

TRETMAN OTPADA PLAZMA TEHNOLOGIJOM

*Kratki naučni rad
Bojana ŽIVKOVIĆ,
Fakultet za ekologiju i
zaštitu životne sredine,
Univerzitet „Union – Nikola Tesla“*

U ovom radu dat je kratak pregled mogućih tretmana otpada uz korišćenje energije i predstavljena plazma tehnologija kao trenutno najsavršenije tehnološko rešenje. Rad je baziran na iskustvima razvijenih zemalja i saznanjima autora iz raspoloživih izvora. Pošto se Srbija nalazi pred velikim zahtevima, kako obaveza vezanih za evrointegracije, tako i sopstvenih strateških ciljeva, zaključak ovog rada jeste da je neophodno posvetiti posebnu pažnju plazma tehnologiji, jer je glavni razlog za njeno ranije odbacivanje, visoka cena, znatno umanjen, te i tu opciju treba iznova razmatrati.

Ključne reči: čvrst otpad, upravljanje otpadom, plazma tehnologija, energija iz otpada, plazma konverter, prerada otpada, insineracija, staklasta šljaka, zaštita životne sredine, investicioni trošak

1. Uvod

Usled sve većeg demografskog rasta, industrijalizacije, urbanizacije i ekonomskog bogatstva, nagomilavaju se i sve veće količine otpada, kako u razvijenim zemljama, tako i u zemljama u razvoju. Zbog toga što je hemijski sastav otpada složeniji, on sve više ugrožava čovekovo zdravlje i okolinu.

Nagomilavanje čvrstog otpada predstavlja jedan od krupnijih problema naše civilizacije, kako sa komunalnog aspekta, tako i sa ekološkog, sanitarno-epidemiološkog, tehnološkog, urbanističkog, građevinskog, hidrološkog i energetskog. Povećanje broja stanovnika, urbanizacija i industrijalizacija direktno utiču na rast potrošnje svih vrsta, što ima za posledicu povećanje čvrstog otpada koji se mora prikupiti, transportovati i preraditi na način koji zadovoljava pre svega sanitarne

uslove, a potom i tehničko-tehnološke, ekonomske i ostale uslove vezane za zaštitu životne sredine.

Porast cena energenata, ostvarenje manje zavisnosti od uvoza energenata, kontrola gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, u saglasnosti sa Kjoto protokolom, i smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu, razlozi su za istraživanje i razvoj postupaka za ponovno iskorišćenje otpada širom sveta. Osim ekonomskih efekata, glavni razlozi koji ograničavaju razvoj ponovnog iskorišćenja otpada su kulturološki, ali i to što su za energetske korišćenje otpada, koje po pravilu ima nisku toplotnu moć, potrebne pregradnje, koje bi omogućile višu efikasnost i smanjenje negativnih uticaja na životnu sredinu. Ovi problemi posebno pogađaju zemlje u tranziciji i razvoju, kakva je Srbija. Sa sprovođenjem mera za pravilno prikupljanje i korišćenje otpada se kasni, što ima negativne ekološke i ekonomske posledice.

Kao i ostale zemlje Zapadnog Balkana, Republika Srbija je, zainteresovana za prijem u Evropsku uniju, te je potpisala Memorandum o integraciji u energetske tržište EU. Na taj način, prihvatila je obavezu da sledi politiku i programe EU. Da bi se to ostvarilo, moraju da se donesu mere za podsticanje proizvodnje električne energije korišćenjem komunalnog čvrstog otpada, odnosno da se pomogne u definisanju nacionalne strategije u toj oblasti. Pri tom, potrebno je da se pomogne i pojedinim subjektima koji su potencijalni donatori u ovu oblast.

Pored pomenute, već jasno definisane državne obaveze Srbije, važan cilj je da se proširi proizvodnja električne energije korišćenjem vlastitih materijalnih resursa, zatim da se smanji zavisnost od uvoza i poveća zapošljavanje stanovništva. Tako bi se iskorišćavanjem otpada u vidu energije ostvarilo i više državnih strateških ciljeva.

