

# Biološka svojstva otpada

---

Levanić, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:363068>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



# Biološka svojstva otpada

---

**Levanić, Matea**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:363068>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2020-11-05**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MATEA LEVANIĆ

BIOLOŠKA SVOJSTVA OTPADA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

BIOLOŠKA SVOJSTVA OTPADA

KANDIDAT:  
MATEA LEVANIĆ

MENTOR:  
doc.dr.sc. ALEKSANDRA ANIĆ VUČINIĆ

VARAŽDIN, 2016.



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: MATEA LEVANIĆ

Matični broj: 2289 - 2013./2014.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

BIOLOŠKA SVOJSTVA OTPADA

- Rad treba sadržati:
1. Uvod
  2. Biološka svojstva otpada
  3. Biorazgradivi otpad
  4. Mehaničko-biološka obrada otpada
  5. Biološka obrada
  6. Ciljevi propisani zakonodavstvom za biootpad
  7. Zaključak
  8. Literatura

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 11.05.2016.

Rok predaje: 02.09.2016.

Mentor:

Doc.dr.sc. Aleksandra Anić Vučinić

Predsjednica Odbora za nastavu:

Doc.dr.sc. Sanja Kovač



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

### BIOLOŠKA SVOJSTVA OTPADA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom doc. dr. sc. Aleksandre Anić Vučinić.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 01.09.2016.

Matea Levanić  
(ime i prezime)

*Matea Levanić*  
(Vlastoručni potpis)

## **SAŽETAK**

**Ime i prezime: Matea Levanić**

**Naslov rada: Biološka svojstva otpada**

Otpad predstavlja sve veći problem u današnjem društvu i nastoji se tretirati tehnologijama i procesima da imaju što manji štetni utjecaj na okoliš. Biološka svojstva otpada podložna su promjenama uslijed starenja otpadnog materijala. U ovom završnom radu objašnjeno je koje su biorazgradive komponente u miješanom komunalnom otpadu te su ukratko opisane biološke metode obrade otpada te produkti takvih obrada. Zbog svojstva biorazgradnje, ova frakcija komunalnog otpada predstavlja sirovinu za proizvodnju komposta i bioplina.

**Ključne riječi:** biološka svojstva, komunalni otpad, biorazgradiv otpad, biootpad, biološka obrada

1.UVOD.....	1
2. BIOLOŠKA SVOJSTVA OTPADA.....	1
3. BIORAZGRADIVI OTPAD .....	4
3.1. BIORAZGRADIV OTPAD U KOMUNALNOM OTPADU.....	5
3.2. SASTAV MIJEŠANOG KOMUNALNOG OTPADA U RH .....	8
3.3. BIOOTPAD .....	9
3.4. OSTALE BIORAZGRADIVE KOMPONENTE.....	10
4.MEHANIČKO - BIOLOŠKA OBRADA OTPADA .....	11
5. BIOLOŠKA OBRADA .....	14
5.1. AEROBNA BIOLOŠKA OBRADA .....	14
5.1.1. BIOSUŠENJE .....	15
5.1.2. KOMPOSTIRANJE.....	15
5.2. ANAEROBNA DIGESTIJA .....	18
6. CILJEVI PROPISANI ZAKONODAVSTVOM ZA BIOOTPAD .....	21
7. ZAKLJUČAK.....	23
8. LITERATURA: .....	24

Popis slika

Popis tablica



## **1.UVOD**

Otpad je svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbacit, a definirana je Zakonom o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13) (u daljnjem tekstu: Zakon) . Otpad se može podijeliti prema svojstvima i prema mjestu nastanka.

Prema mjestu nastanka otpad se dijeli na komunalni i proizvedeni (industrijski) otpad. Komunalni otpad je otpad iz kućanstva i otpad iz proizvodne i/ili uslužne djelatnosti koji je po svojstvima i sastavu sličan otpadu iz kućanstva (osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede i šumarstva). Proizvedeni otpad je onaj koji nastaje u proizvodnom procesu u industriji, obrtu i drugim procesima, a po sastavu i svojstvima se razlikuje od komunalnog otpada. Proizvodnim otpadom se ne smatraju ostaci iz proizvodnog procesa koji se koriste u proizvodnom procesu istog proizvođača.

Prema svojstvima otpad se dijeli na inertni, neopasni i opasni otpad. Inertni otpad je otpad koji ne podliježe značajnim fizikalnim, kemijskim i/ili biološkim promjenama. Ovaj otpad nije topljiv, nije zapaljiv, fizikalno ili kemijski ne reagira niti je biorazgradiv. S tvarima s kojima dolazi u dodir ne djeluje tako da bi to utjecalo na zdravlje ljudi, životinjskog i biljnog svijeta ili na povećanje dozvoljenih emisija u okoliš. Neopasni otpad je otpad koji je po sastavu i svojstvima određen kao neopasni otpad te ne posjeduje nijedno opasno svojstvo. Opasni otpad je otpad koji je po sastavu i svojstvima određen kao opasni otpad. To je otpad koji je određen kategorijama (generičkim tipovima) i sastavinama, a obvezno sadrži jedno ili više od propisom utvrđenih opasnih svojstava. Popis opasnih svojstava i opis definiran je Dodatkom III. Zakona. [1]

Kvantitativne karakteristike otpada definirane su njegovim sastavom, starošću, načinom nastanka, načinom odlaganja i uvjetima odlaganja (atmosferilije).

