

# ENERGETSKA OPORABA OTPADOM

---

**Matačić, Josip**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:645974>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**ODJEL LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**  
**STUDIJ LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**

**JOSIP MATAČIĆ**  
**ENERGETSKA OPORABA OTPADA**  
**ZAVRŠNI RAD**

**KARLOVAC, 2020.**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**ODJEL LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**  
**STUDIJ LOVSTVA I ZAŠTITE PRIRODE**

**JOSIP MATAČIĆ**  
**ENERGETSKA OPORABA OTPADA**  
**ZAVRŠNI RAD**

Mentor: mr.sc. Hrvoje Buljan, pred.

KARLOVAC, 2020.

## **ZAHVALE**

Zahvaljujem mentoru mr.sc. Hrvoje Buljan dipl.ing.kem.tehn. za savjete i pomoć pri izradi ovog završnog rada.

Zahvaljujem svojoj obitelji, kolegama i prijateljima na podršci i razumijevanju tijekom trajanja studija i izrade ovog rada.

## **ENERGETSKA OPORABA OTPADA**

### **SAŽETAK**

Od samih početaka moderne civilizacije upravljanje otpadom bilo je od velike važnosti, povećanjem populacije na Zemlji raste i zabrinutost oko otpada. Tehnološki napredak i urbanizacija dovode do ogromnih količina otpada koji je potrebno na neki način zbrinuti. Odlaganje otpada postaje sve veći problem jer odlagališta mogu biti izvori bolesti, zagađivači vode i zraka te mjesta širenja neugodnih mirisa. U posljednjim desetljećima sve više se mijenjaju tehnologije upravljanja otpadom. Dio otpada sadrži organske tvari koje, ako se odlažu na otvorene površine postaju uzrok akumulacije štetnih plinova kao što su metan i ugljikov dioksid. Razvijanjem novih tehnologija obrade i oporabe otpada za dobivanje energije, uz recikliranje mogu osigurati prikladno rješenje u upravljanju otpadom.

Ključne riječi: bioplin, oporaba otpada, organski otpad, uplinjavanje, upravljanje otpadom.

## **ENERGY RECOVERY OF WASTE**

### **ABSTRACT**

From beginning of modern civilization waste management was very important, with population growth concern about waste is rising. Technological progress and urbanization lead to huge amounts of waste that need to be disposed of in some way. Waste disposal is becoming an increasing problem because landfills can be sources of disease, water and air pollutions and places of spreading unpleasant odors. Waste management technologies have changed more and more in recent decades. Part of the waste contains organic substances which, if disposed of in open areas, become the cause of the accumulation of harmful gases such as methane and carbon dioxide. By developing new technologies for the treatment and recovery of waste to obtain energy, in addition to recycling, they can provide a suitable solution in waste management.

Key words: biogas, gasification, organic waste, waste management, waste recovery.

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. KATEGORIZACIJA OTPADA.....	2
2.1. Podjela otpada prema svojstvima.....	2
2.1.1. Opasni otpad.....	2
2.1.2. Neopasni otpad.....	2
2.1.3. Inertni otpad.....	2
2.2. Otpad prema mjestu nastanka.....	3
2.2.1. Komunalni otpad.....	3
2.2.2. Proizvodni otpad.....	3
2.3. Posebne kategorije otpada.....	4
3. GLOBALNO STANJE TEHNOLOGIJE ZA DOBIVANJE ENERGIJE IZ OTPADA5	
4. TEHNOLOGIJE OBRAD E I ENERGETSKE OPORABE OTPADA.....	6
4.1. Mehaničko-biološka obrada otpada.....	6
4.1.1. Mehanička obrada otpada.....	7
4.1.2. Biološka obrada otpada.....	8
4.1.3. Sustav kompostiranja u reaktoru.....	10
4.1.4. Anaerobna digestija.....	11
5. TERMIČKA OBRADA OTPADA.....	12
5.1. Izgaranje.....	13
5.2. Rasplinjavanje.....	15
5.3. Piroliza.....	17
5.4. Plazma rasplinjavanje.....	18
6. RASPRAVA.....	20

7. ZAKLJUČAK.....	23
LITERATURA .....	24

## POPIS PRILOGA

Slika 1 Shematski prikaz mehaničke obrade otpada (ANONYMOUS 2, 2018.).....	7
Slika 2 Proces kompostiranja (ANONYMOUS 7, 2020.).....	9
Slika 3 Osnovna podjela reaktorskih sustava (ANONYMOUS 3, 2020.).....	10
Slika 4 Shema postrojenja za izgaranje komunalnog otpada (LESKENS. 2005.) .....	14
Slika 5 Primjeri postrojenja za rasplinjavanje: a) rasplinjač s fiksnim slojem i b)rasplinjač s istostrujnim tokom (ANONYMOUS 6, 2019.) .....	16
Slika 6 Postrojenje za pirolizu (ANONYMOUS 7,2020.) .....	17
Slika 7 Shema plazma rasplinjača (ANONIMOUS 10, 2019.).....	19



## 1. UVOD

Otpad nastaje u svim sferama ljudskog djelovanja: svakodnevnim aktivnostima, u kućanstvima, uslužnim djelatnostima, te u svim proizvodnim procesima. Uz sve veće količine otpada koji svakodnevno nastaje javljaju se problemi kao što su zagađenje okoliša, zauzimanje prostora odlaganjem otpada na otvorenim površinama i slično. (KEMETER, 2015.) Stalnim povećanjem potreba za energijom, ali i nastojanjima da se očuvaju okoliš, ali i izvori energije kao što su fosilna goriva pojavili su se alternativni izvori energije. Dio potrebne energije može se dobiti i oporabom otpada, pa je na taj način moguće riješiti nekoliko ključnih problema vezanih uz otpad. Valorizacijom otpada to jest dobivanjem vrijednosti iz otpada (energija, gnojivo, neke vrste građevinskih materijala) konstantno se razvijaju nove tehnologije koje omogućavaju održivo gospodarenje otpadom uz dobivanje energije.

U ovom radu predstavljena je kategorizacija otpada, tj. podjela otpada prema vrsti, odnosno prema svojstvima otpada i mjestu nastanka otpada. Navedene su i obrađene tehnologije obrade otpada koje se najčešće koriste za dobivanje energije iz otpada.

## **2. KATEGORIZACIJA OTPADA**

Otpadom smatramo svaku tvar ili predmet koji posjednik odbacuje ili namjerava odbaciti. Također, otpadom se smatra svaki predmet i tvar čije su sakupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. Otpad se dijeli prema svojstvima i prema mjestu nastanka. (ANONYMOUS 1, 2019.)

### **2.1. Podjela otpada prema svojstvima**

#### **2.1.1. Opasni otpad**

Otpad koji posjeduje karakteristike koje ga čine opasnim za zdravlje ljudi, okoliš ili osobnu imovinu. Određen je kategorijama i sastavom, a opasnim ga čine svojsva koja su uvrštena u listu opasnog otpada definiranu *Uredbom o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada* (SOFILIĆ, T., BRNARDIĆ, 2013.)

