

6. (12.) savjetovanje

Opatija, 13. - 16. svibnja 2018.

Dinko Đurđević, mag.ing.oecoiing.
Energetski institut Hrvoje Požar
Odjel za obnovljive izvore energije, energetska
efikasnost i zaštitu okoliša
ddurdevic@eihp.hr

Dr.sc. Branka Jelavić
Energetski institut Hrvoje Požar
Odjel za obnovljive izvore energije, energetska
efikasnost i zaštitu okoliša
bjelavic@eihp.hr

OTPAD KAO IZVOR ENERGIJE I UTJECAJ ENERGETSKE OPORABE OTPADA NA OKOLIŠ

SAŽETAK

Zbog porasta standarda stanovništva, u posljednjih nekoliko desetljeća konstantno dolazi do nastajanja sve većih količina otpada, ali i potrebe za proizvodnjom energije. Kako je odlaganje neobrađenog otpada postala neprihvatljiva opcija za zbrinjavanje komunalnog otpada, potrebno je pronaći način da se isti materijalno i/ili energetski oporabi. Učinkovitost korištenja resursa odnosno održivog razvoja gospodarstva i društva mjera je politike zaštite okoliša koja predstavlja izazov kako na europskoj tako i na razini Republike Hrvatske. Zbog konstantnog nastajanja novih količina otpada, može se reći da je on svojevrsni kontinuirani izvor energije. Pretvorba otpada u energiju (eng. *waste-to-energy*) smatra se optimalnom metodom za rješavanje problema upravljanja otpadom na održiv način. Energetskom oporabom otpada dolazi do smanjenja njegova volumena i količina te se istovremeno dobiva potrebna (električna i/ili toplinska) energija. No, na taj način se ne rješava problem u potpunosti jer dolazi do stvaranja novih nus-proizvoda koje je potrebno zbrinuti na neki drugi način (npr. pepeo iz spaljivanja, ugljen iz pirolize ili rasplinjavanja, digestat iz anaerobne digestije, itd.). U ovom radu će biti napravljen kratak pregled količina otpada raspoloživih u Hrvatskoj za energetska oporabu, zatim tehnologija kojima je moguće proizvesti energiju iz otpada, kao i prikaz potencijalnih opasnosti za okoliš svake tehnologije. Na kraju, u zaključku će biti predložena najpovoljnija tehnologija s aspekta zaštite okoliša.

Ključne riječi: otpad-u-energiju, održivo gospodarenje otpadom, energetska oporaba, zaštita okoliša

WASTE AS AN ENERGY SOURCE AND IMPACT OF WASTE UTILIZATION ON ENVIRONMENT

SUMMARY

In the last few decades there is a constant increase in waste production because of increase in living standards, which leads to increase of demand for energy production. As landfilling of untreated waste has become an unacceptable option for municipal waste treatment, it is necessary to find options to utilize waste with material and/or energy recovery. Efficient utilization of resources and waste, i.e. sustainable economy development is a measure of environment protection policy which presents a challenge on European and Croatian level. Because of constant production of new waste, it can be said that it is continuous energy source. Waste-to-energy is an optimal method for solving the problem of waste management in a sustainable way. Energy utilization of waste leads to volume reduction and gives the necessary (electrical and/or heat) energy. However, this does not solve the waste problem completely because it leads to formation of by-products that need to be managed in another way (e.g. ash from combustion, char from pyrolysis/gasification, digestate from anaerobic digestion, etc.). This paper will present an overview of waste amounts in Croatia that are available for energy production, technologies that can produce energy from waste and potential threats of each technology to the environment. Conclusion will contain a suggestion of the best technology from the aspect of environment protection.

Key words: waste-to-energy, sustainable waste management, energy utilization, environmental protection

1. UVOD

Razvoj civilizacije donio je uz mnoga pozitivna dostignuća i brojne neželjene posljedice, među kojima je jedan od najznačajnijih stvaranje ogromnih količina krutog otpada koji se ne uklapa u prirodne kružne cikluse materije i energije. Otpad je pitanje koje utječe na sve nas.

Eksplozivni rast količina krutog otpada koji nastaje širom svijeta izravna je posljedica naglog gospodarskog rasta u kojem je izostala briga o zbrinjavanju proizvoda nakon uporabe, što je posebno izraženo u uvjetima „poplave“ jeftinih, ali ne i trajnih proizvoda na tržištu.

Ako se ne može spriječiti nastanak otpada ili njegovo recikliranje, u većini slučajeva je bolje oporabiti njegovu energiju nego odložiti ga na odlagalište, i u smislu utjecaja na okoliš i u gospodarskom smislu. Stoga proizvodnja energije iz otpada može imati važnu ulogu pri stvaranju sinergija s energetsom i klimatskom politikom Europske Unije (EU), ali se taj proces mora ravnati prema načelima EU-ove hijerarhije otpada. Pretvorba otpada u energiju (eng. *waste-to-energy*, WTE) smatra se optimalnom metodom za rješavanje problema upravljanja otpadom na održiv način.