Kvalitativne karakteristike otpadnih materijala redom su: fizikalna, mehanička, kemijska i biološka svojstva. [2]

## **2. BIOLOŠKA SVOJSTVA OTPADA**

Biološka svojstva su, kao i sva druga kvalitativna svojstva otpada, podložna promjenama

uslijed starenja otpadnog materijala. Zapravo, starenjem dolazi do biološke degradacije organske frakcije otpada, koja za posljedicu ima promjenu kemijskih, mehaničkih i drugih svojstava. [3] Isključuje li se plastika, guma i koža, organska frakcija komunalnog otpada može se klasificirati kao:

- topljive tvari u vodi kao što su šećeri, škrob, aminokiseline i razne organske kiseline,
- hemiceluloza,
- celuloza,
- masti, ulja i voskovi,
- lignin,
- lignoceluloza i
- bjelančevine.

Najvažnije biološko svojstvo organskog komunalnog otpada je ta da skoro sve organske komponente se mogu pretvoriti biološkim procesima u plinove i relativno inertne organske i anorganske krutine. Proizvodnja mirisa i lijevanje insekata je također rezultat degradacije (raspadanja) materijala koji se nalaze u komunalnom otpadu, kao npr. otpad od hrane.

**Topljivost** je svojstvo otopljene tvari definirano količinom te tvari koja se može otopiti u nekom otapalu, a da pri tom nastala otopina bude u ravnoteži. Neke od tvari topljivih u vodi su: šećeri, škrob, aminokiseline, razne organske kiseline i dr. **Hemiceluloza** je produkt kondenzacije šećera s pet i šest ugljikovih atoma. Ona je heteropolisaharid koji sadržava kratke račvaste lance heksoze. **Celuloza** je bijela vlaknasta tvar bez okusa i mirisa, netopljiva u vodi i organskim otapalima (Slika 1.). Glavni je sastojak staničnih stijenki biljaka (Tablica 1.). Najrasprostranjeniji je polisaharid i najrašireniji je organski spoj na Zemlji. Celuloze ima najviše u voću i povrću i vrlo je važan element prehrane. **Masti, ulja i voskovi** su esteri alkohola i teških masnih kiselina. Ne otapaju se u vodi, ali se otapaju u organskim otapalima. **Vosak** je kemijska tvar koja se određuje po mehaničkim i fizičkim svojstvima. Kemijski sastav i podrijetlo voskova mogu biti vrlo različiti. Po pojmom vosak se najčešće podrazumijeva pčelinji vosak ili druga supstanca sa sličnim osobinama. U svakodnevnom govoru, pod pčelinjim voskom se misli na supstancu koju ispuštaju pčele a koju koriste pri pravljenju saća. Općenito, pojam vosak se odnosi na cijelu grupu supstanci sa osobinama sličnim pčelinjim voskom: plastičnost na normalnoj

temperaturi okoline, talište iznad 45 °C (što razlikuje voskove od masti i ulja), relativno slaba viskoznost pri topljenju (za razliku od mnogih vrsta plastike), nerastvorljivost u vodi, hidrofobnost.. **Lignin** je polimerski materijal koji sadrži aromatske prstenove i metoksil grupu (-OCH<sub>3</sub>) čija točna kemijska priroda još nije poznata (prisutniji u nekim papirnatim proizvodima poput npr. novina i kartona). Lignin se nalazi u svim vaskularnim biljkama, uglavnom između stanica, ali i unutar stanica (Tablica 1.). To čini povrće čvrsto i hrskavo, i daje nam ono što se zove "nit" u našoj hrani. Također, učinkovito provodi vodu. Nakon celuloze lignin je najobilniji obnovljivi biopolimer u prirodi. Celuloza, lignin i drugi ugljikohidrati izgrađuju nosive stjenke stanice i drvenasto tkivo biljaka. **Lignoceluloza** je kombinacija lignina i celuloze. Jedna je od najčešćih biopolimera u prirodi. Najviše se koristi za proizvodnju bio-goriva, uglavnom bio-etanola. Ona se sastoji od ugljikohidrata polimerima (celuloze, hemiceluloze) i aromatskog polimera (lignina). Ovi polimeri ugljikovodika sadrže različite monomera šećera, a oni su čvrsto vezani za lignina. **Bjelančevine** ili proteini nalaze se u različitim vrstama prehrambenih namirnica. Može ih se naći, u većim ili manjim količinama, u gotovo svojoj hrani, osim u rafiniranim šećerima i mastima. Hrana životinjskog podrijetla, poput mesa, riba, jaja (bjelanjak), mlijeka, jogurta i sira, dobar je izvor bjelančevina u kvalitativnom i kvantitativnom smislu. Biljne bjelančevine nalaze se u mahunarkama, žitaricama, grahu, leći, pšenici, riži, kukuruzu, ječmu, zobi, raži, a veću količinu bjelančevina ima soja. Osim što sadrže mnogo bjelančevina, navedene su namirnice izvor svih esencijalnih aminokiselina. [4]

Tablica 1. Udio celuloze, hemiceluloze i lignina u nekim poljoprivrednim ostacima [5]

Lignocelulozni materijal	Celuloza [%]	Hemiceluloza [%]	Lignin [%]
Stabljika kukuruza	28	28	11
Klip kukuruza	45	35	15
Slama pšenice	30	50	15
Trave	25-40	35-50	10-30



Slika 1. Celuloza [6]



Slika 2. Pčelinji vosak [7]