#### **2.1.2. Neopasni otpad**

Otpad koji ne sadrži svojstva navedena u listi opasnog otpada. (ANONYMOUS 1, 2019.)

#### **2.1.3. Inertni otpad**

Otpad koji ne podliježe fizičkim, biološkim ili kemijskim promjenama. Topljivost, sadržaj onečišćavajućih tvari i ekotoksičnost mora biti zanemariva te ne smije ugrožavati kvalitetu podzemnih, niti površinskih voda. (SOFILIĆ, T., BRNARDIĆ, 2013.)

## **2.2. Otpad prema mjestu nastanka**

### **2.2.1. Komunalni otpad**

Otpad iz kućanstva, proizvodne ili uslužne djelatnosti koji je sličan otpadu nastalom u domaćinstvu. Komunalni otpad nastaje svakodnevnim životnim aktivnostima, a njegov sastav ovisi kako o sredini u kojoj nastaje tako i o drugim čimbenicima (npr. tip naselja, ekološka osviještenost, način života). (ANONYMOUS 1,2019.)

### **2.2.2. Proizvodni otpad**

Proizvodni otpad nastaje u proizvodnim procesima industrije, obrta i drugim procesima, a sastavom se razlikuje od komunalnog otpada.

Vrste proizvodnog otpada mogu biti:

-otpad nastao rudarskom proizvodnjom

-otpad nastao poljoprivrednom proizvodnjom (poljodjelstvo, vrtlarstvo)

-otpad nastao preradom drveta, proizvodnjom namještaja

-otpad nastao pri istraživanjima ili eksploatiranju mineralnih sirovina. (SOFILIĆ, T., BRNARDIĆ, 2013.)

### **2.3. Posebne kategorije otpada**

Posebne kategorije otpada su:

- biotpad,
- otpadna ambalaža,
- otpadna ulja i gume,
- otpadni akumulatori i baterije,
- medicinski otpad,
- otpadni mulj nastao pročišćavanjem otpadnih voda,
- građevinski otpad, otpadni elektronički i električni uređaji i oprema. (SOFILIĆ, T., BRNARDIĆ, 2013.)

### **3. GLOBALNO STANJE TEHNOLOGIJE ZA DOBIVANJE ENERGIJE IZ OTPADA**

Povećanje ljudske populacije dovodi i do povećanja potreba za energijom i do povećanog zagađenja okoliša (zagađenje tla , vode, zraka). Trenutno su fosilna goriva glavni izvori energije na Zemlji, a tehnologija energetske oporabe prilika je za održivo gospodarenje otpadom uz dobivanje energije. Mnoge države se suočavaju sa sve većim izazovima odlaganja i upravljanja otpadom jer to dovodi do mnogih opasnosti za okoliš ali i za društvo. Postojeće tehnologije energetske oporabe otpadom mogu se razvrstati u fizičku obradu (peletizacija), termokemijske procese koji se koriste za nerazgradive vrste otpada i biokemijske procese za obradu biorazgradivog otpada. Biokemijski procesi vezani su za aerobnu ili anaerobnu razgradnju te proizvodnju bioplina, a termokemijski procesi označavaju pirolizu, gasifikaciju, te spaljivanje otpada. (GAUTAM, P. I SUR, 2019.)

## **4. TEHNOLOGIJE OBRAD E I ENERGETSKE OPORABE OTPADA**

### **4.1. Mehaničko-biološka obrada otpada**

Mehaničko-biološka obrada otpada razvila se nastojanjem da se razdvajanjem otpada omogući što veći povrat korisnih sirovina uz inertizaciju/stabilizaciju ili daljnju obradu biorazgraivih materijala iz otpada koji se koriste za dobivanje energije (aerobna ili anaerobna razgradnja), proizvodnju komposta ili odlaganje. U postrojenje ulazi miješani komunalni otpad koji je preostao nakon primarne selekcije (odvajanja) te neopasni proizvodni otpad.

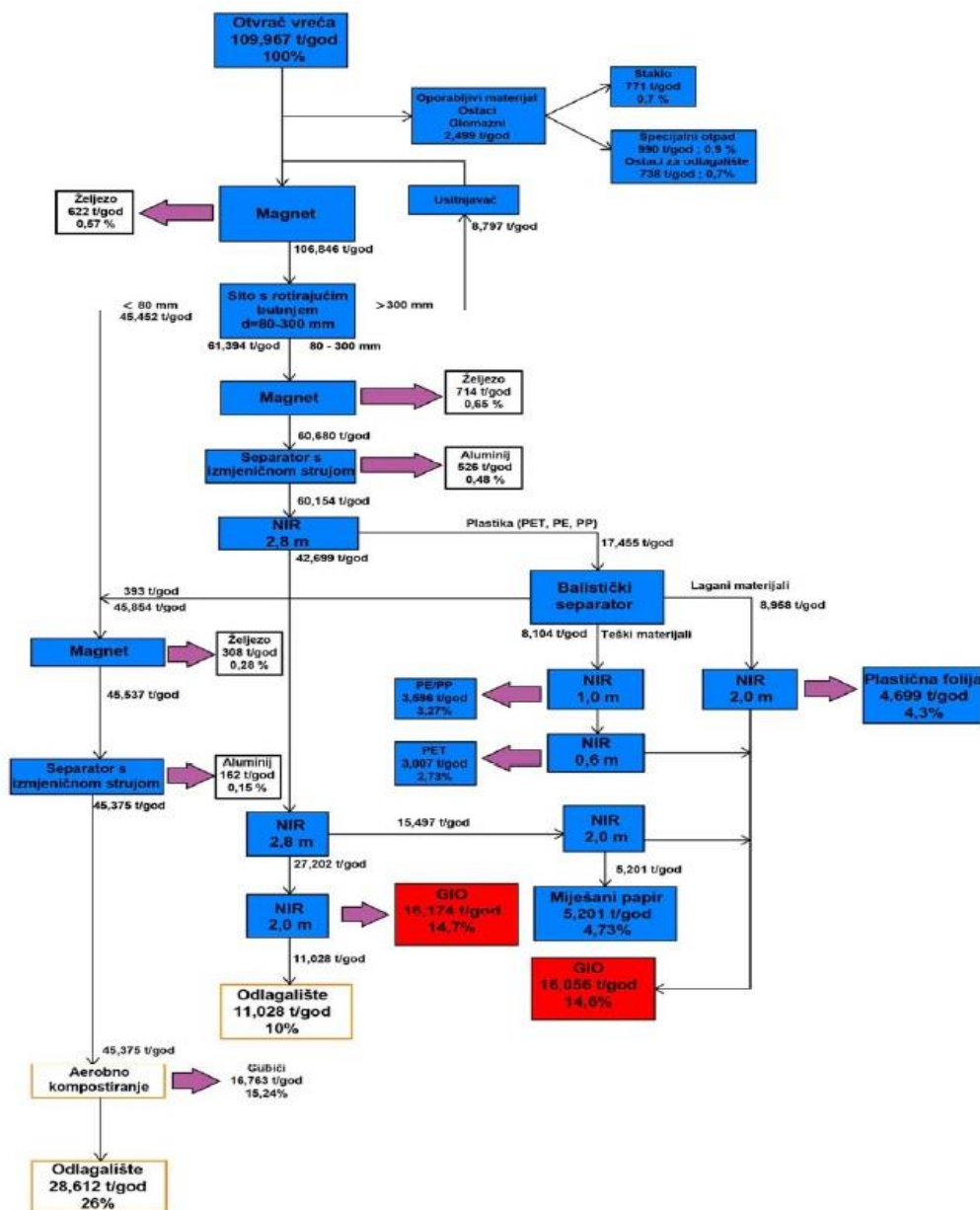
Izlazni produkti mehaničko biološke obrade su:

- Inertizirana biostabilizirana frakcija
- Kompost
- Goriva frakcija
- Otpadna tehnološka voda
- Vodena para i ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>)

Mehaničko-biološka obrada otpada sastoji se od mehaničke i biološke obrade otpada. (ANONYMOUS 2, 2018.)

### 4.1.1. Mehanička obrada otpada

Mehaničkim načinima obrade smatraju se postupci usitnjavanja, mljevenja, drobljenja, prosijavanja, elektromagnetske separacije te peletiranje. Biološka obrada otpada uključuje biosušenje, biostabilizaciju te anaerobnu ili aerobnu razgradnju. (ANONYMOUS 2,2018.)



Slika 1 Shematski prikaz mehaničke obrade otpada (ANONYMOUS 2, 2018.)

#### 4.1.2. Biološka obrada otpada

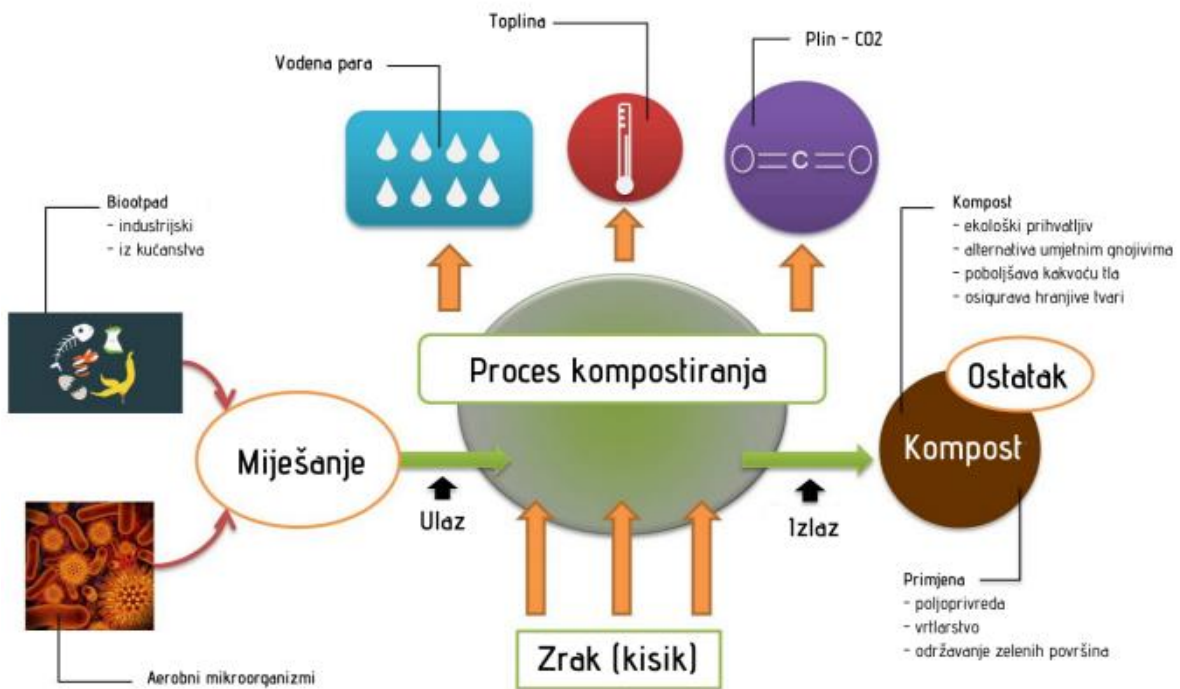
Biološkom obradom otpada dobivamo stabilan i neaktivan produkt koji se može koristiti kao humus ili odlagati na odlagališta.

Nakon mehaničke obrade organski dio ide u postrojenje na daljnu aerobnu biološku obradu. Mikroorganizmi (bakterije i gljivice) uz prisutnost kisika razgrađuju složene organske spojeve na jednostavnije sastavnice otpada uz proizvodnju ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>), minerala, stabilizirane organske tvari i vode.

Korištenjem biorazgradivog otpada iz kuhinja, parkova, vrtova i sl. nakon aerobne obrade dobivamo kompost, a ako se u aerobnoj obradi koristi biorazgradivi otpad odvojen postupkom mehaničke prerade komunalnog otpada dobiva se proizvod "sličan kompostu" (engl. compost like output). Osnovna razlika između ovih produkata je čistoća odnosno mogućnost korištenja za oplemenjivanje poljoprivrednog tla.

U procesu kompostiranja nastaje toplinska energija koja uništava patogene iz otpada i biljno sjeme. Zbog toga je u početnoj fazi kompostiranja velika potrošnja kisika, nakon prve, intenzivne faze kompostiranja započinje proces sporijeg kompostiranja koji se nastavlja sve dok nisu potrošene sve mikroorganizmima lako dostupne hranjive tvari sadržane u materijalu, odnosno dok se većina ugljika ne prevede u CO<sub>2</sub>. Za proces kompostiranja potrebni su pravilan omjer hranjivih tvari (ugljika i dušika), koncentracija kisika u smjesi, pH, količina vlage, temperatura, o kojima i ovisi završetak procesa kompostiranja. (ANONYMOUS 2, 2018.)