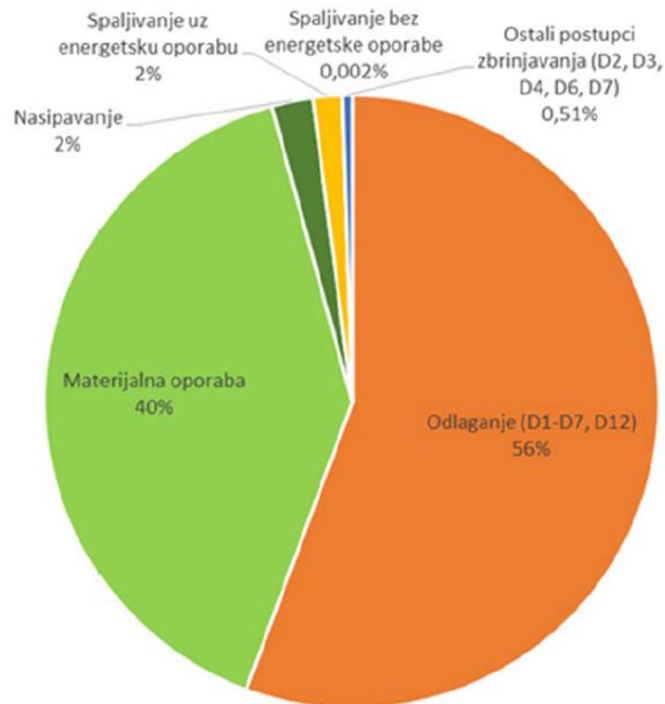
Procesom urbanizacije dolazi do povećanja količina krutog komunalnog otpada te smanjenjem slobodnog prostora unutar urbanih centara. Proizvedeni otpad se uglavnom sortira za proces recikliranja, a otpad koji nije moguće reciklirati se u visokom postotku odlaže na odlagališta. Zbog toga dolazi do konstantnog smanjenja prostora za odlaganje, kao i kontinuirane proizvodnje emisija iz otpada, koje uglavnom sadrže metan (staklenički plin) [1].

Odlagališta su kompleksni sustavi međuzavisnih komponenti i podsustava koji zajedno rade na raspadu i stabilizaciji odloženog otpada tijekom određenog vremenskog perioda. Odlaganje je zastario, ali i dalje vrlo popularan način za zbrinjavanje krutog komunalnog otpada. Većina odlagališta nema postrojenje za proizvodnju energije, što je potrebno što prije promijeniti kako bi se mogla učinkovito oporabiti energija sadržana u otpadu.

2. RASPOLOŽIVE KOLIČINE OTPADA U HRVATSKOJ

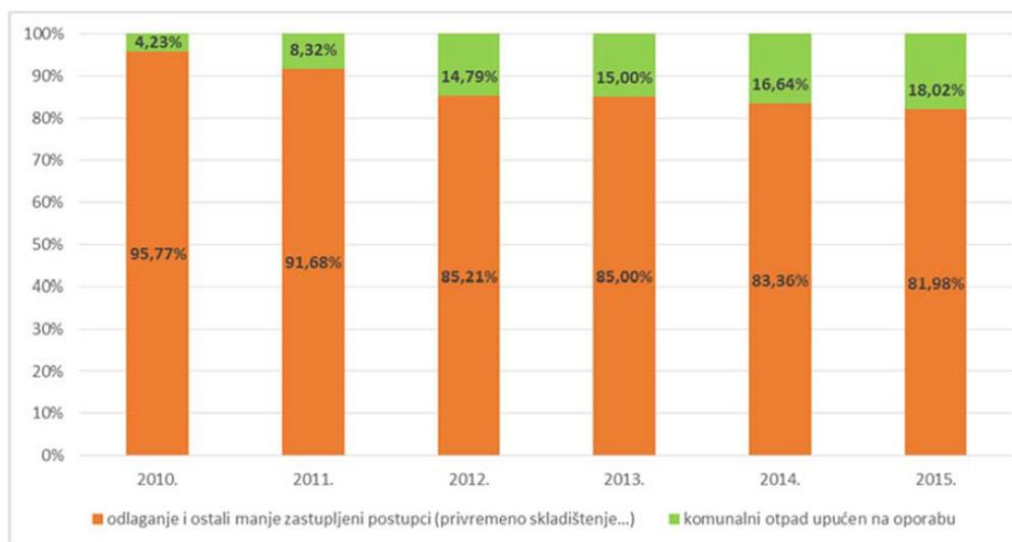
U Republici Hrvatskoj (RH) odlaganje je i dalje najčešći oblik zbrinjavanja proizvedenog komunalnog otpada. S obzirom na porijeklo otpada, najveći udio nastaje u kućanstvima (31 %), čime su obuhvaćene različite vrste otpada koje proizvode građani, od komunalnog otpada do drugih vrsta otpada kao što su, npr. otpadna vozila.

U 2014. godini ukupno evidentirane količine proizvedenog otpada (komunalnog i proizvodnog) iznosile su oko 3,7 milijuna tona, što je za 10,5 % više u odnosu na 2012. godinu. U ukupnoj količini otpada 97 % čini neopasni otpad, dok preostalih 3 % čini opasni otpad [2]. Navedene količine otpada je moguće oporabiti, no većina se i dalje odlaže na odlagališta, kao što je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Udio postupaka uporabe/zbrinjavanja ukupnog otpada s područja RH u 2014. godini prema prijavama obrađivača otpada (Izvor: Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, HAOP)

U odnosu na 2012. godinu, uočeno je smanjenje u primjeni postupka odlaganja otpada za 10 % te porast uporabe za 8 %. Iako se većina otpada i dalje odlaže, moguće je uočiti porast procesa uporabe, kao što je prikazano na Slici 2.