### 3. BIORAZGRADIVI OTPAD

Zakonom biorazgradivi komunalni otpad definiran je kao otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede, šumarstva, a koji u svom sastavu sadrži biološki razgradiv otpad. [8]

Biorazgradivi komunalni otpad uglavnom čine vrste otpada poput papira i kartona, biootpada, tekstila i drva, koje bi u što većoj mjeri trebale biti odvojeno skupljene iz komunalnog otpada i zbrinute na način koji bi se postigao cilj propisan čl.24. Zakona, prema kojem maksimalna odložena količina biorazgradivog komunalnog otpada do kraja 2016. ne bi smjela premašiti 378.088 tona odnosno 50 % odnosno 264.661 tona 35 % do 31. prosinca 2020. u odnosu na masu biorazgradivog komunalnog otpada proizvedenog u 1997. godini.

Prilikom skupljanja, u pretovarnim stanicama i na odlagalištu komunalnog otpada, javljaju se neugodni mirisi koji su rezultat anaerobnog raspadanja organske tvari u komunalnom otpadu. Također, crna boja krutog otpada koji je prešao anaerobno raspadanje na odlagalištu nastaje zbog formiranja metalnih sulfida. Biokemijska redukcija organske komponente koja sadržava sumporni radikal može prouzročiti stvaranje neugodnih mirisa.

Bitan problem u gospodarenju otpada su i muhe koje se mogu razviti za manje od 2 tjedna nakon što su položena jaja. Ako se razviju jaja, teško ih je ukloniti kad se isprazne spremnici za otpad i razvijaju se muhe. [8]

### 3.1. BIORAZGRADIV OTPAD U KOMUNALNOM OTPADU

Najproblematičnija komponenta komunalnog otpada je biorazgradivi otpad koji razgradnjom u odlagalištima stvara, kako neugodne mirise i onečišćene procjedne vode, tako i stakleničke plinove (sadržane u odlagališnom plinu: npr. metan, dušikovi oksidi i dr.), budući da se proces razgradnje odvija u anaerobnim uvjetima. Budući da se otpad u odlagalištima razgrađuje nekontrolirano i do 100 godina, suvremeni pristup bazira se na kontroliranim uvjetima biorazgradnje, bilo aerobnim ili anaerobnim postupcima.

Mikroorganizmi koji razgrađuju otpad (bakterije, alge, gljivice, plijesni i dr.) za rast i razmnožavanje trebaju određene uvjete, kao npr. prikladnu vlažnost, temperaturu, pogodan udio C, O i N, određenu pH-vrijednost... Razgradnja organskog dijela odloženog otpada praćena je stvaranjem plinova. Plin koji je prisutan u aerobnoj fazi (prva faza nakon odlaganja otpada) sadrži  $O_2$  i  $N_2$ , tj. sličan je sastavu zraka. U ovoj fazi (uz prisustvo kisika) kao plinoviti produkti biorazgradnje stvaraju se  $CO_2$  i  $H_2O$ . Kako se kisik troši, sve više prevladavaju anaerobni uvjeti. Kad prevladavaju anaerobni uvjeti  $O_2$  se smanjuje gotovo do nule, a  $N_2$  na manje od 1 %. Glavni produkti anaerobne razgradnje su  $CO_2$  i  $CH_4$ . Anaerobna razgradnja odvija se u dvije faze. U prvoj fazi djeluju fakultativni mikroorganizmi (mogu živjeti s kisikom ili bez njega) koji stvaraju jednostavne organske kiseline, kao npr. octenu ( $CH_3COOH$ ), propionsku ( $C_2H_5COOH$ ), pirogroždanu ( $CH_3COCOOH$ ) i dr. te razne alkohole. U drugoj fazi počinju djelovati metanogene bakterije. One žive u uvjetima bez kisika, te razgrađuju jednostavne organske kiseline i alkohole do konačnih produkata:  $CO_2$  i  $CH_4$ .

Plinovi koji se stvaraju prilikom aerobne i anaerobne razgradnje organskih tvari na odlagalištima mogu posredno ili neposredno utjecati na okoliš. U najvećoj količini prisutni su  $CH_4$  i  $CO_2$ , dok u manjoj  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $N_2$ , razni aldehidi, merkaptani, amini, sulfidi, plinoviti niži ugljikovodici, te heksan, heptan i oktan i dr. Prosječni sastav odlagališnog plina mijenja se ovisno o uvjetima pod kojima se nalazi odlagalište, te fazi razgradnje otpada.

Prosječni sastav odlagališnog plina u anaerobnoj fazi razgradnje je:

metan, $CH_4$	35 – 65 %
uglični dioksid, $CO_2$	cca 45 %
ostali plinovi (>100 vrsta)	cca 10 %.