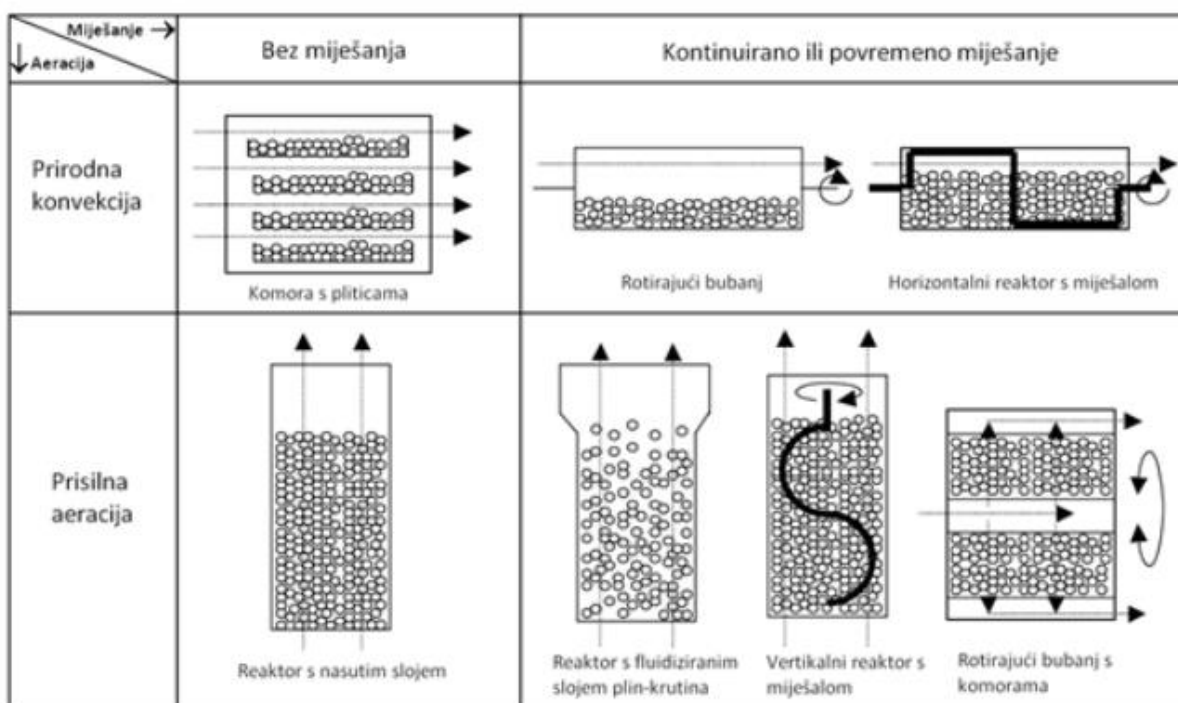


Slika 2 Proces kompostiranja (ANONYMOUS 7, 2020.)

### 4.1.3. Sustav kompostiranja u reaktoru

Kompostiranje u reaktoru (zatvorenom prostoru) omogućuje brži proces biorazgradnje organskog materijala jer se korištenjem zatvorenog spremnika omogućuje brža razgradnja, veća je mogućnost kontroliranja procesa i povećava se kvaliteta komposta. Materijal koji se koristi za kompostiranje u reaktoru zatvoren je u spremniku ( silos, bubanj ili sl.), a u spremnik se upuhuje zrak kako bi se održavali uvjeti koji omogućuju kompostiranje. Reaktori se mogu podijeliti na vertikalne (s nasutim slojem ili s miješalom) i horizontalne (s miješalom ili rotirajući). (ANONYMOUS 3, 2020.)

Zbog egzotermne reakcije reaktori su toplinski izolirani tako da nema izmjene topline između okoline i sustava. U reaktorskim sustavima proces kompostiranja ne ovisi o klimatskim uvjetima, a proces dobivanja komposta traje kraće.



Slika 3 Osnovna podjela reaktorskih sustava (ANONYMOUS 3, 2020.)

#### 4.1.4. Anaerobna digestija

Prirodni proces raspadanja organskih tvari na jednostavne kemijske spojeve uz prisustvo mikroorganizama, bez prisustva kisika. Reakcija digestije odvija se u zatvorenim spremnicima (reaktorima) uz stalno miješanje i održavanje temperature uz vanjski izvor topline. Ova reakcija odvija se u 3 stupnja:

- Hidroliza – razgradnja složenih spojeva u jednostavnije
- Acidogeneza – proizvodnja ugljikova dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i vodika ( $\text{H}_2$ )
- Metanogeneza – stvaranje ugljikova dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i metana ( $\text{CH}_4$ )

A kao konačni proizvod dobiva se bioplin i stabilizirani digestat - organsko gnojivo i poboljšivač tla. Bioplin nastao anaerobnom digestijom koristi se za dobivanje energije potrebne za rad postrojenja. (RUTZ, 2012.)

Električna energija dobivena u procesu anaerobne digestije dijelom se koristi za rad postrojenja, a dijelom se distribuira u elektroenergetski sustav. Ovaj proces se smatra ekološkim procesom, ali to uvelike ovisi o tome emisije kojih plinova se razmatraju ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) (COLON, 2012), uz emisije plinova koji nastaju u procesu nastaje i digestat, kao nusproizvod. Digestat se može koristiti kao gnojivo u poljoprivrednoj proizvodnji, međutim, postroženjima zakonodavnih okvira kao što je Nitratna Direktiva EU, digestat se sve manje koristi u poljoprivredi, pa ga je potrebno na druge načine zbrinuti.

Tehnologijom anaerobne digestije moguće je oporabiti samo biorazgradivi dio komunalnog otpada, stoga ovakav način uporabe zahtijeva prethodnu obradu (separaciju) otpada kako bi se uklonile tvari kao što su plastika, staklo i metal koji se ne mogu razgraditi djelovanjem mikroorganizama, ali se mogu oporabiti kao korisne sekundarne sirovine.

Kvaliteta bioplina nastalog procesom anaerobne digestije može se poboljšati pročišćivanjem ili obogaćivanjem metanom ( $\text{CH}_4$ ). (KUMAR, 2012.)

## 5. TERMIČKA OBRADA OTPADA

U načine termičke obrade otpada spadaju postupci kao što su spaljivanje i suspaljivanje, a cilj ovih metoda je promjena svojstava otpada i njegove strukture promjenom temperature. Spaljivanjem otpada smanjuje se njegov volumen, a potencijalno opasne tvari se uništavaju ili izdvajaju. Energetska vrijednost otpada koristi se za proizvodnju električne ili toplinske energije. (ANONIMOUS 8, 2007.)

Ciljevi termičke obrade otpada:

- Smanjivanje udijela organskih tvari
- Smanjenje volumena i mase otpada
- Uništavanje štetnih organskih tvari
- Iskorištavanje energije pohranjene u otpadu (ANONYMOUS 4, 2008.)

Spaljivanje otpada bez energetske uporabe zabranjeno je, osim u slučaju zbrinjavanja otpada koji je definiran kao opasan. U slučaju spaljivanja opasnog otpada spalionice trebaju imati najviše standarde učinkovitosti, smanjivanje emisija štetnih tvari u okoliš te kvalitete ostataka nakon obrade otpada. (ANONIMOUS 7, 2007.) Otpad koji nastaje termičkom obradom dijeli se na:

- Otpad nastao termičkom obradom
- Otpadne vode nakon čišćenja i otpad nastao čišćenjem dimnih plinova

Otpad nastao termičkom obradom naziva se šljaka, i on se može koristiti kao korisni materijal u niskogradnji. Otpad nastao čišćenjem obrađuje se i stabilizira nakon čega se odlaže na odlagališta opasnog otpada. (ANONYMOUS 5, 2007.)