Slika 2. Gospodarenje komunalnim otpadom u RH u razdoblju od 2010. do 2015. (Izvor: HAOP, 2016.)

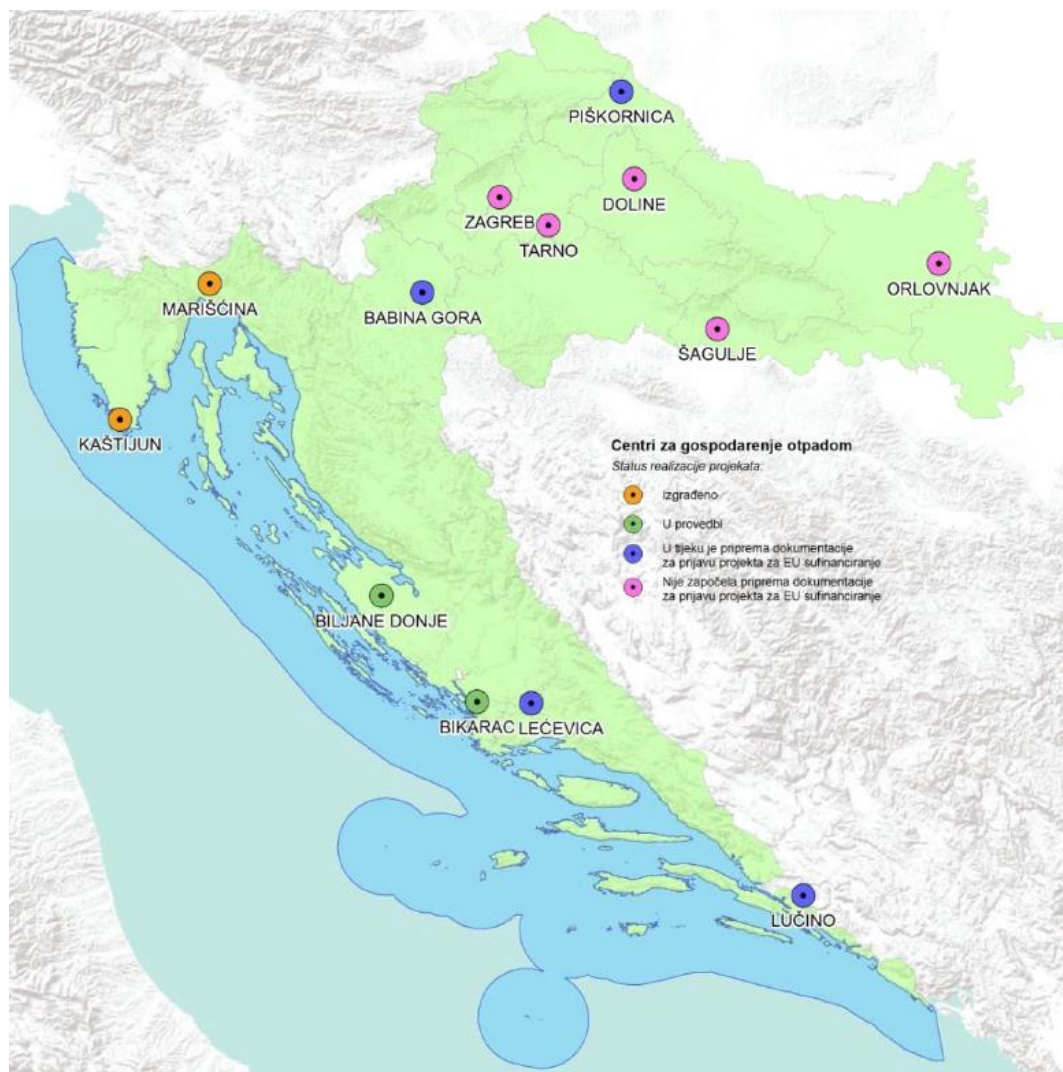
Pored 18 % oporabljenog (pri čemu se tek 2 % odnosi na kompostiranje i anaerobnu digestiju (AD)) i 80 % odloženog otpada u 2015. godini, preostalih 2 % čine količine privremeno uskladištenog komunalnog otpada i procijenjene količine za neobuhvaćeni dio stanovništva, za koje nije bilo moguće odrediti način postupanja. U Tablici 1. su prikazani postoci uporabe komunalnog otpada po županijama.

Tablica 1. Procjena proizvedenih količina komunalnog otpada i gospodarenja istim u 2015. godini, po županijama (Izvor: HAOP, 2016.)

