратегические намерения о решении проблем отходов. В работе подчеркнуто, что именно сейчас необходимо решать об организационных формах решения, в зависимости от технологии. Предлагается технология улетучивания на базе плазмы, обеспечивающая самое рациональное решение проблемы, с учётом того, что её применение возможно для общего отхода, кроме ядерного. Эта современная американская технология уже применяется в Японии, а её применение рекомендуется и в Хорватии.

J. Miličić, G. Vego

Übersichtsarbeit

## Vergasungstechnologie auf der Plasmabasis beim Lösen des Abfallproblems

Man geht von der Tatsache aus dass Kroatien über die Lösung des Abfallproblems strategische Entscheidungen erbrachte. Es wird hervorgehoben dass gerade jetzt über die Organisationsformen entschieden werden muss, abhängig von der Technologie. Vorgeschlagen ist die Vergasungstechnologie auf der Plasmabasis, die die rationellste Lösung des Problems sichert, besonders da sie auf den gesamten Abfall angewendet werden kann, ausgenommen Nuklearabfall. Diese zeitgemässe amerikanische Technologie wird schon in Japan angewendet, so wird sie auch für Kroatien angeraten.

Autori: Prof. dr. sc. **Jakša Miličić**, dipl. ing. građ., Vojka Krstulovića 10, Split; **Goran Vego**, dipl. ing. građ., IGH d.d. – PC Split

## 1 Uvod

Otpadne tvari sadrže vrijedne resurse koji su jednom prije imali konkretnu upotrebnu vrijednost. Ti su proizvođači proživjeli svoj uporabni vijek, postali su konačno otpad, ali i dalje sadrže iste tvari i istu količinu energije, u nekoj jedinici, koju su imali i za njihova «aktivnog života».

Tvari i energija iz otpada mogu se međutim na racionalan način vratiti u korisne procese. Dakle, na otpadne tvari moramo gledati kao na važan izvor i aktivnu imovinu.

Problem gospodarenja otpadom planetarni je problem. Naša civilizacija do danas nije našla postupak kojim bi mogla efikasno gospodariti otpadom. Mi smo primjenom aktualnih tehnologija došli samo do razine kad problem smanjujemo, ali ga ne rješavamo. Pojava tehnologije rasplinjavanja na osnovi plazme konačno nudi rješenje po kome se problem rješava u cijelosti, gotovo bez negativnog utjecaja na okoliš, i uz najnižu cijenu za tretman 1,0 t komunalnog otpada. Ovo je bez konkurencije najbolji tehnološki postupak u procesima gospodarenjem otpadom. Važno je da se odnosi na sve vrste otpada (osim nuklearnog).

Aplikacija ove tehnologije u ovome će se radu detaljnije obraditi za okvire Splitsko-dalmatinske županije, s posebnim osvrtom na mogućnost regionalnog rješenja problema za područje Dalmacije. Ali izrazit će se i refleksi ovog razmišljanja i za okvire Republike Hrvatske.

## 2 Rasplinjavanje na osnovi plazme

Rasplinjavanje na osnovi plazme u procesima gospodarenja komunalnim i tehnološkim otpadom primjenjuje se u Japanu, ali na bazi američke tehnologije. Nedavno je jedna veća grupa poslovnih ljudi iz Hrvatske posjetila dva pogona u Japanu. Jedan pogon rasplinjavanja na osnovi plazme obrađuje nerazvrstani komunalni otpad pomiješan s muljem otpadnih voda, a drugi pogon nerazvrstani komunalni otpad i gorive dijelove starih automobila. U oba pogona proces teče normalno, bez problema i bez negativnih utjecaja na okoliš. To je iskustvo iz Japana.

Tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme u primjeni na obradu komunalnog otpada počinje svoj prodor na tržište: projektira se veliki pogon kapaciteta 3.000 t/dan u Floridi te po jedan kapaciteta 1.000 t/dan u Indiji i Maleziji. Zapadna Europa «zarobljena» primjenom mehaničko-biološke obrade (MBO) tehnologije ili tehnologije spaljivanja, te ugovorima koji su na snazi, u stanju je opreznog iščekivanja. Ali europski jugoistok i istok su slobodni, a problem je otvoren.

Tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme razvijala se u okvirima tzv. «svemirske tehnologije». Fenomen plazme izaziva se radom tzv. plazma-baklje. Više je proizvođača ovih baklja u svijetu, ali najpoznatiji su proizvođači tvrtke «Westinghouse Plasma Corporation» (WPC). Tehnologija plazme se već desetljećima primjenjuje u industriji čelika i aluminija u raznim dijelovima svijeta te za neutralizaciju otpada posebne vrste (opasni otpadi).

Proces rasplinjavanja otpada na osnovi plazme odvija se u tzv. reaktoru. Taj uređaj slični na vertikalno postavljeni valjak odgovarajućih dimenzija (visina, promjer) čiji donji dio završava kao krnji stožac. U tom su dijelu postavljene i tzv. plazma-baklje. Broj ovisi o kapacitetu postrojenja.