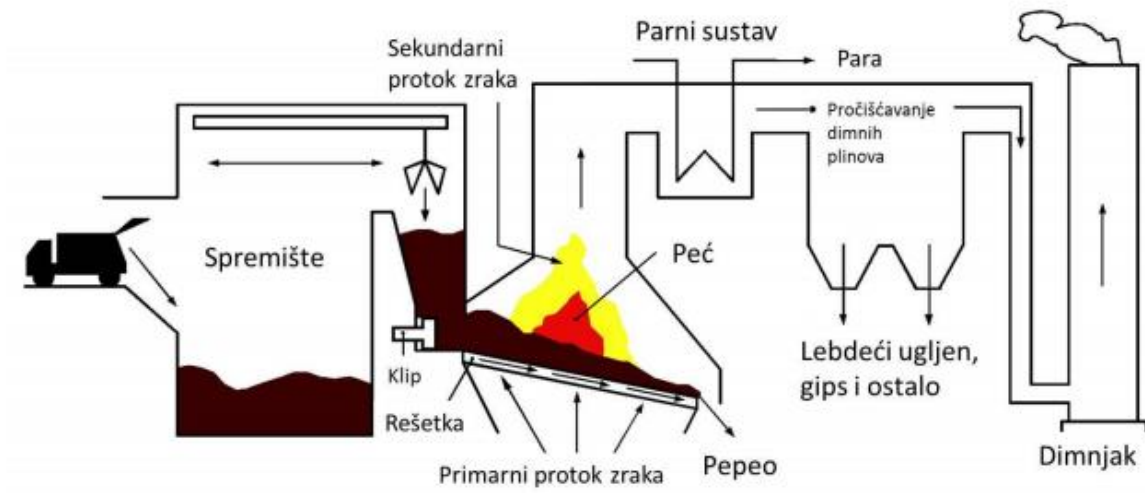
## 5.1. Izgaranje

Izgaranje otpada proces je koji, uz dovoljnu količinu kisika, kako bi se postigla potpuna oksidacija goriva, dovodi do termičke degradacije otpada. Neke od karakteristika izgaranja otpada:

- Kako bi se osiguralo potpuno izgaranje potrebno je osigurati dovod kisika
- Temperatura obično prelazi 1000 °C
- Ostaje tek mali udio ugljika u pepelu jer gorivo potpuno oksidira (nastaje CO<sub>2</sub> i vodena para)
- Kemijska energija goriva prelazi u toplinsku energiju

Za spaljivanje komunalnog otpada koristi se tehnologija pomične rešetke jer se ova metoda može koristiti za otpad različitih karakteristika (ogrijevna moć, sastav). Ova metoda pogodna je za spaljivanje velikih količina otpada, a povećanjem količina obrađenog otpada povećavaju se i energetska i ekonomska učinkovitost. Obradom tone otpada može se dobiti 400-700 kWh el. energije, što ovisi o kalorijskoj vrijednosti otpada i veličini energane. Spaljivanjem se potencijalno opasne tvari uništavaju, a masa i volumen otpada se smanjuju, međutim u procesu spaljivanja otpada nastaju štetni dimni plinovi koji prije ispuštanja u atmosferu prolaze postupak pročišćavanja. Krutine koje ostaju u pepelu nakon izgaranja (staklo, metal, kamen) potrebno je zbrinuti, što povećava troškove obrade otpada. Pepeo koji ostaje nakon spaljivanja često se zbrinjava odlaganjem, ali postoji i mogućnost korištenja pepela kao građevinskog materijala.

Izgaranje otpada može se koristiti za nerazvrstan komunalni otpad jer ne zahtjeva predtretman otpada. ( BOGDAN, 2009.)



Slika 4 Shema postrojenja za izgaranje komunalnog otpada (LESKENS. 2005.)

## 5.2. Rasplinjavanje

Rasplinjavanje je kemijski proces pretvaranja čvrste tvari (biomasa) u plin. Procesom rasplinjavanja dobiva se smjesa ugljikova monoksida, metana i vodika koja se naziva generatorski plin. Prednost ovog plina u odnosu na kruta goriva su:

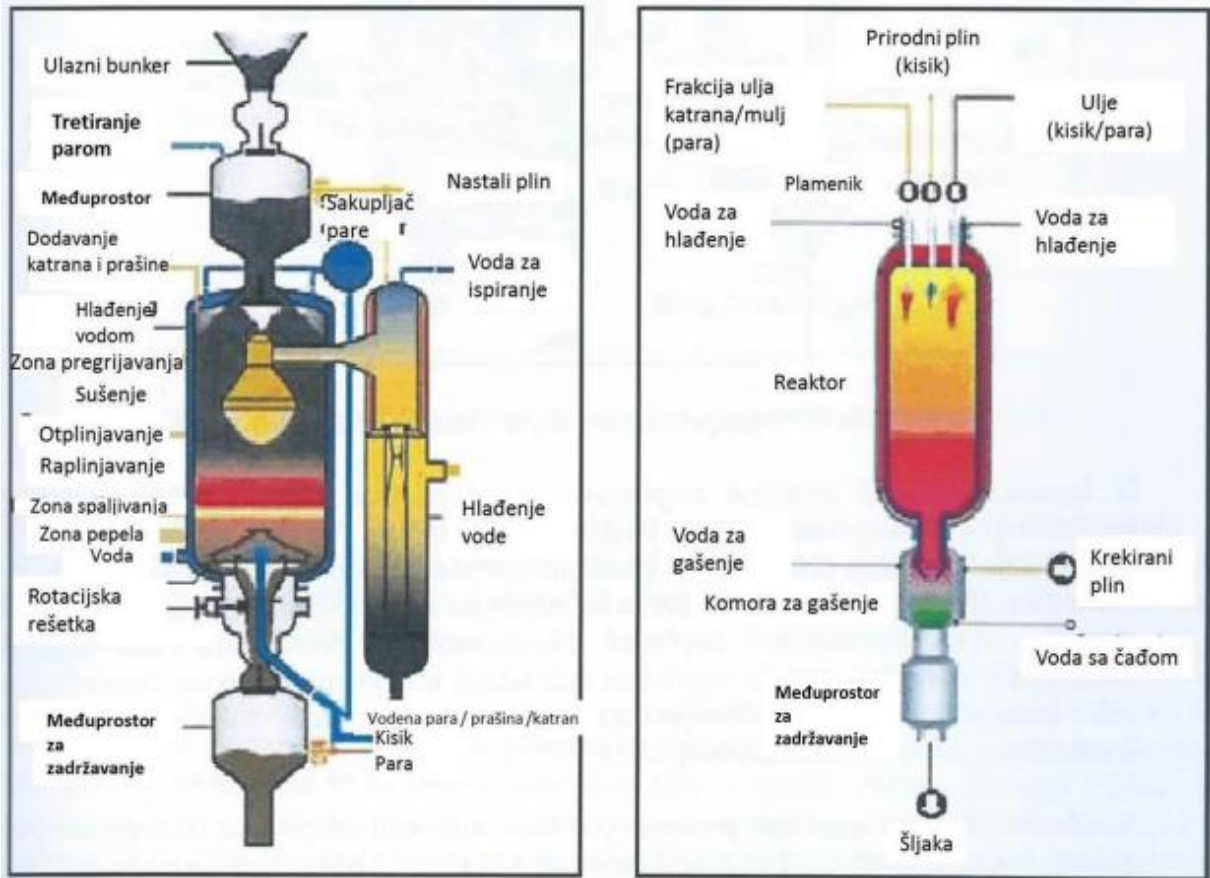
- Ekološki prihvatljivije emisije plinova
- Veća energetska učinkovitost
- Lakša regulacija u termoenergetskim postrojenjima (termoelektrane)