Županija	Ukupno proizvedena količina komunalnog otpada (t)	Komunalni otpad upućen na oporabu (t)	Stopa oporabe komunalnog otpada (%)
Zagrebačka	83.601	18.467	22,1
Krapinsko-zagorska	18.687	4.282	22,9
Sisačko-moslavačka	51.303	6.628	12,9
Karlovačka	46.163	5.304	11,5
Varaždinska	34.192	8.389	24,5
Koprivničko-križevačka	25.725	6.311	24,5
Bjelovarsko-bilogorska	30.596	4.359	14,2
Primorsko-goranska	169.447	38.717	22,8
Ličko-senjska	24.986	4.314	17,3
Virovitičko-podravska	25.060	5.369	21,4
Požeško-slavonska	15.961	2.497	15,6
Brodsko-posavska	41.139	8.735	21,2
Zadarska	108.784	13.190	12,1
Osječko-baranjska	79.882	13.605	17,0
Šibensko-kninska	55.152	8.452	15,3
Vukovarsko-srijemska	53.474	8.146	15,2
Splitsko-dalmatinska	246.396	27.798	11,3
Istarska	138.690	22.814	16,4
Dubrovačko-neretvanska	71.900	12.525	17,4
Međimurska	27.065	10.349	38,2
Grad Zagreb	305.714	67.774	22,2
Ukupno	1.653.918	298.026	18,0

Hrvatska vlada je u siječnju 2017. godine prihvatila novi Plan gospodarenja otpadom za razdoblje od 2017. do 2022. koji se temelji na kružnom gospodarstvu, što znači da se otpad više ne tretira kao smeće koje će završiti na odlagalištu. Nastali otpad bi prema novome Planu trebao biti odvožen do centara za gospodarenje otpadom (CGO) u kojima bi trebao biti zbrinut na primjeren način i oporabljen.

Osim već izgrađenih CGO-a (Kaštijun i Marišćina) i CGO-a koji su u provedbi (Biljane donje i Bikarac) nastavit će se s pripremom CGO-a definiranim Planom gospodarenja otpadom u RH za razdoblje 2007. – 2015. godine (Slika 3.) kao i s pripremom CGO-a na novo utvrđenim lokacijama.



Slika 3. Položaj i obuhvat planiranih CGO-a sukladno Planu gospodarenja otpadom RH za razdoblje od 2007. do 2015. godine prema trenutnom statusu realizacije [2]

Kao što se iz podataka vidi, moguće je zaključiti da je u RH postupak uporabe i recikliranja otpada slabo zastupljen. S obzirom na činjenicu da postoji slabo razvijen sustav reciklažnih dvorišta i sortirnica, a CGO-ima je potreban dug proces uspostave rada te količine otpada na odlagalištima rastu iz dana u dan i stvaraju sve veći pritisak na okoliš, energetska uporaba otpada se čini kao prikladno rješenje.

Moguće je također uočiti problem prikupljanja i obrade podataka o konačnim količinama otpada i načinima na koji se on zbrinjava. Navedeni i buduće korišteni podaci u ovome radu su posljednji javno objavljeni podaci koji su dostupni. Taj problem bi mogao biti riješen prihvaćanjem novog *Pravilnika o gospodarenju otpadom* [3] kojim je definiran obrazac Plana gospodarenja otpadom proizvođača otpada (PGO-PO) čime se obavezuje proizvođače otpada da vode zapisnik o količinama proizvedenog otpada.

3. TEHNOLOGIJE ZA ENERGETSKU OPORABU OTPADA

U Njemačkoj je slučaj drugačiji nego u RH, te su već postignuti ciljevi EU koji nalažu da se 50% krutog komunalnog otpada reciklira, te se količina recikliranog otpada u ukupnoj količini povećala s 48% u 2001. godini, na 62% u 2010. godini, kad je uvedena potpuna zabrana odlaganja nerazdvojenog i neobrađenog krutog otpada na odlagališta [4]. Nakon prethodnih procesa za separaciju organskog ili biorazgradivog otpada od anorganskog otpada, koji se odvodi na daljnju obradu, organski otpad se

odvodi u postrojenja za obradu, poput AD ili termalnu obradu za energetske oporabu, gdje se obrađuje skupa s ostalim materijalima koji sadrže ugljik.

U nastavku će biti prikazane i druge metode koje se mogu koristiti za energetske oporabu otpada, a uz svaku će biti navedeni i njeni nus-proizvodi koji bi mogli imati potencijalno štetan utjecaj na okoliš.

3.1. Izgaranje

Izgaranje (engl. *combustion*) je proces potpune termičke degradacije tvari s dovoljnom količinom kisika u svrhu potpune oksidacije goriva. Općenite karakteristike izgaranja otpadnih materijala su sljedeće:

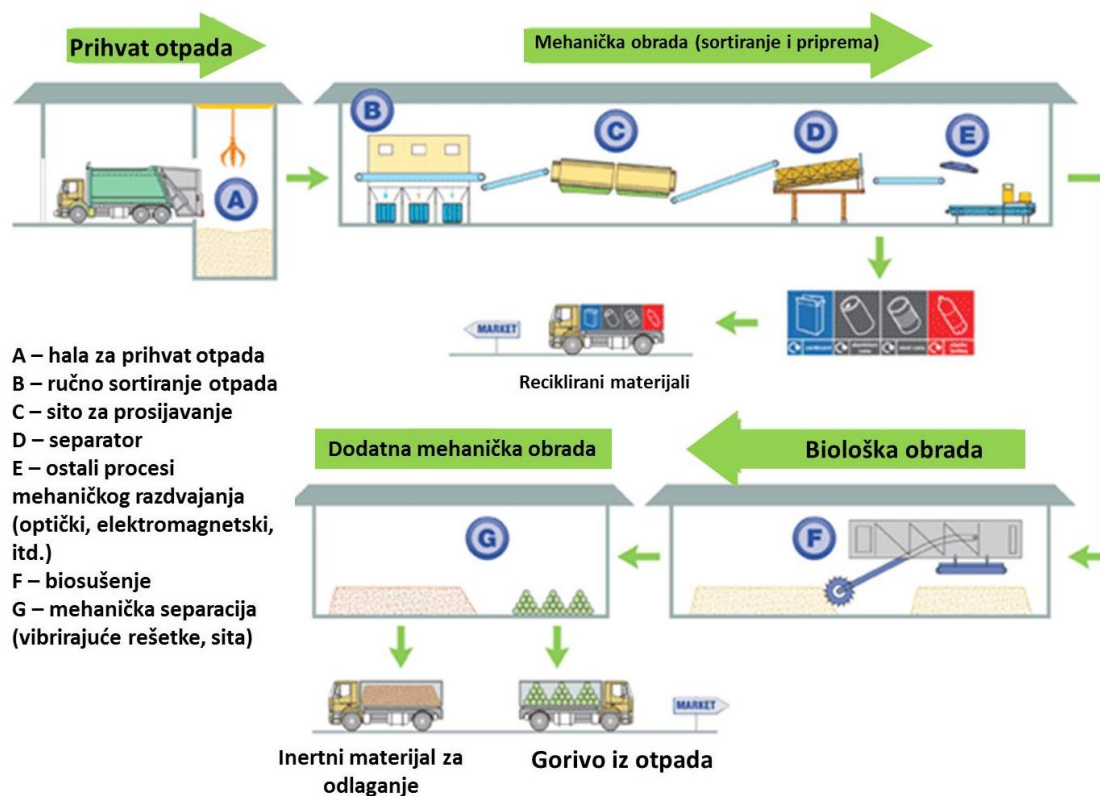
- Višak zraka je potreban da bi se osiguralo potpuno izgaranje;
- Maksimalne temperature u procesu su obično iznad 1 000 °C;
- Gorivo u potpunosti oksidira u ugljikov dioksid (CO₂) i vodenu paru, ostavljajući samo mali dio ugljika u pepelu (manje od 3 % masenog udjela pepela);
- Pretvaranje kemijske energije sadržane u gorivu u toplinsku energiju, a u pepelu ostaje vrlo mali udio nekonvertirane kemijske energije.

Spaljivanje ukupnog miješanog otpada (nerazvrstanog) komunalnog otpada na pomičnoj rešetki danas je široko rasprostranjeno i temeljito ispitana tehnologija. Ova tehnologija zadovoljava tehničke i tehnološke zahtjeve i može se koristiti kod otpada čije karakteristike, poput sastava i ogrjevne moći, variraju u vrlo širokom opsegu.

Tehnologija izgaranja na rešetki pogodna je za obradu većih količina otpada, tj. za više od 100.000 tona otpada godišnje. Povećanjem kapaciteta pogona, smanjuje se cijena spaljivanja po toni otpada, a povećava se energetska učinkovitost oporabe. Zavisno od lokalnih uvjeta, uzima se da je izgaranjem jedne tone komunalnog otpada moguće proizvesti 400-700 kWh električne energije [5]. Točan iznos ovisi o veličini energane i parametrima pare, a najviše o kalorijskoj vrijednosti otpada.

Već je rečeno kako se spaljivanjem otpada smanjuje njegov volumen i masa te se uništavaju potencijalno opasne tvari iz otpada. Ipak, dimni plinovi koji nastaju izgaranjem otpada su štetni i moraju proći postupak pročišćavanja, nakon čega se mogu ispustiti u atmosferu. Također, bilo kakvi negorivi materijali koji bi se mogli naći u otpadu (npr. metali, staklo), ostaju kao krutina u obliku pepela. Navedene dvije otpadne struje koje nastaju u procesu mogu predstavljati značajan problem za upotrebu ove metode energetske oporabe otpada, s okolišnog aspekta. Kako bi se nastali otpadni tokovi primjereno zbrinuli potrebne su napredne metode zbrinjavanja koje imaju visoke troškove ulaganja i održavanja, što znatno poskupljuje proces obrade te na kraju i dalje preostaje pepeo koji je potrebno zbrinuti. On se najčešće odlaže, no moguće ga je koristiti i kao građevinski materijal u određenim dijelovima građevinskog sektora.

Ova tehnologija ne zahtijeva intenzivan predtretman otpada te se može iskoristiti za nerazvrstan komunalni otpad. Međutim, tamo gdje će postojati CGO s tehnologijom mehaničko-biološke obrade (MBO), ova tehnologija nije prikladna jer postoje bolji i učinkovitiji načini termičke obrade goriva iz otpada nastalog u MBO sustavu. Naime, MBO tehnologija obuhvaća dva ključna procesa: mehaničku i biološku obradu otpada (shema na Slici 4.), pri čemu se različiti elementi svakog od procesa mogu konfigurirati na različite načine kako bi se dobio širok raspon specifičnih ciljeva: maksimiziranje količine obnovljivih sirovina, proizvodnja visoko kvalitetnog goriva iz otpada definiranih svojstava, proizvodnja bioplina za proizvodnju topline i/ili električne energije, itd.