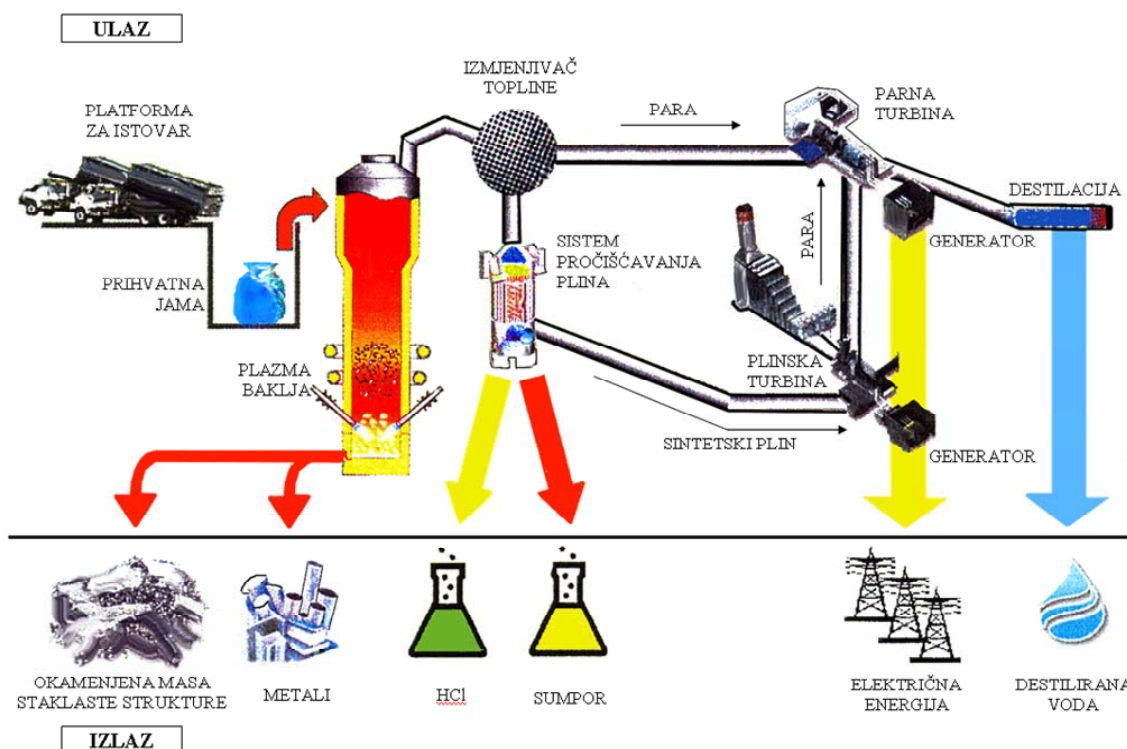
Plazma-baklja je uređaj koji izaziva fenomen plazme. Temperatura koja se stvara može biti izrazito visoka i mjeri se tisućama stupnjeva Celzijevih. Za potrebe rada s komunalnim otpadom rabi se obično temperatura u rasponu 2700 do 4300°C.

Reaktor može biti sasvim malog kapaciteta, ali se rade i jedinice s kapacitetom većim od 20 t/h komunalnog otpada. Svakako ovdje dolazi do izražaja i mogućnost modularnog sustava osnovnih jedinica.

Proces dotura i prijama komunalnog i inog otpada za slučaj primjene tehnologije plazme isti je kao i u slučaju primjene tehnologije MBO ili spalionice. Razlika je u tome što se otpad ne mora usitnjavati (ipak bolje je ako se usitnjava i do određenog stupnja homogenizira). Proces obuhvaća i materijal u balama.

Komunalni se otpad dovozi u postupak standardnim komunalnim vozilima ili velikim pokretnim kontejnerima i istrese s platforme u prihvatnu jamu. Sve je to pod krovom, zatvoreno, u stanju podtlaka.

U reaktor se otpad dotura odozgo. Sve što je u otpadu organskog podrijetla vrlo se brzo rasplinjava (pod utjecajem visoke temperature razlaže se na atome) i izlazi iz reaktora s gornje strane kao plin. Zbog visoke izlazne temperature taj se plin naglo hladi, pri čemu stvara velike količine vodene pare koja se neposredno usmjerava u parnu turbinu. Ta parna turbina, posredstvom generatora proizvodi električnu energiju koja količinom električne energije gotovo zadovoljava potrebe procesa. Nakon toga voda se kondenzira i izlazi iz procesa kao destilirana voda. Sve se one tvari iz otpada anorganskog karaktera, a i metali, pod utjecajem visokih temperatura rastapaju i teku iz reaktora kao lava. Naglo se hlade u kupki vode koja teče. Pri hlađenju metali se odvajaju. Anorganska materija ohlađena postaje kao kamen koji ima staklastu strukturu i služi kao tehnički kamen. Teški metali «zarobljeni» u okamenjenoj masi ne mogu se izluživati. Trajno su «zarobljeni». Dijagram toka postupka prikazan je na slici 1.



Slika 1. Dijagram toka postupka

Sintetski se plin nakon hlađenja upućuje u postupak pročišćavanja. Kao sporedni proizvod pročišćavanja je klorovodik (HCl) i sumpor. Pročišćeni plin se upućuje u plinsku turbinu gdje se posredstvom generatora proizvodi električna energija. Iskustvo pokazuje da se od 1,0 t komunalnog otpada koji ima kaloričnu vrijednost oko 9200 kJ/kg (to je naš standardni komunalni otpad) može dobiti električna energija u količini nešto većoj od 1,0 MW.