Rasplinjavanje se može opisati kao nepotpuno sagorijevanje krutog goriva, a produkt je sintetski plin. Zagrijavanjem materijala (biomasa, gradski otpad, drveni ili kameni ugljen) na visoke temperature ispuštaju se zapaljivi plinovi koji zbog nedostatka kisika ne sagorijevaju. Navedeni plin može se koristiti za proizvodnju električne energije ili pogon motora sa unutarnjim sagorijevanjem.(BASU, 2013.)

Rasplinjavanjem drvene biomase nastaju

- vodik
- ugljikov monoksid
- metan
- dušik
- ugljikov dioksid

Ovisno o sadržaju vodika i ugljika u biomasi i vrsti rasplinjača mijenja se i kalorijska vrijednost plina dobivenog postupkom rasplinjavanja. Ovaj način obrade otpada efikasniji je u odnosu na spaljivanje biomase jer nastaje plin bez pepela koji je pogodan za proizvodne pogone koji koriste peći ili kotlove. Daljnjom preradom (pročišćavanjem) nastalog plina može se dobiti kvalitetniji plin koji se može koristiti i kao pogonsko gorivo strojeva ili postrojenja za proizvodnju električne ili toplinske energije (ŠLJIVAC i sur. 2019.)



Slika 5 Primjeri postrojenja za rasplinjavanje: a) rasplinjač s fiksnim slojem i b) rasplinjač s istostrujnim tokom (ANONYMOUS 6, 2019.)

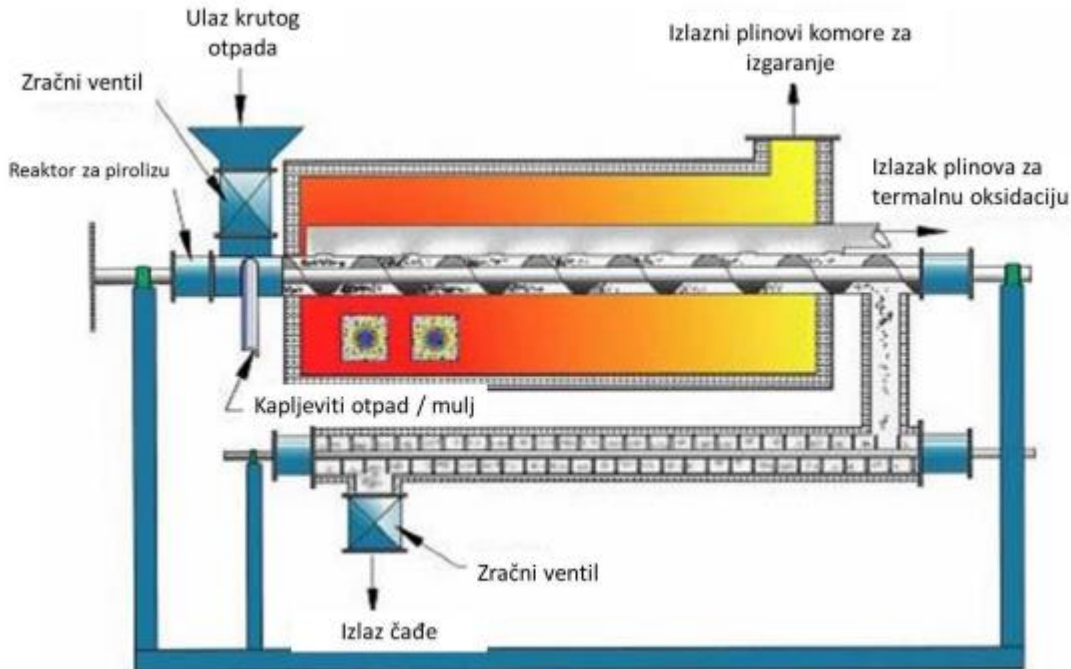


### 5.3. Piroliza

Piroliza je termička razgradnja biomase bez prisustva kisika, ovaj proces prethodi spaljivanju i rasplinjavanju. Produkti pirolize su pepeo, bio-ulje i plinovi kao što su metan, ugljikov monoksid, vodik i ugljikov dioksid.

Piroliza se odvija u reaktoru grijanjem materijala bez prisustva kisika, razgradnja biomase počinje kod temperatura između 350 °C – 550°C i odvija se sve do 800°C. Složene molekule koje su sastavni dio biomase koja se koristi u procesu pirolize raspadaju se na jednostavnije molekule kao plinovi, ulja i ugljen. Količina i sastav nastalog produkta ovise o mnogim parametrima kao što su: temperatura unutar reaktora, tlak i vrsta reaktora.

Ovisno o temperaturi procesom pirolize nastati će biougljen (pri nižim temperaturama i sporijem zagrijavanju), bioplina (pri višim temperaturama i uz naglo zagrijavanje), ili bioulje (pri srednjim temperaturama uz postepeno zagrijavanje). (ANONYMOUS 8, 2020.)



Slika 6 Postrojenje za pirolizu (ANONYMOUS 7,2020.)

## 5.4. Plazma rasplinjavanje

Plazma ili „ četvrto agregatno stanje“ je ionizirani plin visoke temperature koji provodi električnu struju. Tvori se provođenjem električnog naboja kroz plin (zrak ili kisik). Djelovanjem struje plin se rastavlja na elektrone i ione čime se temperatura naglo povećava, a često prelazi 6000 °C.

Plazma rasplinjavanje koristi se kako bi se tvari koje sadrže ugljik prevele u sintetski plin koji se može koristiti za dobivanje energije. Ovakvim načinom obrade otpada smanjuju se troškovi upravljanja otpadom, uz očuvanje okoliša.