Slika 4. Shema procesa mehaničko-biološke obrade komunalnog otpada

3.2. Piroliza

Piroliza (eng. *pyrolysis*) je proces degradacije (raspadanja) kemijskih molekula pod utjecajem visokih temperatura (300-900°C) u anaerobnim uvjetima [6, 7]. Glavne grupe proizvoda koje nastaju tijekom pirolize otpadnog mulja su:

- Plinovita frakcija, koja uglavnom sadrži vodik (H_2), metan (CH_4), ugljikov dioksid (CO_2), nekim plinovima u tragovima, a kalorijska vrijednost pirolitičkog plina iznosi 10-20 MJ/m³.
- Kruta frakcija (biougljen, eng. *biochar*) koja također uključuje i inertne spojeve i prašinu sa značajnom količinom teških metala.
- Tekuća frakcija, koja sadrži uglavnom ulja, vodu, katran i organske spojeve.

Omjer pirolitičkih komponenti ovisi prvenstveno o temperaturi i tlaku procesa te turbulencijama u reaktoru, ali i brojnim ostalim faktorima.

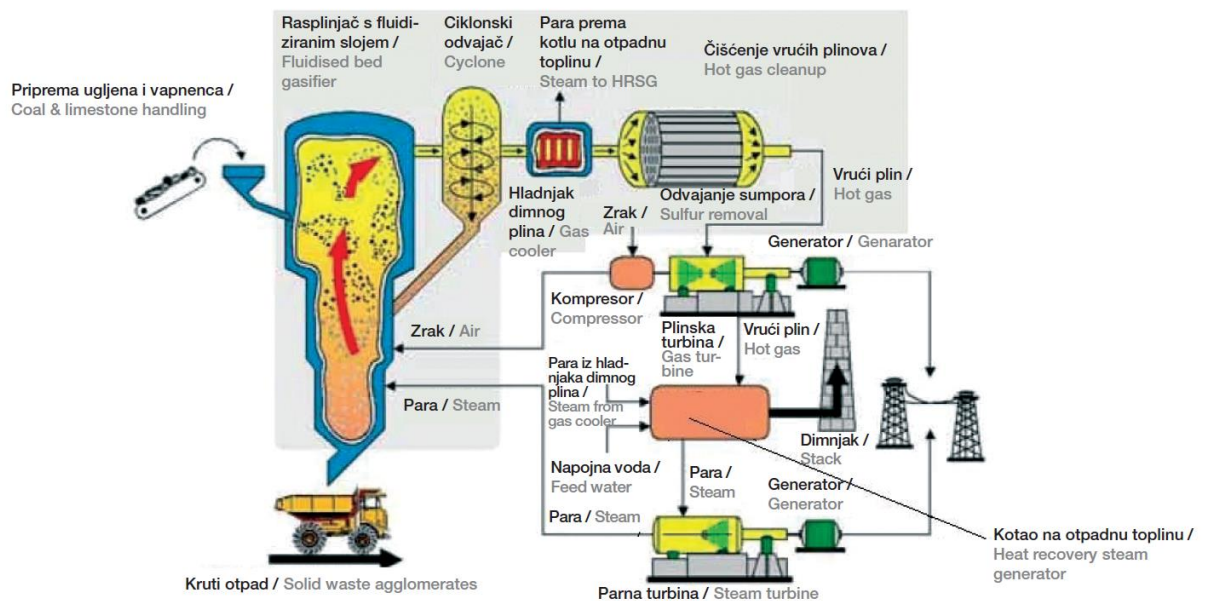
Piroliza je proces koji ima prednosti prema konvencionalnom spaljivanju u pogledu ekonomije goriva, energetske rekuperacije i kontrole emisija teških metala [8]. Međutim, učinkovitost procesa je ograničena sadržajem vlage u mulju, koja može biti maksimalno 20-25 % .U usporedbi sa spaljivanjem, piroliza je termalna degradacija tvari bez prisustva kisika. Proces zahtijeva vanjski izvor energije kako bi se zadržala temperatura potrebna za proces.

Piroliza također ima potencijal inovativnijeg korištenja pirolitičkog sintetskog plina nego što je to neposredno izgaranje radi proizvodnje topline. Piroliza se općenito odvija na nižim temperaturama nego što je to slučaj kod izgaranja i rasplinjavanja. Rezultat je manje isplinjelog ugljika i određenih drugih onečišćivača u plinu, poput teških metala i prekursora za stvaranje dioksina. To znači da će dimni plinovi zahtijevati manje čišćenja da bi se postigle propisane granične vrijednosti emisija (GVE). Bilo koji onečišćivač koji nije isplinjeno biti će zadržan u krutim ostacima koji se trebaju zbrinuti na ekološki

prihvatljiv način. Kruti ostatak iz procesa pirolize može sadržavati do 40 % ugljika što predstavlja značajan udio ulazne energije otpada. Iskorištavanje te energije iz čađe je zbog toga važno za energetska učinkovitost, no nakon toga je ponovno potrebno zbrinuti teške metale i ostala onečišćenja koja se nalaze u novom nus-proizvodu.