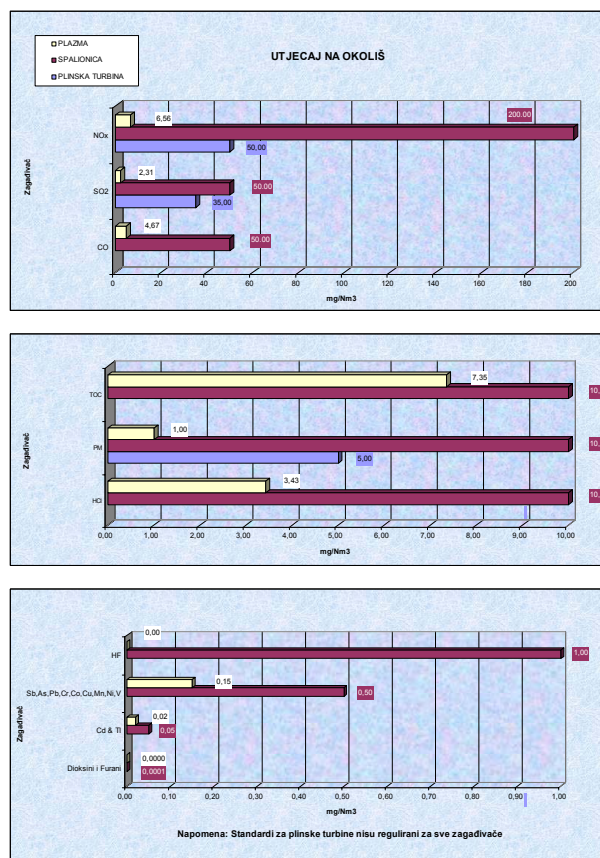
Inače sintetski plin koji se stvara u procesu dominantno je sastavljen od vodika i ugljičnog monoksida. Ostatak je ugljični dioksid, metan, sumpor, klor itd.

Plazma reaktori prihvaćaju sve vrste otpada, jedino je u pitanju količina energije koju je potrebno upotrijebiti da bi se otpad transformirao. Može se procesuirati sve osim nuklearnog otpada.

Svejedno je kolika je količina vlage u otpadu.

Općenito se može navesti da su procesi transformacije u reaktoru zbog visokih temperatura takvi da su emisije u odnosu prema okolišu vrlo niske. To se potvrđuje i izmjerenom količinom emisija u odnosu na normu EU (slika 2.).

Iako se u slučaju plazme radi o „naprednoj termičkoj obradi“, te je tehnologija bitno drugačija od spalionica, uočljivo je da je razina emisija znatno niža od dopuštene. U zaključku se može kazati da proces rasplinjavanja na osnovi plazme ukupni komunalni otpad koji se unosi



Slika 2. Podaci o emisijama (usporedba s normama EU)

u proces transformira u komponente od kojih je svaka korisna. Nema ostatka i sve su emisije u granicama ispod dopustivih (norme EU):

- ugljični se monoksid i vodik kao sintetski plin rabe za proizvodnju elektroenergije
- anorganske tvari se vraćaju kao kamen staklaste strukture
- metali ostaju metali
- klor se vraća kao klorovodik
- sumpor se vraća kao natrijev bisulfit
- voda koja preostaje je destilirana voda.

Važno je još jednom istaknuti da se u procesu rasplinjavanja na osnovi plazme sva organska tvar transformira u plinovitu masu u kojoj su dominantni vodik i ugljični monoksid. Pritom je važno da su to plinovi koji izgaranjem oslobađaju toplinu, tzv. egzotermni plinovi i to je iznimno zanimljivo. Rasplinjavanje na osnovi plazme postupak je koji je izvan svake konkurencije.

### 3 Centar za gospodarenjem otpadom Splitsko-dalmatinske županije

#### 3.1 Uvodni podaci

##### 3.1.1 Investitor

Splitsko-dalmatinska županija se u suglasnosti s gradovima i općinama opredijelila problem gospodarenja komunalnim otpadom organizacijski riješiti osnivanjem Centra za gospodarenje otpadom. Ona je istodobno i investitor. Prostornim planom Županije odabrana je lokacija Centra, a nakon propisane procedure lokacija je dobila i usvojenu Studiju utjecaja na okoliš. Konačno je, posredstvom «Cards» programa EU, danska tvrtka Carl Bro izradila i objelodanila Nacrt studije izvodljivosti, čiji se podaci dijelom rabe u ovome radu. Predviđena je upotreba tehnologije mehaničko-biološke obrade (aerobne), uz termotretman suhe frakcije. Županija je kao investitor spremna prihvatiti i neku drugu tehnološku soluciju ako je ekološki bolja, a financijski prihvatljiva.

##### 3.1.2 Osnovni podaci o količini otpada

Komunalni otpad generira:

- stanovništvo i gospodarstvo
- turizam.

Nije se obavljalo kontinuirano mjerenje komunalnog otpada koji se odlaže, ali se na temelju opažanja i povremenih mjerenja uzima:

- da stanovništvo stvara 0,8 kg komunalnog otpada svakoga dana, uključujući i otpad sličan komunal-

nom koji proizvodi gospodarstvo i društvena nadgradnja

- turizam stvara 1,0 kg komunalnog otpada po jednom turističkom noćenju.

Stanovništvo svih gradova i općina obuhvaćeno je organiziranim skupljanjem i odvozom komunalnog otpada.

Ukupno je registrirano 464.721 stanovnika, a u turizmu je registrirano 11.922.000 noćenja na godinu pa je ukupna godišnja količina komunalnog otpada 147.662 t.

##### 3.1.3 Osnovni podaci o sastavu i kaloričnoj vrijednosti komunalnog otpada

Sastav komunalnog otpada koji se odlaže nije kontinuirano kontroliran. Ipak, provedene analize i promatranje sastava komunalnog otpada daju sljedeće težinske odnose:

- gorivi dio (suha frakcija)	približno 50 %
- biorazgradivi dio (mokra frakcija)	približno 37 %
- metali	približno 3 %
- inertni dio	približno 10 %
Ukupno	100 %

Polazeći od sastava komunalnog otpada kalkulira se kaloričnom vrijednošću u visini od 9.570 kJ/kg.