Unutar rasplinjača, zagrijani plinovi plazma-baklji dolaze u dodir sa sirovinom (npr. komunalni otpad, medicinski otpad, opasni otpad, biomasa), zagrijavaju sirovinu na ~ 2000 °C. Visoka temperatura održava reakciju rasplinjavanja koja razdvaja kemijske veze sirovine te stvara sintetski plin. Plin nastao procesom rasplinjavanja sastoji se od ugljikovog monoksida i vodika koji su sastavni dio gnojiva, zamjene za prirodni plin, i tekućih goriva. Sintetski plin može se koristiti i za pokretnje turbina u proizvodnji električne energije ili stlačiti kako bi se stvorila para za pokretanje parnih turbina.

Sirovina unutar rasplinjača prevodi se u osnovne elemente, tako da se i opasni otpad može koristiti za dobivanje sintetskog plina. Anorganski materijali u sirovini se rastope te tvore trosku (šljaku) koja je inertna pa se može koristiti kao građevinski materijal. (ANONYMOUS 9, 2019.)



Slika 7 Shema plazma rasplinjača (ANONIMOUS 10, 2019.)

## 6. RASPRAVA

Za Republiku Hrvatsku bilo bi zanimljivo i korisno upoznati se s iskustvima drugih europskih zemalja glede energetske obrade otpada. Mišljenja sam i poznato je da neke zemlje podržavaju spaljivanje komunalnog otpada uz energijsku oporabu. S druge strane su neke zemlje Europske unije, do sada, izbjegavale spaljivanje otpada.

Komunalni otpad kao i brojne vrijednosti proizvodnog otpada imaju energijsku vrijednost, koja ovisi od vrste i stanja otpada. Iskustvo nekih Europskih zemalja u izvozu i drugih zemalja u uvozu komunalnog otpada i GIO (goriva iz otpada) na spaljivanje pokazuju trend energetske uporabe otpada. Isto tako izvoz otpada kao i uvoz otpada za spaljivanje, može se dvojako tumačiti. Protivnici energetske uporabe, odnosno spaljivanja ističu da zemlje koje uvoze imaju višak izgrađenih kapaciteta za spaljivanje, te ih sada moraju ispuniti uvozom otpada što u svim slučajevima nije točno. Do viška izgrađenih postrojenja ENO (energana na otpad) u zemljama kao npr. Njemačkoj, Nizozemskoj, Danskoj, Švedskoj, Austriji je došlo radi podcjenjivanja mogućnosti prevencije i recikliranja otpada. Poglavitito "zeleni" aktivisti ističu da je to posljedica lošeg planiranja i sada je stanovništvo tih zemalja opterećeno štetnim plinovitim emisijama od spaljivanja tuđeg, odnosno uvezenog otpada.

S druge strane, zagovornici spaljivanja otpada ističu da se zanemaruje činjenica kako zemlje koje odlažu najmanje količine neobrađenog komunalnog otpada stotinu i više godina prakticiraju i spaljivanje. Neprijeporno da je upravo energijska uporaba u razvitku odgovornog gospodarenja otpadom bila ključni čimbenik. U odnosu na odlaganje, energijska obrada smanjuje ekvivalentne emisije ugljika. Termičkom i toplinskom obradom također se značajno smanjuju, u odnosu na odlaganje, brojni drugi opasni rizici za okoliš i osobito opasni za zdravlje ljudi. Isto tako potrebno je naglasiti iskustva Engleske, Irske, Welsa, Italije i Norveške koje spadaju među europske zemlje koje nisu poticale spaljivanje otpada i sada izvoze velike količine goriva iz otpada (GIO) na spaljivanje u druge zemlje.

Iz podataka Europske agencije za zaštitu okoliša razvidno je da od 2013. do 2016. godine stalno se povećava količina izvezenog otpada. Kod analize trgovanja otpadom, odnosno

izvozom i uvozom goriva iz otpada, pokazuje da je to prvenstveno gospodarski utemeljen posao. U posljednje vrijeme u nekim zemljama Europske unije se smanjuje uvoz, primjerice u Njemačkoj, dok istovremeno u drugim zemljama ili stagnira ili se povećava kao što je slučaj u Nizozemskoj i Danskoj. Dakle, jedna zemlja uvozi otpad za energijsku uporabu, a istovremeno u drugu izvozi opasni ostatak pročišćavanja dimnih plinova. U takvoj situaciji probleme otpada je počela rješavati i politika, a aktivni su i privatni poduzetnici. Kod toga je bitno naglasiti, da se spaljivanje i suspaljivanje isključivo akceptira u okvirima cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. U Europi postoji višak izgrađenih postrojenja, te EU nije spremna financijski podržati gradnju novih energana na otpad. Energijska uporaba, kao i uvijek u svim realnim planovima, ostaje važna karika kružnog gospodarenja otpadom, odnosno otpadom koji se treba odložiti. Sustavno se i u novom mileniju vode stručne rasprave da li komunalni otpad odvojeno prikupljati. Uvijek je zanimljivo detaljnije se upoznati s različitim mišljenjima stručnjaka. Mišljenje stručnjaka je da otpadnu plastiku treba odložiti u miješani komunalni otpad i zatim u spalionici energijski oporabiti. Ukoliko je, prema nekim saznanjima, otpadna plastika smrznuta nafta, zašto se onda ne bi u energani za otpad oporabila? Trenutno nema drugog u praksi dokazanog načina iskorištavanja otpada. Veliki je rizik mijenjati postojeći sustav prikupljanja otpada a ne rješavati ga kroz energetske obrade otpada.

Za Republiku Hrvatsku je važno prvenstveno uvažavati lokalne osobitosti. Odvojeno sakupljanje samo za sebe je dodatni trošak i novo opterećenje okoliša. Stoga uvijek odvojeno sakupljanje treba odrediti u okviru cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. Vrlo učinkovito je pojedinačno, za svaku lokalnu sredinu i vrstu otpada, provesti analizu životnog ciklusa toka materije i energije. Klimatske promjene u javnosti izazivaju sve veću pozornost. Stručnjaci su još davno upozoravali da će konstantno povećanje emisija CO<sub>2</sub> uzrokovati klimatske promjene. Utvrđena je potreba globalnog antropološki uzrokovanog zagrijavanja od najviše stupnja Celzijusa. Između ostalog, čovječanstvo treba smanjiti emisije CO<sub>2</sub> ekvivalenta, kako bi se antropološke emisije uravnotežile s razgradnjom u prirodnim procesima fotosinteze. Odgovorni gradovi, središta naseljenosti, prometa i gospodarstva, u tom cilju ponosno ističu da su već "neutralne CO<sub>2</sub> sredine". U dostizanju

takvog cilja upravo energijska uporaba otpada ima ključnu ulogu. Moderno gospodarenje otpadom, osobito u velikim naseljima, uključuje uporabu energije iz otpada, odnosno iz miješanog komunalnog otpada. Temeljna je pretpostavka da energijski treba oporabiti otpad koji nije reciklabilan. Na taj se način smanjuju emisije stakleničkih plinova, rizici odlaganja i štedi se prostor, koji je nedostatan u svakoj urbaniziranoj sredini. Energijska uporaba komunalnog otpada polazi od dvije osnovne tehnike: uporaba energetski vrijednih (suhih, krupnih) frakcija i uporaba biorazgradljivih – biorazgradivih (vlažnih, sitnih) frakcija. Najčešće, uz različite druge tehnike termičke i toplinske obrade, u praksi se za uporabu otpada koristi izgaranje na roštilju.