3.3. Rasplinjavanje

Rasplinjavanje (eng. *gasification*) je proces sličan pirolizi, ali dolazi do nastajanja samo jednog zapaljivog plina, koji se može upotrijebiti lokalno. Riječ je o procesu parcijalne termičke degradacije tvari u prisustvu kisika, ali s nedovoljnom količinom kisika da bi gorivo u potpunosti oksidiralo (tj. proces se odvija u pod-stehiometrijskim uvjetima). Kapitalni i operativni troškovi su slični kao i kod procesa pirolize te razlika između navedena dva procesa leži samo u nastalom proizvodu. Rasplinjavanje proizvodi suvišak energije i zbog toga zahtijeva dodatnu energiju samo tijekom pokretanja procesa (proces se odvija pri $>750\text{ }^{\circ}\text{C}$). Nastali plin sadrži CO , H_2 , CH_4 i ugljikohidrate u tragovima poput etana i etena, vode, dušika i različitih onečišćenja poput malih čestica ugljena, pepela, katrana i ulja. Ukoliko se koristi zrak kao plin za rasplinjavanje, dolazi do nastajanja plina koji ima kalorijsku vrijednost od $10\text{-}15\text{ MJ/m}^3$, dok je korištenjem zraka kao oksidansa $4\text{-}10\text{ MJ/m}^3$ (neto ogrjevna moć prirodnog plina se kreće oko $34\text{-}38\text{ MJ/m}^3$.) te sadržaj dušika od 50-60% [9]. Tipičan proces rasplinjavanja prikazan je na Slici 5.:



Slika 5. Kombinirano postrojenje s rasplinjavanjem u fluidiziranom sloju

Pri rasplinjavanju i pirolizi nastaju krute čestice koje uključuju metale i ugljik. U slučaju rasplinjavanja, sadržaj ugljika je nizak, dok je u slučaju pirolize, on visok. Veće krute čestice se u termalnom reaktoru uglavnom talože na dno u obliku pepela i šljake, dok se lakše čestice sakupljaju tijekom pročišćavanja plina upotrebom ciklona i filtera. Dodatno, hlapivi metali poput olova, kositra, kadmija i žive bit će nošeni zrakom dok se plin ne ohladi dovoljno da ih je moguće ukapljiti.

3.4. Anaerobna digestija

Anaerobna digestija (AD) je prirodni proces raspadanja tijekom kojeg organske tvari degradiraju u jednostavnije kemijske komponente u anaerobnim uvjetima pomoću anaerobnih mikroorganizama. Reakcija se odvija u zatvorenom reaktoru, uz grijanje i miješanje, u 3 stupnja: hidroliza (razgradnja kompleksnih organskih spojeva u jednostavnije), acidogeneza (proizvodnja CO₂ i H₂) i metanogeneza (stvaranje CO₂ i CH₄), čime se kao konačni proizvodi procesa dobivaju bioplina i stabilizirani digestat [10].

Bioplina proizveden u AD je spaljivan za proizvodnju energije koja se koristi za rad postrojenja. Proizvedena toplinska energija u jedinici za kogeneraciju služi za grijanje digestora, gdje je potrebno oko 25 % proizvedene topline (u srednjoeuropskim klimatskim uvjetima) [11]. Dobivena električna energija može se koristiti za rad postrojenja, ali se većim dijelom prodaje u elektroenergetski sustav.

Iako se AD smatra ekološki povoljnim procesom, navedeni proces može povećati ili smanjiti svoj doprinos emisijama, ovisno o emisijama koje se razmatraju (poput CH₄, NH₃, CO₂, itd.) [12]. Uz to nastaje nus-proizvod, digestat, koji je potrebno primjereno zbrinuti. Digestat može predstavljati problem – njegova upotreba je često nalazila svoju svrhu u poljoprivredi, upotrebom kao gnojiva. No, s obzirom na sve veća postrojenja zakonodavnih okvira (Nitrarna Direktiva), takav način upotrebe se drastično smanjuje. Zbog toga je potrebno pronaći načine (osim odlaganja na odlagalištima) da se digestat oporabi na održiv način, naročito jer se u njemu nalaze vrijedne i korisne hranjive tvari koje je potrebno oporabiti.

Međutim, navedenom tehnologijom je moguće oporabiti samo biološku komponentu komunalnog otpada, što zahtijeva prethodnu separaciju, kako bi se uklonile tvari koje nije moguće biološki degradirati mikroorganizmima (plastika, staklo, metal, itd.). Zbog toga je u EU razvijen koncept MBO, kao posljedica težnje smanjenja utjecaja odlaganja neobrađenog biorazgradivog otpada na okoliš. Osim obrade biorazgradivog otpada procesima automatskog odvajanja omogućuje se uporaba korisnih sekundarnih sirovina iz otpada.

Bioplina proizveden u procesu AD može biti ekonomski proizveden u postrojenjima malih, ali i velikih dimenzija te zbog toga može biti prilagođen zadovoljavanju potreba ruralnih i urbanih sredina, ali isto tako i regionalnih i svjetskih potreba [13]. Kvaliteta sirovog bioplina može biti poboljšana obogaćivanjem metanom ili pročišćavanjem, čime se dobiva plin kvalitetom blizak prirodnom plinu (75-98 %).

4. ZAKLJUČAK

Gospodarenje otpadom u EU ima za cilj smanjenje utjecaja otpada na okoliš i zdravlje ljudi te poboljšanje djelotvornosti resursa. Pravilno upravljanje otpadom je ključni element u osiguravanju djelotvornog korištenja resursa i održivog rasta europskog, pa tako i hrvatskog gospodarstva.