Kako se sa jedne strane nameće insineracija kao rešenje, a sa druge činjenica da se takvi procesi u svetu obavljaju uz sve rigoroznije mere zaštite, a u velikom broju slučajeva zabranjuju i gase, nameće se potreba za razmatranjem drugih, prihvatljivijih rešenja. Jedno od njih je i *plazma tehnologija*, koja se bez razmatranja uvek odbacuje kao skupa.

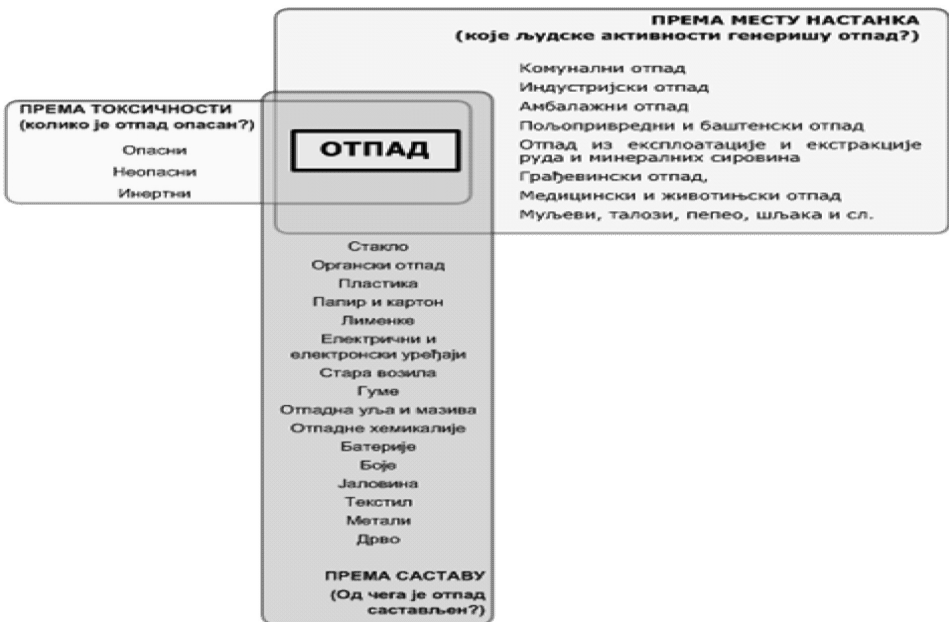
2. Nastanak, vrste i sastav otpada

Nastanak čvrstog otpada je vezan za određene aktivnosti unutar urbane sredine. Urbanu sredinu, pored objekata za stanovanje i javnih ustanova i površina, čine i objekti pojedinih industrija i medicinski objekti.

Stvaranje otpadnih materija obuhvata one aktivnosti prilikom kojih materije dolaze u takvo stanje da više nemaju upotrebnu vrednost, te se bacaju ili se sakupljaju radi odlaganja.

Komunalni čvrst otpad je otpad iz domaćinstva, otpad koji nastaje čišćenjem javnih površina i otpad sličan otpadu iz domaćinstva koji nastaje u privredi, ustanovama i uslužnim delatnostima (Ilić i Miletić 1998). Taj otpad se redovno prikuplja i zbrinjava u okviru komunalnih delatnosti.

Količina i sastav otpada zavise od niza faktora: stepena ekonomske razvijenosti sredine, klimatskih uslova, veličine grada, načina stanovanja, metoda sakupljanja i transporta otpada, i sl. Mogu se napraviti različite podela otpada, kao što je prikazano na slici 1.