Isto tako brojna su istraživanja energijske uporabe otpada pomoću bioloških procesa. Dobro je znano da je temelj bioplinskih postrojenja anaerobna biološka razgradnja (digestija, truljenje, fermentacija). Osnovni nedostaci anaerobnog procesa su spora i vrlo osjetljiva biološka razgradnja. Iz toga proizlazi veća složenost bioplinskih postrojenja i veća cijena obrade.

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj gospodarenja otpadom je smanjenje utjecaja na okoliš i iskorištavanje mogućnosti otpada kroz uporabu ili razdvajanje sirovina koje se mogu upotrijebiti.

Spaljivanje otpada često se koristi, ali pri spaljivanju otpada nastaju štetni plinovi koje je potreban pročititi i pepeo koji se treba zbrinuti.

Procesi kao što su piroliza i rasplinjavanje temelje se na razgradnji biorazgradivih materijala u otpadu (karton, papir, biorazgradivi materijali), te je zbog toga potrebno ukloniti materijale koji ne gore (kamen, staklo) kao i materijale koje je moguće reciklirati (metal, plastika).

Proizvodnja bioplina anaerobnom digestijom organskog dijela otpada jedno je od rješenja za očuvanje okoliša uz dobivanje energije. Ovakva proizvodnja vrlo je učinkovita jer je moguće dobiti velike količine bioplina iz otpada.

Tehnologijom pirolize dobiva se kvalitetna sirovina za proizvodnju energije (bioplin, sintetski plin) a ostatak nakon proizvodnje jednostavan je za zbrinjavanje, npr. biogljjen se koristi za dobivanje energije u termoelektranama, a digestat se može koristiti kao gnojivo u poljoprivrednoj proizvodnji.

## LITERATURA

1. ANONYMOUS 1 (2019.) Zakon o održivom gospodarenju otpadom NN 98/19 čl. 4 (16.08.2020.)  
<https://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odr%C5%BEivom-gospodarenju-otpadom>
2. ANONYMOUS 2 (2018.) <https://rcco.hr/postrojenje-za-mehanicko-biolosku-obradu-otpada/>(16.08.2020.)
3. ANONYMOUS 3 (2020.) Kompostiranje - tamo gdje otpad prestaje biti smeće Str. 4, 23-26. (17.08.2020.)
4. ANONYMOUS 4 (2008.)  
[http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Upute/OTP\\_D\\_Upute%20za%20odredjivanje%20i%20tehnicki%20opisi%20postupaka%20oporabe%20R%20i%20zbrinjavanja%20D.pdf](http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Upute/OTP_D_Upute%20za%20odredjivanje%20i%20tehnicki%20opisi%20postupaka%20oporabe%20R%20i%20zbrinjavanja%20D.pdf) str. 13 (18.08.2020.)
5. ANONYMOUS 5 (2007.) [http://www.zeleni-telefon.org/sites/www.zelenitefon.org/files/Istrazivanje\\_i\\_ustoredba\\_EU\\_i\\_hr\\_vatskih\\_standarda-otpad.pdf](http://www.zeleni-telefon.org/sites/www.zelenitefon.org/files/Istrazivanje_i_ustoredba_EU_i_hr_vatskih_standarda-otpad.pdf) str. 3 (17.08.2020)
6. ANONYMOUS 6 (2019.)  
<https://repositorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A154/datastream/PDF/view> str. 20 (27.08.2020.)
7. ANONYMOUS 7 (2020.) <https://sunce-st.org/wp-content/uploads/2020/03/UniCompoST-priru%C4%8Dnik-o-kompostiranju.pdf> Str. 4 (29.08.2020.)
8. ANONYMOUS 8 (2020.) <https://www.bioenergyconsult.com/biomass-pyrolysis/> (28.08.2020.)
9. ANONYMOUS 9 (2019.) <https://www.globalsyngas.org/syngas-production/waste-to-energy-gasification/plasma-gasification/> Str. 1 ( 22.08.2020.)



10. BASU, P. (2013.): Biomass Gasification, Pyrolysis, and Torrefaction, Elsevier International, USA. Str. 118-122 (27.08.2020.)
11. BOGDAN, Ž. (2009.) "Analiza tehnologija za energetska iskorištavanje krutog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj", Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 11-13. ( 18.08.2020.)
12. COLON, J. (2012.) " Determination of the energy and environmental burdens associated with the biological treatment of source-separated Municipal Solid Wastes", Energy and Environmental Science, br. 5, str. 5731-5741, (20.08.2020)
13. GAUTAM, P., KUMAR, S., MOHARIR, V. (2019.) Current Developments in Biotechnology and Bioengineering\_ Waste Treatment ... – Google knjige [https://books.google.hr/books?id=KGGCDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Current+Developments+in+Biotechnology+and+Bioengineering+waste+treatment&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwjs\\_-eNzuPqAhVNiYsKHVwBBJAQ6AEwAXoECAYQAg#v=onepage&q&f=false](https://books.google.hr/books?id=KGGCDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Current+Developments+in+Biotechnology+and+Bioengineering+waste+treatment&hl=hr&sa=X&ved=2ahUKEwjs_-eNzuPqAhVNiYsKHVwBBJAQ6AEwAXoECAYQAg#v=onepage&q&f=false) Str. 53-62 (23.08.2020.)
14. KEMETER D., (2015.) "Održivo gospodarenje otpadom" str. 1-2. (30.08.2020)
15. KUMAR, S. (2012.), "Biogas", Rijeka: Intech. Str. 91-113. (20.08.2020)
16. LESKENS, M. (2005.) Model predictive control of municipal solid waste plants, International Workshop on Assessment & Future Directions of NMPC, Pavia, Italy. Str. 3 (22.08.2020.)
17. RUTZ, D. (2012.) "Održivo korištenje toplinske energije iz bioplinskih postrojenja", München: WIP Renewable Energies. Str. 8 (24.08.2020)
18. SOFILIĆ, T., BRNARDIĆ, I.(2013.) : Gospodarenje otpadom, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak. Str. 15-20 (25.08.2020)
19. ŠLJIVAC, STOJKOV, MARKANOVIĆ, TOPIĆ, JANKOVIĆ, HNATKO. (2019.) „Energetska učinkovitost rasplinjavanja drvene biomase u proizvodnji električne energije“ str. 3,11 (30.08.2020.)