Spaljivanje krutog komunalnog otpada je tehnologija koja se dosad često koristila u razvijenim zemljama, no nastaju štetne emisije koje je potrebno pročišćavati te pepeo koji je potrebno zbrinuti. Postoje procesi poput taljenja, tijekom kojeg dolazi do sinteriranja pepela pri čemu nastaje skrućena šljaka koja može biti korištena kao građevinski materijal (npr. u cestama) te kao koristan materijal u rekuperaciji zemljišta. Ovim procesom također dolazi do stabilizacije štetnih materijala, poput teških metala, njihovim taljenjem i solidifikacijom u metalne spojeve koji su učvršćeni u molekularnu strukturu otpadnog proizvoda, čime dolazi do prevencije njihova ispiranja u tlo i širenja u okoliš.

Procesi pirolize i rasplinjavanja se uglavnom temelje na razgradnji biorazgradivih materijala koji se nalaze u krutom komunalnom otpadu (npr. papir, karton, razgradivi otpad). Zbog toga je uobičajeno ukloniti negorive materijale i materijale koje je moguće reciklirati (metali, plastika) prije reaktorskog tretmana.

Iz različitih istraživanja je moguće zaključiti da je proizvodnja bioplina iz AD organske frakcije krutog komunalnog otpada potencijalno rješenje očuvanja okoliša, održivosti i dobivanja alternativne čiste energije. Otpad kao sirovina za proizvodnju bioplina iz AD je vrlo učinkovit, naročito u smislu dobivanja visokog prinosa bioplina dobre kvalitete po jedinici težine, u usporedbi s ostalim vrstama sirovina, a ima ga u značajnim količinama s niskom i pristupačnom cijenom. Međutim, postoje neki nedostaci prilikom upotrebe otpada za proizvodnju bioplina, a to je njegova heterogenost koja zahtijeva sortiranje, čestice

velikih veličina i kiselost samog otpada zbog prisustva visokih koncentracija masnih kiselina koje inhibiraju stupanj metanogeneze.

S obzirom na količine otpada koje nastaju u RH te nepostojanja razine industrije koja bi utjecala na količine štetnih tvari u nastalom otpadu (teški metali u digestatu ili biogljenu), moguće je koristiti tehnologiju pirolize ili AD. Bilo koja od ove dvije tehnologije proizvodi kvalitetnu sirovinu za proizvodnju energije (sintetski plin, bioplin), uz nastajanje otpada koji je lako zbrinuti određenim postupcima (biogljen se koristi u daljnje energetske svrhe ili iskorištavaju hranjive tvari iz njega; digestat se koristi kao gnojivo).

No, za obje tehnologije je potreban prethodan tretman u procesu MBO kako bi se uklonile tvari koje nije moguće navedenim procesima degradirati. Ova potreba je dodatno pojačana prihvaćanjem *Pravilnika* [3] krajem 2017. godine, koji specificira određene vrste otpada koje je moguće energetski oporabiti, a za koje nije potrebna dozvola za gospodarenje otpadom već se obavlja temeljem upisnika u Očevidnik energetske oporabilnosti određenog otpada. Navedenim pravilnikom se povećava potreba (naročito u slučaju manjih proizvođača otpada koji žele isti energetski oporabiti) za razdvajanjem otpada prije njegove energetske oporabe, putem MBO ili mehaničko-termalne obrade, koji se koriste u postojećim i planiranim CGO. Zbog toga su piroliza i AD vrlo prikladne tehnologije kojima se može energetski oporabiti otpad koji preostaje nakon razdvajanja, a potrebno bi ga bilo zbrinuti.

5. LITERATURA

- [1] N. Curry i P. Pillay, "Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment", *Renewable Energy*, svez. 41, pp. 200-209, 2012.
- [2] Vlada Republike Hrvatske, "Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. godine", Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zagreb, 2017.
- [3] Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, "Pravilnik o gospodarenju otpadom", *Narodne novine* 94/13, 73/17, 2017.
- [4] I. Aniekan i O. Ikechukwu, "Review Of Municipal Solid Waste Management Technologies And Its Practices In China And Germany", *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, svez. 4, br. 5, pp. 1-7, 2016.
- [5] Ž. Bogdan, "Analiza tehnologija za energetske iskorištavanje krutog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj", Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
- [6] K. Tyagi i S. Lo, "Sludge: A waste of renewable source for energy and resources recovery?", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, br. 25, pp. 708-728, 2013.
- [7] W. Guo, S. Yang, W. Xiang, X. Wang i N. Ren, "Minimization of excess sludge production by in-situ activated sludge treatment processes", *Biotechnology Advances*, svez. 31, br. 8, pp. 1386-1396, 2013.
- [8] M. Lewis, "Sludge pyrolysis for energy recovery and pollution control," u *Proceedings of the National Conference on Municipal Treatment Plant Sludge Management*, Anaheim, California, 1975.
- [9] A. Beenackers i A. Bridgwater, "Gasification and pyrolysis of biomass in Europe", u *Pyrolysis and Gasification*, London, Elsevier, 1989, p. 129.

- [10] F. Monnet, "An Introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes", Remade, Scotland, 2003.
- [11] D. Rutz, R. Mergner i R. Janssen, "Održivo korištenje toplinske energije iz bioplinskih postrojenja", München: WIP Renewable Energies, 2012.
- [12] J. Colon, E. Cadena, M. Pognani, R. Barrena, A. Sanchez, X. Font i A. Artola, "Determination of the energy and environmental burdens associated with the biological treatment of source-separated Municipal Solid Wastes", Energy and Environmental Science, br. 5, pp. 5731-5741, 2012.
- [13] S. Kumar, "Biogas", Rijeka: Intech, 2012.