Sad kad raspoložemo ulaznim podacima, u nastavku ćemo razmotriti rješenje Centra za gospodarenjem otpadom Splitsko-dalmatinske županije u dvjema verzijama:

- primjena tehnologije rasplinjavanja na osnovi plazme
- primjena mehaničko-biološke (aerobne) tehnologije uz termotretman suhe frakcije.

#### 3.2 Tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme

Tehnologija gospodarenja komunalnim otpadom primjenom rasplinjavanja na osnovi plazme aplicira se postrojenjem koje se sastoji od tri uzročno povezane cjeline koje su međusobno usklađene:

- Prijam i priprema komunalnog otpada
- Tretman tehnologijom plazme
- Proizvodnja električne energije

##### 3.2.1 Prijam i priprema komunalnog otpada

Komunalni se otpad dovozi specijalnim komunalnim vozilima ili (i) velikim pokretnim kontejnerima. Dovedeni se otpad na ulazu u Centar važe na kolskoj vagi te odvozi u prihvatnu jamu. Prihvatna jama može primiti količinu otpada za pet dana. Komunalni se otpad dovozi šest dana u tjednu, što je dnevna količina otprilike 400 t. Računa se da će se komunalni otpad u jami komprimirati na oko 300 kg/m<sup>3</sup>, pa odatle za dnevno dovezenu količinu trebamo u prihvatnoj jami osigurati volumen od

približno 1.400 m<sup>3</sup>, odnosno za količinu od pet dana jama mora imati volumen od 7.000 m<sup>3</sup>.

Prihvatna je jama u zatvorenoj hali koja se odzračuje i otprašuje, odnosno ona je u sustavu podtlaka. Iznad prihvatne jame u funkciji su dvije mosne dizalice s *grajferima* ili neko drugo tehničko rješenje.

Za postupak s komunalnim otpadom u tehnologiji plazme ne treba otpad usitnjavati. Međutim, dobro je da je do određenoga stupnja usitnjen i homogeniziran upravo radi što višeg stupnja izjednačivanja termoprocasa. Zbog toga se u kalkulaciji pretpostavlja da postoje dva snažna stroja za usitnjavanje otpada.

Ovdje se uzima da će ulazna građevina s vagon te hala prihvatne jame s ukupnom opremom stajati 8.000.000 eura.

### 3.2.2 Rasplinjavanje na osnovi plazme

Ovaj će se dio postrojenja riješiti sa dva reaktora od kojih će svaki raditi s kapacitetom od 10 t/h.

Računa se sa dva reaktora jer to daje veću pogonsku sigurnost. Uz svaki reaktor treba imati izmjenjivač topline te uređaje za čišćenje plina do momenta kad se taj plin upućuje ili u plinsku turbinu ili u plinski motor.

Polazeći od iskustava proizvođača, ovdje se kalkulira da će dva kompletna reaktora montirana i kolaudirana stajati 25.000.000 eura.

### 3.2.3 Termoelektrana na plin

Treći dio postrojenja je termoelektrana na plin koja će biti predviđena s plinskom turbinom ili s plinskim motorom. Predviđa se kapacitet turbine od 70 MW. Gorivo će biti sintetski plin iz pogona plazme pomiješan s prirodnim plinom. Elektroenergija ovako proizvedena usmjerava se u mrežu. Već je istaknuto da će se dio elektroenergije proizvoditi i parnom turbinom koja će se usmjeriti u vlastitu potrošnju. Predviđa se da će u mješavini plina biti 65 % prirodnog plina. Računa se, prema dostupnim podacima, da će strojevi za proizvodnju elektroenergije kapaciteta 70,0 MW investicijski stajati 70.000.000 eura.

S ovim osnovnim veličinama može se doći do dovoljno pouzdane kalkulacije koja bi karakterizirala ovu investicijsku soluciju.

### 3.2.4 Prikaz troškova i prihoda

#### Investicijski trošak

- prijamna hala i oprema	8.000.000 eura
- plazma instalacija i uređaji	25.000.000 eura
- termoelektrana na plin kap. 70,0 MW	70.000.000 eura
- građevinski radovi – hale i ostalo	12.000.000 eura

- projekti	4.000.000 eura
- radovi kolaudacije	2.000.000 eura
- <u>nepredviđeno</u>	<u>2.000.000 eura</u>
Ukupno:	123.000.000 eura

#### Operativni troškovi

Ukupni trošak na godinu (na temelju kalkulacije)	42.160.000 eura.
--	------------------

#### Prihodi

- prihod od dovezenog otpada 48 eura/t	7.056.000 eura
- <u>prihod od prodaje elektroenergije</u>	<u>38.000.000 eura</u>
Ukupno:	45.066.000,0 eura

Trošak daljinskog prijevoza nije ovdje uzet u račun, a iznosi prosječno 6,5 eura za 1,0 t komunalnog otpada, uz jediničnu cijenu prijevoza od 0,10 eura za 1 tkm.

### 3.3 Tehnologija mehaničko-biološke (aerobne) obrade s termotretmanom gorive frakcije

Primjena ove tehnologije ima sedam uzročno povezanih cjelina koje su međusobno usklađene:

- Prijam komunalnog otpada
- Mehaničko odvajanje goriva iz otpada (RDF) od ostalog otpada
- Baliranje i odlaganje RDF, eventualna dorada
- Predobrada biorazgradivog dijela i ponovno odvajanje
- Sazrijevanje biorazgradivog dijela zračenjem i prevrtanjem
- Odlaganje u sanitarno odlagalište
- Termotretman RDF

Dovoz i prihvat komunalnog otpada kao i u slučaju rasplinjavanja na osnovi plazme.