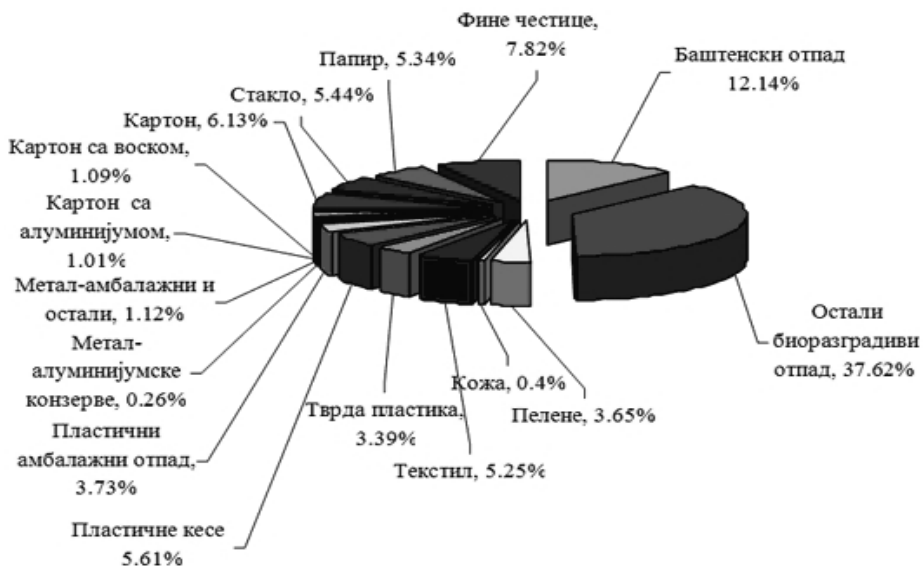


Slika 1. Podela otpada¹

Postojeće stanje u lokalnim samoupravama Republike Srbije karakterišu nepouzdati i nepotpuni podaci o količini generisanja komunalnog otpada. Količine komunalnog otpada na godišnjem nivou su proračunate na osnovu merenja otpada u referentnim lokalnim samoupravama. Na osnovu rezultata tih merenja, može se usvojiti da gradsko stanovništvo generiše prosečno 1kg komunalnog ot-

1 Slika preuzeta sa veb sajta <http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=9&id=202&akcija=showXlinked>

pada po stanovniku na dan, dok seosko stanovništvo prosečno generiše 0.7kg otpada/stanovniku/dan. U Beogradu se dnevno generiše 1.2kg otpada/stanovniku. Na osnovu popisa, gradsko stanovništvo čini 57%, dok je 43% seoskog stanovništva. U proseku, stanovnik Republike Srbije generiše 0.87 kg komunalnog otpada/dan (318 kg/godišnje), a sastav tog otpada, prema raspoloživim podacima, dat je na slici 2.



Slika 2. Prikaz morfološkog sastava komunalnog otpada u Srbiji

3. Upravljanje otpadom

Koncept hijerarhije upravljanja otpadom ukazuje da je smanjenje nastajanja otpada najefektivnije rešenje za životnu sredinu. Međutim, tamo gde dalje smanjenje nije praktično primenljivo, proizvodi i materijali mogu biti iskorišćeni ponovo, za istu ili drugu namenu. Ukoliko ta mogućnost ne postoji, otpad se dalje može iskoristiti kroz reciklažu, kompostiranje ili kroz dobijanje energije. Samo ako ni jedna od prethodnih opcija ne daje odgovarajuće rešenje, otpad treba odložiti na deponiju (Strategija upravljanja otpadom za period 2010–2019. godine, 2010).

U svetu se primenjuju sledeće tehnologije energetske valorizacije komunalnog čvrstog otpada:

- insineracija, sagorevanje,

- gasifikacija,
- piroliza,
- plazma tehnologija,
- anaerobna digestija,
- korišćenje deponijskog gasa.

Insineracija predstavlja proces kontrolisanog sagorevanja komunalnog čvrstog otpada, radi smanjenja zapremine i dobijanja toplotne energije. Sagorevanje je proces sa koeficijentom viška vazduha iznad jedan. Dolazi do termo-hemijske konverzije uz oslobađanje hemijske energije goriva, toplotne energije. Primenuje se kod goriva s ograničenim sadržajem vlage i višom toplotnom moći, koja je najčešće, u slučaju čvrstog komunalnog otpada, između 10 i 13 MJ/kg.

Gasifikacija je postupak termičke dekompozicije i odvija se slično kao i sagorevanje, ali s koeficijentom viška vazduha manjim od jedan. Materijal se konvertuje u gas koji se uglavnom sastoji od ugljenmonoksida, vodonika i metana.