Nastanak plinova zbog mikrobiološke razgradnje otpada može se definirati matematičkim modelom:

$$dV/dt = V_0 * e^{-kt}$$

gdje je:

V - volumen plina

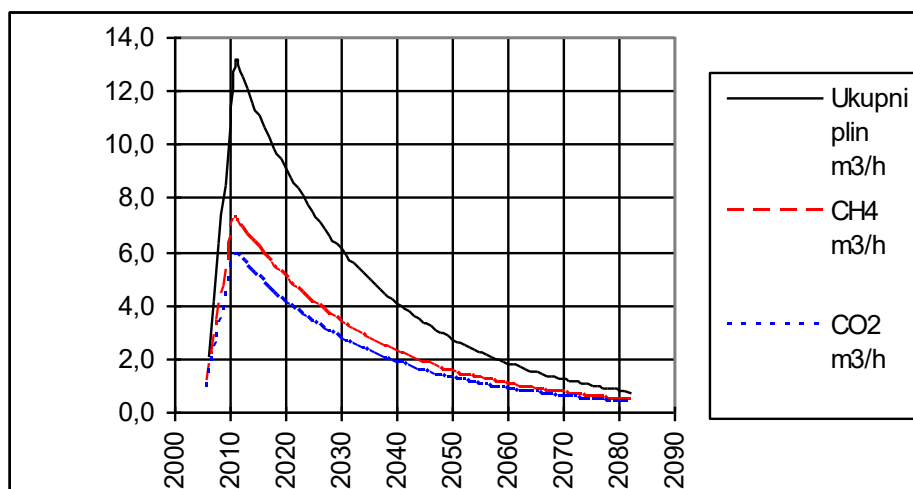
t - vrijeme

k - vremenska konstanta razgradnje

$V_0$  - volumen plina koji nastane razgradnjom 1 t otpada.

Kada se spomenuti model nadopuni dodatnim korekcijskim faktorima, moguće je procijeniti količinu odlagališnog plina koji će nastajati na odlagalištu. Osnovni faktori koji utječu na količinu odlagališnog plina su: karakteristike otpada, temperatura, pH-vrijednost i sadržaj vlage na odlagalištu, obuhvatnost kontroliranog skupljanja plina, koncentracije soli (kao što su sulfati i nitrati) i dr.

Procjena količina  $CH_4$  i  $CO_2$  koja će se stvarati u razdoblju od 2006. do 2041. godine, te ukupnog odlagališnog plina na odlagalištu otpada, prikazana je na slici 3.



Slika 3. Procjena količina plinova koja će se stvarati na manjem odlagalištu otpada (m<sup>3</sup>/h)

Na razmatranom odlagalištu najveća količina metana stvarat će se godinu dana nakon prestanka odlaganja otpada. To je razdoblje stabilne anaerobne faze. Nakon toga, nastajanje metana lagano će se smanjivati, jer se smanjuju i količine supstrata na koje djeluju metanogene bakterije. Teoretska količina odlagališnog plina od 13,1 m<sup>3</sup>/h u 2011. godini (prva godina nakon prestanka odlaganja otpada) iz navedenih prikaza ukazuje na racionalno rješenje u vidu pasivnog otplinjavanja, budući da se radi o relativno malim

vrijednostima protoka plina za ekonomsko opravdano iskorištavanje energetskog potencijala ili efikasni rad baklje za spaljivanje plina.

Na odlagalištu se nakon 1 – 2 godine uspostavljaju stabilni anaerobni uvjeti, što znači fazu stvaranja metana. Slika 3 prikazuje stvaranje odlagališnih plinova za vrijeme trajanja stabilne anaerobne faze, pri čemu je omjer  $\text{CH}_4 : \text{CO}_2 = 55\% : 45\%$ .

Ovaj omjer plinova uzet je kao prosjek za tu fazu, a rezultat je dugogodišnjih ispitivanja na odlagalištima. Za metan i ugljični dioksid nisu propisana ograničenja u zraku što bi trebalo uskladiti s europskim zakonima. Ako se javljaju u povećanoj koncentraciji treba ih obraditi, odnosno energetski iskoristiti. Budući da se radi o procjenama količina koje su rađene na temelju procjena karakteristika otpada koji se danas treba odlagati, prikazane teoretske vrijednosti u praksi mogu odstupati od procijenjenih. Odstupanja mogu također nastati ovisno o pridržavanju uputa o načinu odlaganja i vrstama otpada koji se odlaže. Stvarno nastajanje metana samo je dio teoretski proračunate količine. Uzrok tome je to što se veliki dio organskog ugljika (kada je u topivom obliku, kao što su jednostavne kiseline i alkoholi) ispere s procjednim vodama. Dakle, najveći dio ugljika odloženog na odlagalištu su složeni organski spojevi, dok ugljik napušta odlagalište kao  $\text{CH}_4$  i  $\text{CO}_2$  ili kao organsko opterećenje u procjednoj vodi. Također, nije moguće potpuno izolirati odlagalište tako da se plinodrenažom obuhvati sav odlagališni plin.[9]

Metan je plin lakši od zraka i zato lako migrira. Njegovo kretanje unutar tijela odlagališta ovisno je o tlaku i difuziji u okolini. On kreće iz mjesta većih koncentracija prema mjestima manjih koncentracija. Metan se može nakupljati na pojedinim mjestima, što onda može rezultirati eksplozijama. Budući da količina 5 – 15 % metana sa zrakom tvori eksplozivnu smjesu, bitno je poduzeti sve mjere kako bi se spriječila mogućnost eksplozije i požara na odlagalištima. Iz tog razloga, kontrolirano otplinjavanje odlagališta je neophodno. Također, mjerenje količina plinova koji se stvaraju, mora se provoditi redovito kako bi se izbjegla ekološka nesreća. No, nastajanje metana može se smatrati i izvorom energije. Daljnji negativni učinak nastajanja metana je njegov utjecaj na završni vegetativni pokrivač odlagališta. Iako metan nije toksičan za biljke, stvaranje određenih količina metana u zoni korijena dovodi do nedostatka kisika i ugibanja biljaka. Slični učinak imaju  $\text{H}_2\text{S}$  i  $\text{CO}_2$ .