Mehanička obrada dovezenoga komunalnog otpada predviđa se dovozom do rotacijskog sita posebne izvedbe. Tu se RDF odvaja od biorazgradivog i inertnog dijela otpada te metala.

Odvojeni se RDF najkraćim putem usmjerava u stroj za baliranje. Bale RDF odlažu se na otvorenom.

Biorazgradivi dio zajedno s inertnim dijelom usmjerava se na predobradu koja može biti organizirana na razne načine i traje obično do 18 dana. Nakon toga ta se materija prosijava, pri čemu se izdvaja preostali RDF i balira, izdvajaju se preostali metali, a biorazgradiva tvar i inertni dio se usmjerava na konačno dozrijevanje.

Konačna se biorazgradnja događa u hali gdje se materija odlaže i u određenom ritmu prevrće i prema potrebi vlaži, ili se sve rješava na sanitarnom odlagalištu primjenom bioreaktorskog postupka.

Sanitarno je odlagalište posebno izvedeno i u njega se odlaže konačno sazreli biorazgradivi dio ili je organizirano kao bioreaktor. Taj je dio Centra stalno pod kontrolom, a osim početnog dijela dograđuje se po segmentima.

Povrh toga ugrađuje se i segment prijama i pročišćavanja procjednih voda.

Konačno treba znati što s imbaliranom suhom frakcijom (RDF). Logično bi bilo, i najbolje, da se RDF odgovarajuće mehanički usitnjen uputi u industriju cementa na izgaranje u peći klinkera, ali je malo vjerojatno da će se to i realizirati! U tom slučaju u sastavu Centra treba predvidjeti malu TE kapaciteta oko 4,0 MW. Jasno nije da će i u ovom slučaju ostati oko 6 % (težinski) letećeg pepela koji će se morati usmjeriti u sanitarno odlagalište. Kada bi se Centar izgradio u svakoj županiji, onda bi se mala TE gradila za grupu županija. Vjerojatno regionalno.

Ovime bi bio potpuno osiguran proces eliminacije komunalnog otpada.

### 3.3.1 Prikaz troškova i prihoda

#### *Investicijsko ulaganje*

- ulaganje u otkup zemljišta, komunalno opremanje, izgradnja pogona za mehaničko-biološku obradu kapaciteta 40,0 t/h te izgradnja sanitarnoga odlagališta za sve faze 45.000.000 eura
- ulaganje u malu TE kapaciteta 4,0 MWel (prema europskom iskustvu) 16.000.000 eura
- Ulaganje ukupno: 61.000.000 eura

#### *Poslovanje*

Prema Sažetku nacрта Studije izvodljivosti za Županijski centar za gospodarenje otpadom (tablica 25.), ulazna će pristojba iznositi otprilike 50,0 eura za 1,0 t (ovo je bez termotretmana RDF).

#### *Termotretman RDF*

Ukupna «suha frakcija» (RDF) količinski će iznositi približno 70.000,0 t na godinu. To će se termički obraditi u maloj TE kapaciteta 4 MW. Ona će davati otprilike 32.000.000 kWh na godinu. Uz prodajnu cijenu od 0,09 eura/kWh to će osigurati prihod od 2.880.000 eura na godinu.

Godišnji trošak male TE iznositi će ne manje od 3.000.000 eura (uz zajam od 20 godina i 7% troškova održavanja)! Dakle prihod od prodaje elektroenergije neće biti dovoljan da pokrije troškove poslovanja. Povrh toga dodaje se i trošak odlaganja oko 3.500 t pepela na sanitarno odlagalište. U tom će slučaju trebati nešto korigirati (povi-

siti) cijenu koja će se plaćati za 1,0 t komunalnog otpada na ulazu.

#### *Zaključak*

Ovdje predviđenim postupkom, uključivo i termotretman RDF, postiže se potpuna eliminacija komunalnog otpada kao problema.

U cijeni međutim nije trošak daljinskog prijevoza koji za relacije Županije iznosi od 6,5 eura za 1,0 t (cijena je izračunana pod pretpostavkom troška od 0,10 eura za 1,0 tkm) ni dodatni trošak za termotretman RDF bilo da se izgara u cementari ili u vlastitoj TE.

Prodajna cijena usluga izražena u eurima po toni za tehnologiju MBO jest 50,0, a za plazmu 48,0, odakle je jasno da tehnologija plazme nudi jeftiniju uslugu, ali je nadmašiva prednost u činjenici da nije potrebno sanitarno odlagalište jer radi bez ostatka. Osim toga, zbog kvalitete tehnološkog procesa zanemarivo je malo ispuštanje plinova u atmosferu.

Uz najnižu prodajnu cijenu usluge tehnologija plazme je ekološki najbolja pa valja očekivati da bi izbor mogao biti nedvosmisleno jasan. Svakako ova usporedba je načelne naravi jer se neusporedivo ne može usporediti.

## **4 Dalmatinski regionalni centar za gospodarenjem otpadom**

### *4.1 Osnovni podaci*

Srednji i južni dio obalnog područja Republike Hrvatske čini regija Dalmacija. Ona je administrativno podijeljena u četiri županije sa sjedištem u gradovima: Zadar, Šibenik, Split i Dubrovnik.