Piroliza predstavlja postupak termičke dekompozicije, pri kojoj se materijal zagreva spoljašnjim izvorom toplote bez prisustva vazduha, a kao rezultat se dobija mešavina čvrstog, tečnog i gasovitog goriva. Jedan deo dobijenog goriva koristi se kao izvor toplotne energije za pirolizu.

Plazma proces: komunalni čvrst otpad se zagreva na visoku temperaturu, 3.000 do 15.000°C, pomoću *plazma arc* (piroliza plazmom u luku). Energija se oslobađa električnim pražnjenjem u inertnoj atmosferi. Ovim putem se organski otpad konvertuje u gas bogat vodonikom, a neorganske materije se nakon topljenja vitrifikuju.

Anaerobna digestija predstavlja proces mikrobiološke razgradnje bez prisustva vazduha. Prerađuje se visoko vlažna organska materija. Razgradnjom se dobija gas koji se prvenstveno sastoji od metana i ugljendioksida.

Deponijski gas se u najvećoj meri formira bakterijskom razgradnjom, bakterija koje su prisutne u otpadu i zemljištu kojim se deponija prekriva. Za razliku od anaerobne digestije, u ovom slučaju mikrobiološka razgradnja nije u potpunosti kontrolisana, a delimično se odvija i aerobna digestija. Postupak razgradnje isti je kao i kod anaerobne digestije, kao i dobijeni gas.

Svaka od navedenih tehnologija zahteva različite količine ulaznih sirovina, emituje različite količine ugljendioksida, ima različite izlazne produkte i različite je efikasnosti.

4. *Plazma proces*

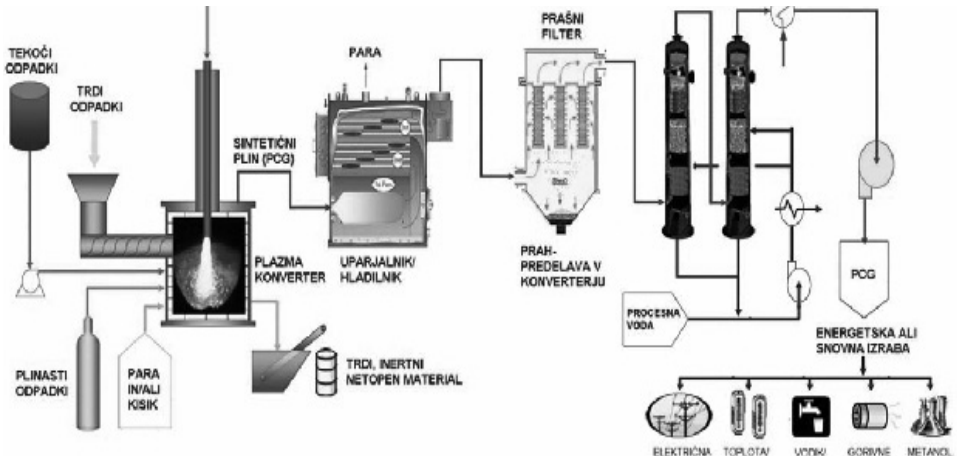
Plazmu je otkrio engleski fizičar ser Vilijam Kruks (Ser William Crookes, 1832–1914) 1879. godine. Danas se zna da plazma predstavlja jonizovani gas sastavljen od slobodnih elektrona i pozitivnih jona u takvom relativnom odnosu da je gasna sredina spolja gledano elektroneutralna. Da bi neki gas postao plazma, potrebno je dovesti dovoljnu količinu energije da se iz velikog broja atoma gasa izbace neki ili svi elektroni. Takva energija može biti u različitom obliku: termička, električna ili svetlosna. Zavisno od vrste atoma u plazmi, odnosa jonizovanih i neutralnih čestica, kao i energije čestica, postoji veliki broj tipova plazmi različitih karakteristika i ponašanja. Tako plazme mogu da budu relativno razređene i hladne ili veoma guste i zagrejane na izuzetno visoku temperaturu.

Šezdesetih godina XX veka američki istraživački centar NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) razvila je tehnologiju plazma gorionika, koji su bili namenjeni za testiranje materijala za izradu toplotnih štitova svemirskih letelica. Tehnologija je desetak godina kasnije komercijalizovana za primenu u metalurškoj industriji.