Daljnji problem izazvan nastajanjem plinova može biti neugodan miris uzrokovan tragovima  $\text{H}_2\text{S}$  i nastajanjem hlapivih organskih spojeva – kao što su merkaptani, što u

konačnici opet rezultira nastankom sumporovodika. Miris se uklanja na način da se plinovi skupljaju i spaljuju ili se otpad prekriva slojem inertnog materijala. Utjecaj CO<sub>2</sub> na okolinu očituje se u tome što je on teži od zraka i pada na dno odlagališta gdje se topi u vodi te povećava korozivnost i kiselost procjedne vode. Za vrijeme aerobne faze na odlagalištu se stvara najveća količina CO<sub>2</sub>, dok se prelaskom u anaerobne uvjete njegova količina znatno smanjuje. Kontrola plina je teška i vrlo skupa. Najčešća tehnika za kontrolu plina su glinene barijere i otplinjavajuća okna. [10]

### 3.2. SASTAV MIJEŠANOG KOMUNALNOG OTPADA U RH

Sastav miješanog komunalnog otpada mijenja se ovisno o sredini u kojoj nastaje i ovisi o mnoštvu čimbenika kao što su: standard stanovništva, tip naselja, dostignuta razina komunalne infrastrukture i slično. Upravo složeni sastav komunalnog otpada i mnogobrojnost proizvođača čine sustav gospodarenja otpada kompleksnim. [5]

Miješani komunalni otpad, kao što je vidljivo i u tablici 2 redom čini [3]:

- kuhinjski i biootpad,
- papir i karton,
- plastika,
- tekstil,
- staklo,
- metal,
- koža i kosti,
- inertni otpad,
- drvo,
- guma i
- posebni.

Tablica 2. Prikaz prosječnoga godišnjeg sastava komunalnog otpada [5]



Komponenta otpada	Mas %, srednja vrijednost	Mas %, biorazgradivi udio
Kuhinjski i biootpad	42,2	74,5
Papir i karton	20,0	
Koža i kosti	3,1	
Drvo	1,3	
Tekstil	8,0	
Staklo	6,8	
Metali	4,1	
Inertni	1,9	
Plastika	12,0	
Guma	0,7	
Posebni	0,3	

Iz tablice 2 može se zaključiti da je prioritet odvojeno prikupljanje kuhinjskog i biootpada te papira i kartona. Ako bi se samo ove dvije kategorije odvojeno prikupljale 60% otpada se ne bi trebalo zbrinuti na odlagalištu. [5]

### 3.3. BIOOTPAD

Znatan udio u sastavu komunalnog otpada čini biootpad, odnosno otpad koji podliježe anaerobnoj ili aerobnoj razgradnji. On čini približno 35-45 % ukupnog otpada iz kućanstava te tako predstavlja trećinu kućnog otpada. Biootpad je otpad iz vrtova i parkova, hrana i kuhinjski otpad iz kućanstava, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih objekata i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda. (Slika 3.)

Otpad iz vrtova i parkova obuhvaća travu, lišće te drvene otpatke. Otpaci od hrane u komunalnom otpadu obuhvaćaju nekonsumiranu hranu i otpad od hrane preostao nakon pripreme i konzumacije hrane u kućanstvima, uslužnim djelatnostima (npr. restorani, hoteli...), javnim ustanovama i institucijama (npr. škole, bolnice...) te industrijskim pogonima koji imaju vlastite kantine. Prema procjenama, otpaci od hrane čine oko 10% ukupnog miješanog komunalnog otpada te se u statističkim podacima obrađuju kao

biootpad. Udio otpadaka od hrane u ukupnom komunalnom otpadu uvelike se promijenio kao posljedica tehnološkog napretka i podizanja razine svijesti o očuvanju hrane. Također, počele su se koristiti i kante te kontejneri za biootpad (Slika 4.). [8]



Slika 4. Otpaci hrane [11]



Slika 5. Kontejner za biootpad [12]

### 3.4. OSTALE BIORAZGRADIVE KOMPONENTE

U komunalnom otpadu nalazi se do 20-30% **papirnatog otpada**, odnosno gotovo trećina ukupnog komunalnog otpada. Papir i karton kao ambalažu upotrebljava široka paleta proizvoda, no također nudi se kao i sam proizvod (npr. novine, tiskani reklamni materijali...). [5] Nadalje, potrošnja papira i kartona u svijetu udvostručila se posljednjih 20-ak godina, a udio papira koji se vraća u proces proizvodnje je porastao. Za dobivanje celuloze od koje se proizvodi papir, potrebno je utrošiti veliku količinu prirodnih sirovina, vode i energije. U trenutku kada postaje otpad te ukoliko se odlaže, „sretna“ okolnost je razgradivost papira. Danas, brojne komunalne tvrtke prakticiraju otkup otpadnog papira za koji fizičke i pravne osobe dobivaju naknadu za sakupljene količine. Pravi ekonomski i ekološki učinci pojavljuju se pri povratu papira tek onda kada se stari papir upotrijebi kao sekundarna sirovina za proizvodnju novog papira. No, posebne vrste papira, poput plastificiranih i obloženih, teško se recikliraju, a još se teže spontano razgrađuju. [8]