Mjerenja pokazuju da stanovništvo regije svakoga dana proizvodi oko 0,8 kg komunalnog otpada po osobi, a da jedno turističko noćenje proizvodi prosječno 1,0 kg, pa odatle možemo izraziti podatak o količini otpada: 291.950 t/god.

Većina stanovnika koncentrirana je u gradovima i naseljima uz obalu mora. Uz obalu je i veliki broj otoka, dijelom nedovoljno naseljenih.

Svi gradovi i općine, uključivši i otoke, obuhvaćeni su organiziranim prikupljanjem i odvozom komunalnog otpada.

Sve analize pokazuju da se sa svakog otoka komunalni otpad (i ne samo komunalni) mora odvoziti na kopno, što je najracionalnije rješenje.

Životni je standard stanovništva redovito izjednačen sa stajališta životnih navika pa je i sastav komunalnog otpada općenito komponiran:

- suha frakcija	otprilike		ili
	50 % težinski	145.975 t/god.	
- mokra (biorazgradiva) frakcija	otprilike		ili
	37 % težinski	108.021 t/god.	
- metali	otprilike		ili
	3 % težinski	8.758 t/god.	
- inertni dio	otprilike		ili
	10 % težinski	29.195 t/god.	

Kalorična je vrijednost ukupnoga komunalnog otpada približno 9.570 kJ/kg.

#### 4.2 Lokacija regionalnog centra (RC)

U daljnje razmatranje polazi se od proanaliziranog gladišta da je za Dalmaciju najbolje izgraditi jedan regionalni centar za gospodarenje komunalnim otpadom. To je name analizama i dokazano.

Regionalni bi centar trebao biti lociran tamo gdje će zbroj svih troškova daljinskog prijevoza biti najmanji. To je vjerojatno područje unutar trokuta Dugopolje – Lečevica – industrijska zona Podi (Šibenik). Bilo bi najbolje kad bi se RC locirao uz samu trasu autoceste jer autocesta će biti koridor kojim će se služiti prijevoz otpada do RC.

U svakoj će županiji biti jedna ili više točaka u razini pretovarne stanice od koje će se komunalni otpad prevoziti u regionalni centar. Ova kalkulacija polazi od pretpostavke da je organizacija i trošak lokalnog prikupljanja otpada i dovoz do pretovarne stanice lokalni trošak, a investicijski i eksploatacijski trošak pretovarnih stanica i prijevoz do regionalnog centra jest trošak koji se uprosječuje na razini regionalnog centra. To ima svoje opravdanje i obrazloženje, ali taj dio troška može biti uprosječen i kalkuliran na razini svake od županija. Nadalje računa se da će jedinična cijena prijevoza od pretovarne stanice do RC stajati 0,10 eura za 1 tkm.

Budući da nema precizno utvrđene lokacije RC, u nastavku je izražen trošak daljinskog prijevoza dijelom aproksimiran sa 8,79 eura za 1 t.

(Troškovi daljinskog prijevoza ovise najviše o duljini prijevoza, ali i u znatnoj mjeri o organizaciji ukupnog posla. Za sada se ide dalje s ovdje iskazanom veličinom).

Računa se da će za čitavu regiju izgradnja pretovarnih stanica, zemljište, komunalna oprema, transportna sredstva investicijski iznositi oko 12.000.000 eura.

Ovdje navedeni investicijski trošak i cijena daljinskog prijevoza do regionalnog centra uvijek je isti za razne tehnologije rada koje se mogu primijeniti u regionalnom centru.

Ovaj dio posla osigurat će bar 50 novih radnih mjesta.

#### 4.3 Izbor tehnologije

Na temelju pouzdano dostupnih podataka obraditi će se tri tehnologije koje se mogu primijeniti. Od toga su dvije standardno poznate i u primjeni su u Europi, a jedna je potpuno nova. To su:

- mehaničko-biološka obrada
- spalionica
- rasplinjavanje na osnovi plazme.

##### 4.3.1 Mehaničko-biološka obrada (MBO)

Polazi se u odabir kapaciteta za 291.000 t komunalnog otpada na godinu. Ta će se pretpostavka primijeniti i na ostale tehnologije u razmatranju.

Ukupni će se proces realizirati na komunalno opremljenom građevinskom zemljištu ploštine 40.000 m<sup>2</sup>, čemu se pridodaje i površina zemljišta za sanitarno odlagalište od još oko 150.000 m<sup>2</sup>. Ukupan proces prijama komunalnog otpada i njegova tretmana realizira se u zatvorenim prostorima koji su odzračeni i otpušeni.

Prema raznim mogućim rješenjima treba računati da će troškovi investicijskoga ulaganja iznositi: strojevi i oprema, hale, montaža i pomoćne konstrukcije, komunalno opremljeno građevinsko zemljište, uključivo i sanitarno odlagalište, 50.000.000 eura.

Postrojenje će raditi s kapacitetom od 50 t/h, 300 radnih dana u godini, 24 sata na dan.

U svim smjenama bit će zaposleno, uključivo režijski dio, oko 50 djelatnika.

Računa se da će suha frakcija komunalnog otpada mehanički obrađena i homogenizirana u tzv. FLUFF RDF biti upućena u Dalmacijacement da se kao alternativno gorivo upotrijebi u procesima pečenja klinkera u rotacijskim pećima. Trošak prijevoza jest trošak RC. Na pragu tvornice to alternativno gorivo, s kaloričnom vrijednosti 14.000 kJ/kg, neće vrijediti za RC gotovo ništa. Morat će biti zadovoljan ako DC ne zatraži naplatu za izgarenje tako dovezenoga alternativnog goriva.