Osamdesetih godina prošlog veka, istraživači su započeli ispitivanje mogućnosti primene tehnologije za topljenje čvrstog otpada. Intenzivna energija i visoke temperature (i do 16.649°C) koje razvijaju plazma gorionici, u stanju su da nepovratno razore čvrsti otpad na molekulskom nivou, stvarajući staklastu šljaku bogatu teškim metalima koji se lako mogu regenerisati i ponovo upotrebiti, i gas bogat ugljenikom i vodonikom koji može služiti za dobijanje električne energije.

U procesu spaljivanja ne dolazi do značajnog oslobađanja kontaminata u atmosferu i u proseku emisije dioksina i furana iznose oko 1% vrednosti emisija pri insineraciji. Tehnologiju su zajedno osavremenile jedna britanska i dve američke kompanije, a treća američka kompanija *Startech Environmental* podigla je taj proces na viši nivo.² Oni su uveli membranski sistem za prečišćavanje gasa u cilju ekstrakcije čistog vodonika za upotrebu u gorivnim ćelijama i takođe adaptirali tehnologiju, kako bi se kao krajnji proizvod mogao dobiti i metanol.

U zavisnosti od ulazne sirovine, menja se samo količina električne energije koja je potrebna za razgradnju otpada i procenat vodonika u gasu. U proseku, plazma konverter troši 1/3 proizvedene struje za sopstvene potrebe, a ostatak od dve



Slika 3. Prikaz linije za tretman otpada primenom plazma tehnologije

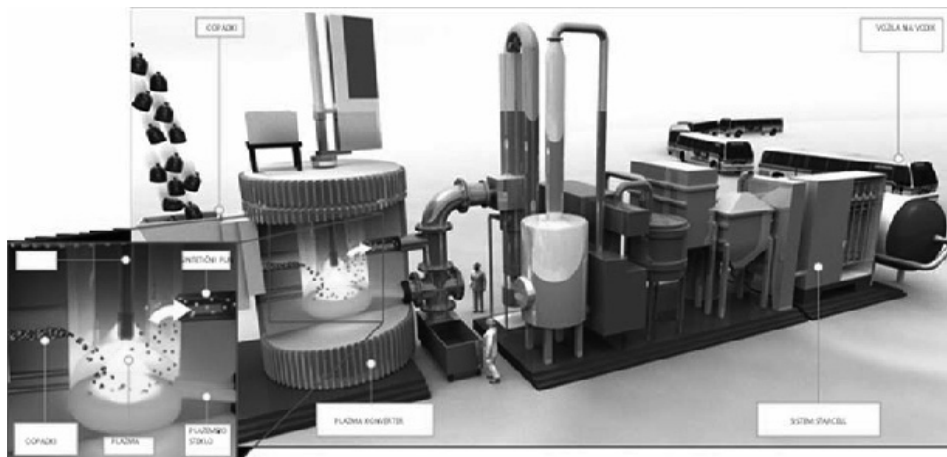
trećine ostaje na raspolaganje i može se koristiti u komercijalne svrhe, što smanjuje cenu plazma postupka koja je i jedina mana ove tehnologije.

Konstrukcija plazma konvertera, koja se može videti na slikama 3. i 4. omogućava istovremeni unos čvrstog, tečnog i gasovitog otpada. Sistem je sve vreme doziran u malom podpritisku, tako da ispuštanje gasnih materija u okolinu nije moguće, a apsolutni pritisak u samom sistemu približan je atmosferskom. Na dnu se nalazi talog koji sadrži metale, silikate i minerale i koji se kontinuirano ili povremeno može ispustiti iz konvertera. Kada talog očvrsne, postaje staklasta šljaka, veoma stabilna, nerastvorna i neotrovn (ovakve nalaze potvrdila je i Američka agencija za zaštitu životne sredine), pa se može koristiti kao građevinski i termoozolacioni materijal.

Proizvedeni sintetički gas (PCG) ima na izlazu temperaturu oko 1.400°C , koja se spušta do 120°C u procesu hlađenja, a taj višak toplote može se koristiti na razne načine: grejanje, pogonsko gorivo i sl.