Volumni udio **tekstilnog otpada** u ukupnom komunalnom otpadu čini oko 8%. Primarni izvor tekstilnog otpada jest odjeća i tekstilne potrepštine domaćinstva poput ručnika, plahti, ubrusa te u obući i namještaju.[5] Tekstil se može podijeliti na: odjevni tekstil,

tehnički tekstil i obuću. Odjevni tekstil koji obuhvaća sljedeće vrste proizvoda: majice, košulje, veste, hlače, traperice, suknje, kapute, jakne, donje rublje, čarape, pokrivala za glavu i ruke i sve ostale odjevne predmete namijenjene zaštiti čovjekovog tijela od klimatskih i drugih vanjskih utjecaja. Tehnički tekstil (tekstilni materijali i proizvodi koji se prije svega proizvode zbog njihovih tehničkih i uporabnih svojstava, dok su njihova estetska i dekorativna svojstva manje važna) koji obuhvaća sljedeće vrste proizvoda prema vrstama njihove primjene: agrotekstil, građevinski tekstil, odjevni zaštitni tekstil, geotekstil, tekstil za domaćinstvo, industrijski tekstil, medicinski tekstil, tekstil za automobile, ekotekstil, tekstil za osobnu zaštitu, tekstil za sport, tekstil za ambalažu i slično. Obuća obuhvaća sljedeće vrste proizvoda: cipele, čizme, sandale, obuću za sport, japanke, klompe i sve ostalo što se obuva i obuhvaća stopalo, osim čarapa. [14]

**Koža i kosti** životinjskog porijekla nastaju u klaonicama, u objektima za preradu mesa, riba, jaja, mlijeka, crijeva, u hladnjačama, skladištima, valionicama jednodnevnih pilića, na tržnicama, u prodavaonicama mesa, ribarnicama, ugostiteljstvu i drugim objektima javne prehrane, u objektima za uzgoj i držanje životinja, u zoološkim vrtovima, lovnom gospodarstvu, lučkim terminalima, graničnim prijelazima, u prijevozu životinja i proizvoda i na drugim mjestima na kojima se životinje čuvaju i uzgajaju, te na mjestima gdje se proizvode namirnice životinjskog porijekla. [13] Većina otpada od kože u komunalnom otpadu porijeklom je od dijela pokućstva i sličnih proizvoda. [8]

**Drvo** je kemijski uglavnom sastavljeno od celuloze (~60% mase suhe tvari), lignina (~28% mase suhe tvari) te šećera, ekstrakata i drugih spojeva (~12% mase suhe tvari). Zanimljivo je da se kemijski pojedine vrste drva malo razlikuju. Vlažnost drva i njena promjena uslijed vanjskih faktora od presudnog je utjecaja na veliki broj svojstava drva u tehničkom smislu. Voda u drvu se nalazi u dva oblika, a to su kapilarna voda i vezana voda. Kapilarna voda je voda u kapilarama, zove se još i slobodna voda. Vezana voda je voda kemijski vezana vodikovom vezom za celulozu u stjenkama vlakana. Otpad od drva u komunalnom otpadu porijeklom je od dijela kućanstva kao što su ormari, kreveti, stolice i dr. [15]

#### **4.MEHANIČKO - BIOLOŠKA OBRADA OTPADA**

Koncept mehaničko biološke obrade – MBO (eng. mechanical – biological treatment MBT) otpada razvio se kao posljedica težnje da se smanji količina biorazgradivog otpada

koji je do tada odlagana na odlagalištima te da se sustavom automatskog odvajanja omogući uporaba korisnih sekundarnih sirovina iz otpada. [16]

Postoji niz definicija mehaničko-biološke obrade otpada, među kojima se može izdvojiti nekoliko značajnijih:

- “MBO je proces obrade komunalnog otpada koji određene frakcije komunalnog otpada odvaja mehaničkim putem, dok druge obrađuje biološkim procesima, tako da smanjuje ostatnu frakciju, stabilizira ju i priređuje za moguće upotrebe..”

- “MBO je slijed procesa (mehaničkih i bioloških) kojima je cilj obraditi komunalni otpad prije definitivnog odlaganja, s ciljem minimiziranja negativnog utjecaja na okoliš te izdvojiti frakcije koje je moguće ponovo iskoristiti i to ili materijalnom ili energetsom uporabom..” [15]

MBO tehnologija obuhvaća dva ključna procesa: mehaničku (M) i biološku (B) obradu otpada, pri čemu se različiti elementi M i B procesa mogu konfigurirati na različite načine kako bi se dobio širok raspon specifičnih ciljeva kao što su:

- povećanje količine obnovljivih sirovina (staklo, metali, plastika, papir, i dr.);
- proizvodnja komposta i materijala sličnih kompostu;
- proizvodnja krutog goriva iz otpada;
- proizvodnja biostabiliziranog materijala za odlaganje;
- proizvodnja bioplina za proizvodnju toplinske i/ili električne energije;
- proizvodnja visoko kvalitetnog krutog goriva definiranih svojstava;
- smanjenje emisije metana s odlagališta.

Obrada uključuje mehaničko sortiranje otpada, razvrstavanje otpada s obzirom na veličinu čestica, te procese biološke obrade otpada iz čega je i nastao akronim MBO. Svaki od navedenih procesa zahtjeva primarno odvajanje opasnih tvari (baterije, lijekovi, boje i lakovi, otapala, i sl.), a svaki od njih rezultira smanjenjem volumena otpada (50-70 % smanjenja volumena), a samim time i smanjenjem stakleničkih plinova, uglavnom na račun izbjegavanja stvaranja metana.