Ako međutim DC ne primi ovaj FLUFF RDF, onda se to mora termički obraditi u maloj TE koja bi mogla imati kapacitet od oko 8,0 MW, što bi stajalo otprilike 25.000.000 eura. Ta bi se mala TE izgradila u kompleksu regionalnog centra. Proizvodilo bi se približno 64.000.000 kWh električne energije na godinu.

Uz prodajnu cijenu mreži HEP-a od 0,09 eura-a za kWh to bi bio prihod od nešto više od 5.760.000 eura.

Mala TE ne mora investicijski biti vezana na RC. Ali treba računati da će od 140.000 t suhe frakcije biti oko 6 % ili oko 8.400 t/god. pepela koji se mora odložiti u sanitarno odlagalište i to može stajati oko 340.000 eura.

Povrh toga kalkulacijom se mora predvidjeti ekološka renta lokalnoj zajednici na čijem je terenu regionalni centar izgrađen. A treba računati i s dobiti za onoga tko je uložio kapital.

Sve u svemu kalkulacije pokazuju da bi rad regionalnog centra stajao korisnike u Dalmaciji oko 47,0 eura za dovezenu tonu komunalnog otpada. To je izuzetno povoljno i za sve isto. Od toga bi jediničnog prihoda RC ostvarivao ukupni prihod od 14.000.000 eura na godinu.

Valja istaknuti da ova tehnologija treba veliko sanitarno odlagalište koje će u 30 godina uporabe doseći obujam od najmanje 4,0 milijuna m<sup>3</sup>, a u izboru lokacije upravo je sanitarno odlagalište ključni problem.

#### 4.3.2 Spalionica

Ovu je mogućnost bolje nazvati termoelektranom koja se koristi komunalnim otpadom kao gorivom. Kapacitet je 280.000 t komunalnog otpada na godinu.

Organizacija i trošak daljinskog prijevoza otpada jednaki su kao i za slučaj upotrebe MBO tehnologije.

Dovezeni se komunalni otpad odlaže u veliku posebno organiziranu prihvatnu jamu. Sve je pod krovom, otprašeno i odzračeno u sustavu podtlaka. Spalionica radi kontinuirano čitavu godinu, a s komunalno opremljenim građevinskim zemljištem neće stajati manje od 160 milijuna eura. U opremu ulazi i segment proizvodnje električne energije s kapacitetom od, orijentacijski, 12 MWel. Uz rad od 8.000 sati na godinu proizvodit će približno 96 milijuna kWh elektroenergije. Uz prodajnu cijenu mreži HEP-a u visini od 0,09 eura za kWh osigurava godišnji prihod od 8.640.000 eura.

Popratna pojava izgaranja otpada u spalionici jest i oko 6 % letećeg pepela (16.800 t/god.) i oko 23 % zgure (64.400 t/god.). Obje ove materije moraju biti odložene u sanitarno odlagalište. To čini godišnji obujam od otprilike 70.000 m<sup>3</sup>, ili u 30 godina oko 2 milijuna m<sup>3</sup>, što uz visinu nasipa od 20 m obuhvaća površinu terena od 100.000 m<sup>2</sup>. Investicijski trošak sanitarnoga odlagališta sve vrijeme nastajanja jest oko 50 milijuna eura.

Zaposlenih u svim smjenama bit će oko 40 radnika.

Računa se da će rad spalionice zajedno s odlaganjem ostatka u odlagalištu, te ekorentu i dobit ulagača iznositi 100 eura za jednu tonu dovezenog i obrađenoga komunalnog otpada.

Važno je istaknuti, međutim, umjesto da se pepeo i zgura (roštiljni ostatak) odlažu u sanitarno odlagalište oni se mogu (fizički u sklopu spalionice) tretirati tehnologijom plazme. To bi za potreban kapacitet investicijski stajalo blizu 50 milijuna eura. Dobila bi se vitrificirana kamena masa od oko 70.000 t/god. koja služi kao dobar tehnički

kamen. Ovime bi osigurali tehnološki proces praktički bez ostatka i tada nam ne treba sanitarno odlagalište.

Ukupno investiranje, odnosno godišnji trošak morao bi biti poslovno zanimljivo niži od prihoda.

#### 4.3.3 Rasplinjavanje na osnovi plazme

U primjeni ove tehnologije je organizacija i trošak daljinskog prijevoza otpada ista kao i u slučaju primjene MBO tehnologije ili tehnologije spaljivanja.

Prijam otpada koji se dovozi u proces je isti, a i kapaciteti su isti, pa odatle i trošak rada ove faze.

Čitav pogon, osim na prijamu otpada, radi kontinuirano istim intenzitetom.

Da bi se slika događanja u procesima rasplinjavanja na osnovi plazme odnosno spaljivanja učinila što bližom, najbolje ih je usporediti određenim indikatorima koji se navode u tablici 1.

Tablica 1. Usporedbe

Rasplinjavanje na osnovi plazme	Spaljivanje
potpuno razlaganje	nepotpuno razlaganje
nema katrana, dioksina i furana	visoki katrani i furani
nema pepela	30% pepela (tež)
sve vrste otpada	organski
nema sortiranja	sortiranje
veliki kapacitet	veliki kapacitet
vrlo male emisije	visoke emisije
vлага bez utjecaja	utjecaj vlage
komadi veličine i do 1 m <sup>3</sup>	maks. vel. 30 cm

Na kraju ove termalne transformacije od otpada nije ostalo ništa. Sav je otpad oporabljen u metal i vitrificiranu masu ili je konvertiran u gorivi plin.