Nasuprot ostalim termičkim tehnologijama, plazma konverteru treba znatno manje vazduha, zbog čega je protok gasa mnogo manji i to omogućuje lakše čišćenje gasa, tako da nastaje malo sporednih produkata, koji se inače vraćaju u konverter, gde se razgrađuju. Posle celokupnog procesa čišćenja, prosečna struktura sintetičkog gasa je sledeća: $55\% \text{H}_2$, $33\% \text{CO}$, $9\% \text{CO}_2$, $2\% \text{CH}_4$ i $1\% \text{O}_2$. Mogućnosti upotrebe ovakvog gasa su višestruke. Energetska upotreba je moguća klasičnim paljenjem u kotlu za proizvodnju toplote ili posredno, hlađenjem; za proizvodnju električne i toplotne energije u gasnim turbinama, motorima sa unutrašnjim sa-

gorevanjem ili čak pogonskim ćelijama. Moguća je i materijalna eksploatacija, jer proizvedeni vodonik postiže čistoću od 99% i može se upotrebljavati kao pogonsko gorivo u vozilima.



Slika 4. Plazma konverter

5. Upotreba plazma tehnologije i finansijski osvrt

Trenutno u svetu rade postrojenja sa plazma tehnologijom u Sjedinjenim Državama, Japanu, Australiji, zatim na jugu Italije i u Engleskoj. Pri tom, najstariji evropski plazma konverter je u francuskom gradu Bordou. U fazi realizacije su plazma postrojenja u: Moskvi, Firenci, Poljskoj, Šangaju, Portoriku i još jedno u Australiji (Terzić 2005).

Postrojenje u Mihami-Mitaki, u Japanu, radi od 2002. godine i dnevno obradi 22 t komunalnog otpada i mulja od prerade otpadnih voda, a postrojenje u Utašinaiju (iz 2003. godine) isplativo radi i sa pola kapaciteta, 80t (od projektovanih 165 t), proizvodeći pri radu 5 MW struje (od projektovanih 8 MW za pun kapacitet). Od proizvedene struje 1 MW se prodaje, a ostatak koristi u pogonu, dok se staklasta šljaka koristi za proizvodnju ivičnjaka za trotoare, kao šljunak, pa čak i za izradu nakita. Rok trajanja plazma baklji je 6 meseci, koštaju oko 82.000 €, a u reaktoru se obično koriste dve.

Postrojenja sa plazma tehnologijom imaju niz dobrih karakteristika, kao što su: kapacitet od 0.5 kg do preko 1.000 t prerade na dan; postrojenje može biti mobilno ili stacionarno; zapremina otpada se smanjuje za 300, a medicinskog za čak

800 puta; mogu prerađivati otpad svih agregatnih stanja, vrsta i porekla istovremeno; rade bez buke ili na veoma tihom režimu; mogu raditi i u režimu od par sati dnevno i 24 sata bez prestanka i pauza, hlađenja i sl. a zaustavljanje ili pokretanje procesa može se raditi momentalno bez opasnosti.

Prema proračunu iz susedne Hrvatske (Miličić i Vego 2007), a zbog sličnih ekonomskih, geografskih i društvenih karakteristika, može se izvesti gruba računica investicije koja bi rešila zbrinjavanje otpada u Republici Srbiji.

S obzirom na to da Beograd ima tri i po puta više stanovnika od Splitsko-dalmatinske županije, za koju je rađen proračun, a sakupi četiri puta više otpada godišnje, može se sa velikom dozom verovatnoće zaključiti da bi investicioni trošak za izgradnju postrojenja sa plazma tehnologijom bio četiri puta veći, tj. 492 miliona eura, operativni troškovi 168.5 miliona eura godišnje, a prihod od dovezenog otpada i prodaje električne energije godišnje oko 180.2 miliona eura. Razlika od 11.7 miliona eura godišnje, sama po sebi je dovoljan razlog za skretanje pažnje na plazma proces, ali glavni argumenti su ipak na strani zaštite životne sredine i održivog razvoja.

Proračuni koji se mogu aproksimirati iz onih sprovedenih u Sjedinjenim Državama, čak ukazuju na to da bi za kapacitet Beograda izgradnja postrojenja koštala manje od 350 miliona eura i da bi proizvodnja etanola mogla biti profitabilnija od proizvodnje struje.³

I na svetskom i na evropskom nivou postoje mnogi podsticajni fondovi namenjeni za realizaciju projekata koji doprinose zaštiti životne sredine. Rešavanje problema komunalnog čvrstog otpada, a posebno ukoliko se on koristi i u energetske svrhe, ima značajan prioritet, pa se za ovakvu investiciju može računati i na finansijsku podršku (Studija 2008).

6. Zaključak

Plazma tehnologija je bez konkurencije najbolji tehnološki postupak u upravljanju otpadom, jer svi drugi postupci smanjuju problem, ali ga ne rešavaju. Plazma proces upravo to nudi – rešavanje problema otpada, i to svih vrsta osim radioak-

³ Preuzeto sa: <http://www.waste-management-world.com/articles/print/volume-10/issue-4/features/plasma-gasification-clean-renewable-fuel-through-vaporization-of-waste.html>

tivnog, pri tom skoro bez negativnog uticaja na životnu sredinu i ljudsko zdravlje, a uz najnižu cenu za tretman po toni komunalnog otpada.

Ranije se ova tehnologija odbacivala zbog visoke cene, ali razvojem tehnologije i uračunavanjem ekoloških troškova u proračune za druge procese, dolazi se do zaključka da je cena čak i povoljnija. Dosadašnja loša okolnost (nepostojanje postrojenja za tretman otpada) u Srbiji, sad može postati naša prednost, jer je ulaganje u ovu oblast neminovno i može se iskoristiti da umesto transfera „prljave tehnologije“ Republika Srbija postane lider u upravljanju otpadom u Evropi.

Literatura:

Dodge, Ed. *Plasma gasification: Clean renewable fuel through vaporization of waste*. Preuzeto sa: <http://www.waste-management-world.com/articles/print/volume-10/issue-4/features/plasma-gasification-clean-renewable-fuel-through-vaporization-of-waste.html>

Ilić, M. i S. Miletić. 1998. *Osnovi upravljanja čvrstim otpadom*. Beograd: Institut za ispitivanje materijala.

Miličić, J. i G. Vego. 2007. „Tehnologija rasplinjavanja na osnovi plazme pri rešavanju problema otpada.“ *Časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera Građevinar* 59(7): 607–615.

Katedra za Inženjerstvo zaštite životne sredine. 2008. *Studija mogućnosti korišćenja komunalnog otpada u energetske svrhe (Waste to energy) na teritoriji Autonomne pokrajne Vojvodine i Republike Srbije*. Novi Sad: Pokrajinski sekretarijat za energetiku i mineralne sirovine i Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu

Katedra za Inženjerstvo zaštite životne sredine. 2009. *Utvrdjivanje sastava otpada i procene količine u cilju definisanja strategije upravljanja sekundarnim sirovinama u sklopu održivog razvoja Republike Srbije*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu.

Startech plazma konvertor, katalog u PDF formatu. Preuzeto sa: http://www.step.co.rs/sr/sistem_konsalting/plazma-konvertor.html

Strategija upravljanja otpadom za period 2010–2019

Summary:***Plasma Technology in the WasteManagement***

This paper is a short review of possible waste treatments with energy reuse and presents plasma technology, currently the most sophisticated technological solution for the waste treatment. The paper is based on the operating experience from the developed countries and the results of the existing research. Serbia will have big requests in future, regarding the integrations in the European Union and national strategic milestones. The conclusion of this review stresses that we should give the special attention to plasma technology, since the biggest disadvantage of this technology in the past, huge investment, has been solved with new achievements.

Key words: solid waste, waste management, plasma technology, energy from the waste, plasma converter, waste processing, incineration, vitrified slag, environmental protection, investment cost

Rad prijavljen: 27. 8. 2014.

Rad recenziran: 11. 9. 2014.

Rad prihvaćen: 18. 9. 2014.