Primjena ove tehnologije rezultira velikom količinom proizvedenoga sintetskog plina. Logično ga je usmjeriti u plinsku turbinu ili plinski motor da bi proizvodio električnu energiju.

Odatle se primjena postupka rasplinjavanja na osnovi plazme sastoji od tri osnovna operativna dijela:

- prijam komunalnog otpada
- obrada u reaktoru plazme
- proizvodnja električne energije.

Može se uzeti da će ukupno investiranje u integralno postrojenje za kapacitet 280.000 t komunalnog otpada na godinu stajati 140 milijuna eura. Postrojenje će proizvoditi električnu energiju plinskom turbinom kap. 70 MW. Proizvodit će oko 280.000 MW električne energije na



godinu koja će se prodati po cijeni od 90 eura/MW i uprihodit će se 25.200.000 eura. Drugi dio kapaciteta od 280.000,0 MW prodat će se po cijeni od 60 eura/MW i uprihoditi 16.800.000 eura, dakle ukupan prihod od proizvodnje i prodaje električne energije iznositi će 42.000.000 eura.

Obrada komunalnog otpada dovezenog na postupak iz sve četiri županije stajat će 46 eura za 1,0 t i realizirat će prihod od 13.440.000 eura. Dakle korisnici ove usluge plaćat će 46 eura za 1,0 t isporučenoga komunalnog otpada.

Ova tehnologija ne zahtijeva i ne treba nikakvo sanitarno odlagalište.

Uz navedeno valja istaknuti da će primjenom tehnologije plazme dobiveni sintetski plin biti upotrijebljen u plinskoj turbini i miješati će se s prirodnim plinom. U toj mješavini sintetskog plina može biti 30-70%.

Za slučaj regionalnog centra plinska i parna turbina osigurati će kapacitet od 70 MW što će proizvoditi oko 560.000.000 kWh na godinu. To je važno i stoga što bismo time neposredno osigurali potrošnju dijela kapaciteta plinovoda koji se gradi. Taj će plinovod, ako se ne osigura ozbiljna potrošnja, imati probleme s rentabilitetom.

Iz usporednog pregleda i drugih podataka evidentno je da uz najjeftiniju uslugu primjena tehnologije plazme ne traži postojanje sanitarnoga odlagališta, jer je to tehnologija koja radi bez ostatka. Osim toga najsigurnija je i najbolja u odnosu prema utjecaj na okoliš.

## 5 Zaključno razmatranje

- 1) U slučaju Dalmacije 4 županijska centra na osnovi MBO tehnologije investicijski će stajati (uključivši malu TE kap. 8,0 MW) 170.000.000 eura. Regionalni će centar pak na osnovi plazme stajati 152.000.000 eura.

- 2) Za slučaj regionalnog centra na osnovi plazme građani će plaćati 46 eura za 1,0 t dovezenoga komunalnog otpada. U slučaju 4 županijska centra ta će cijena biti između 50 i 70 eura za 1,0 t (ovisno o centru).
- 3) Kod primjene regionalnog centra može se primijeniti postupak uprosječene cijene, što je izraz solidarnosti s onima koji su geografski najdalji (otoci).
- 4) Kod primjene regionalnog centra na osnovi plazme nije potrebno sanitarno odlagalište jer nema ostataka.
- 5) Kod plazme su emisije u atmosferu mnogo ispod dopuštenih. Nema utjecaja na podzemne vode (proces je suh, nema odlagališta), a nema ni utjecaja na onečišćenje tla.

Još nešto. Dalmacija sa svoje četiri županije čini oko 20 % ukupnog stanovništva Hrvatske. Ako se zaključci dobiveni za područje Dalmacije primjenjuju na teritorij Hrvatske, onda se slobodno aproksimirano, ali s velikom dozom vjerojatnosti, može kazati da rezultati Dalmacije pomnoženi s 5 mogu dati približnu sliku Hrvatske. A to bi značilo da bi se rješavajući problem gospodarenja komunalnim otpadom za Hrvatsku kao cjelinu za sve županije putem jednoga županijskog centra u svakoj županiji (bez grada Zagreba) morali uložiti ukupno 170.000.000 eura  $\times 5 = 850.000.000$  eura.

Istodobno s 5 regionalnih centara riješenih u tehnologiji rasplinjavanja na osnovi plazme ukupna bi ulaganja iznosila  $152.000.000 \times 5 = 760.000.000$  eura.

Iz svega je jasno da rješenje problema gospodarenja komunalnim otpadom primjenom tehnologije rasplinjavanja na osnovi plazme organizacijski u okviru 5 regionalnih centara (dakle uključivo i grad Zagreb) čini apsolutno najbolje rješenje koje nas stavlja bar 20 godina ispred Europe. Smijemo li mi to?

## IZVORI

- [1] Miličić, J.; Erdelez, A.; Pavlović A.: *Regionalni centar za gospodarenje otpadom*, Sabor hrvatskih graditelja, Cavtat, 2004 str. 1111-1118
- [2] Strategija *gospodarenja otpadom Republike Hrvatske*, (NN 130/2005)
- [3] Miličić, J.: *Plinifikacija područja Splitsko-dalmatinske županije*, Slobodna Dalmacija, 2005.
- [4] Nikolić, O.; Bagić, D.: *Osvrt na skup International Symposium MBT, Njemačka*, Gospodarstvo i okoliš 77 (2006) 762-766
- [5] CARDS Program EU *Gospodarenje otpadom u županijama Dalmacije* – sažetak Nacrta studije izvodljivosti, tabl. 13. i 25., 2006.