MBO tehnologije u pravilu uključuju procese kao što su:

- mehanička obrada:

- usitnjavanje i peletizacija,
- drobljenje i mljevenje,
- prosijavanje,

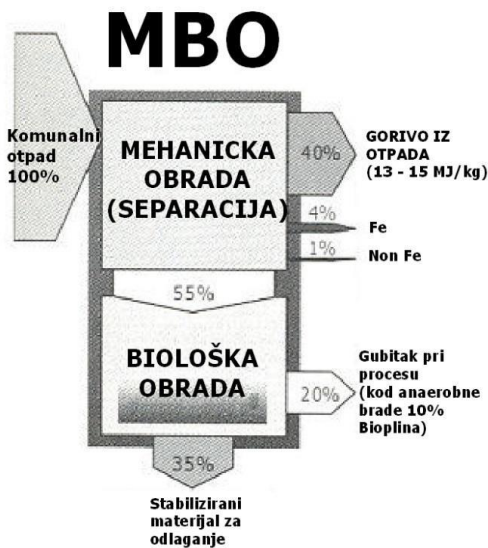
- ostale metode mehaničke separacije,
- separaciju metala,
- separaciju nemagnetskih metala;

- biološka obrada:

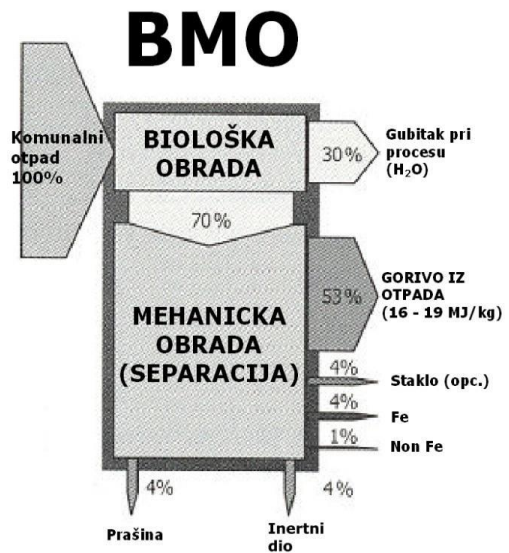
- aerobna biološka obrada:
  - biosušenje,
  - kompostiranje;
- anaerobna biološka obrada:
  - anaerobna digestija.

MBO procesi se s obzirom na redoslijed obrade otpada dijele na:

- MBO procese - procesi u kojim se otpad najprije obrađuje u mehaničkom pa tek onda u biološkom procesu (Slika 5.)
- BMO procese - procesi u kojim se otpad najprije obrađuje u biološkom pa tek onda u mehaničkom procesu (Slika 6.). [17]



Slika 6. MBO proces



Slika 7. BMO proces

## 5. BIOLOŠKA OBRADA

Biološka obrada otpada, bazira se na djelovanju mikroorganizama, pri čemu dolazi do razgradnje biorazgradive, odnosno organske frakcije otpada. Procesi biološke razgradnje organske komponente otpada dijele se na aerobne (uz prisustvo kisika) i anaerobne (bez prisustva kisika) pri čemu različiti tipovi mikroorganizama obavljaju proces razgradnje organske tvari.

Osnovna razlika između ova dva tipa procesa zasniva se na različitim tipovima mikroorganizama koji obavljaju proces razgradnje organske tvari. I za jedan i za drugi tip obrade postoje različite izvedbe i načini vođenja procesa. [18]

Podjela biološke obrade je sljedeća:

Aerobna biološka obrada:

Biosušenje,

Kompostiranje

Anaerobna biološka obrada:

Anaerobna fermentacija (anaerobna digestija).

Procesom biološke obrade nastoji se u što većoj mjeri razgraditi organska komponenta otpada. Osnovni razlog je taj što se njenim odlaganjem unutar odlagališta producira metan ( $\text{CH}_4$ ), koji je staklenički plin i samim tim izaziva ogromno opterećenje po okoliš.

### 5.1. AEROBNA BIOLOŠKA OBRADA

Aerobna obrada je proces razgradnje organskih sastojaka otpada (hrane) pomoću mikroorganizama u okruženju zraka (kisika). Osim obrađenog komunalnog otpada, čija je organska komponenta više ili manje razgrađena, procesom nastaju i nusprodukti.

Tehnološki gledano, aerobna obrada podrazumijeva dva različita procesa, a to su: biosušenje i kompostiranje.

Aerobna razgradnja krutog otpada može se generalno zapisati prema sljedećoj formuli: organska tvar +  $\text{O}_2$  + hranjive tvari → nove stanice + otporne organske tvari +  $\text{CO}_2$  +  $\text{H}_2\text{O}$  +  $\text{NH}_3$  +  $\text{SO}_4^{2-}$  + toplina [8]

### 5.1.1. BIOSUŠENJE

Proces biosušenja zasniva se na biorazgradnji lakorazgradivih organskih spojeva unutar usitnjenog otpada. Procesom aerobne razgradnje oslobađa se energija egzotermnim procesom aerobne razgradnje lakorazgradivih komponenata otpada. Stoga je biosušenje energetski povoljnije od kompostiranja pri čemu temperatura odvijanja procesa iznosi 50-70 °C. Proces biosušenja može se predočiti jednadžbom:



Iz navedenoga proizlazi da je za svaki kilogram biorazgradive tvari potrebno 1,6 kg O<sub>2</sub>, kojim nastaje oko 22 000 kJ energije u obliku topline te oko 1,9 kg CO<sub>2</sub>; 0,6 kg H<sub>2</sub>O i 0,04 kg NH<sub>3</sub>. Frakcija predviđena za biosušenje nanosi se u sloju od 4-5 m visine te na istom mjestu ostaje 12-15 dana, što je dovoljno za biorazgradnju od oko 50 % biorazgradivog materijala. Pod hale mora biti na poseban način perforiran, tako da je moguće ventilatorima usisavati odnosno upuhivati zrak te na taj način pospješivati i kontrolirati proces aerobne biorazgradnje. Tijekom procesa biosušenja iz ukupne se mase komunalnog otpada gubi 25-30 % od ulazne mase u vidu isparene vode. Isisani se zrak nakon prolaza kroz otpad tretira putem biofiltera, nakon kojih se pročišćen i bez ikakvog neugodnog mirisa ispušta u atmosferu. Produkt je stabilan, suh i higijeniziran proizvod bez neugodna mirisa s visokom kalorijskom vrijednosti. Prije daljnje manipulacije, iz produkta je potrebno ukloniti metale, plastiku, papir i ostale nečistoće. Preostala masa se usitnjava čime nastaje produkt koji se može koristiti kao sekundarno gorivo u cementnim pećima i kotlovima s izgaranjem u fluidiziranom sloju. [16]

### 5.1.2. KOMPOSTIRANJE

Kompostiranje je proces kontrolirane mikrobiološke razgradnje organskih materijala uz pomoć kisika u stabilnu organsku tvar i humus (Slika 7.). Prilikom razgradnje nastaje CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O te se oslobađa toplina. Proces se odvija u uvjetima koji su povoljni za rast i razmnožavanje mikroorganizama, koji razgrađuju organske frakcije. Tijekom kompostiranja, obično se uspije ukupna masa otpada na ulazu smanjiti za 40-60%. [16]

Postupak kompostiranja traje relativno dugo, od 10 do 12 mjeseci, i ima tri glavne faze. Prva faza je faza razgradnje u kojoj glavnu ulogu imaju mikroorganizmi (bakterije i dr.). Oni prvi napadaju kompostnu masu i razgrađuju je i pritom se oslobađa velika količina topline (do 70°C na 1 m<sup>3</sup> kompostne mase), koja uništava sjemenje korova i uzročnike bolesti. Druga faza je faza pretvorbe. U toj se fazi temperatura smanjuje, broj mikroorganizama se povećava, a kompostnu masu nastanjuju i prve gljivice, plijesni, kvasci dr. Treća faza je faza izgradnje. U toj se fazi pojavljuju prvi višestanični organizmi (npr. gliste) koje miješaju i usitnjavaju materijal te koji probavom stvaraju tzv. kompostne grudice. [19]

Kompost je razgrađena organska tvar iskoristiva prvenstveno za rekultiviranje ili samo dnevno prekrivanje odlagališta. [17]

Sirovine koje se obrađuju kompostiranjem čine sve vrste biorazgradivog otpada. S obzirom na vrstu supstrat može biti smeđi i zeleni materijal. Idealan supstrat je kombinacija smeđeg i zelenog materijala. Smeđi materijal je materijal od mrtvog bilja, slama, suhi korov, jesensko lišće, piljevina. Zeleni materijal je svježije bilje, zeleni korov, kore voća i povrća, zeleno lišće. Navedeni materijali sadrže puno dušika, potrebnog za sintezu aminokiselina i proteina te imaju veliki postotak vlage. Primjena procesa kompostiranja uključuje vrtni otpad, separirani komunalni otpad, izmješani komunalni otpad te kompostiranje mulja otpadnih voda. Većina suvremenih procesa aerobnog kompostiranja sastoji se u tri osnovna koraka:

1. predobrada komunalnog otpada,
2. aerobna razgradnja organske frakcije komunalnog otpada,
3. priprema proizvoda i marketing.

Bitni koraci u predobradi komunalnog otpada za kompostiranje su prihvatanje, uklanjanje oporabnih materijala, smanjivanje veličine čestica i prilagodba svojstava otpada (npr. omjer ugljika-dušika, dodatak vlage i hranjivih tvari). Stupanj predobradbe ovisi o procesu kompostiranja i karakteristikama konačnog proizvoda komposta. [8] Kompostiranje se dijeli u pet stupnjeva:

- razvrstavanje otpada – uklanjanje anorganskih komponenti (staklo, metal, keramika, plastika i tekstil i dr);
- prosijavanje i homogeniziranje – usitnjavanjem i miješanjem se pospješuje prozračivanje i prodor mikroorganizama;



- biološka razgradnja otpada koja se može odvijati u 2 sustava - zatvoreni sustav uz kontrolu uvjeta i otvoreni sustav;
- trenje i sušenje – sirovi kompost je potrebno stabilizirati;
- dogotavljanje komposta - potreba za dovršavanjem komposta ovisi o njegovoj distribuciji i primjeni. [20]

Proces kompostiranja otpada odvija se u heterogenoj masi, posebno kod obrade komunalnih organskih ostataka. U procesu sudjeluju različite kulture mikroorganizama koje u osnovi sadrže bakterije, kvasce, gljivice i aktinomicete. Svaka od vrsta ima veći ili manji afinitet prema razgradnji određene vrste otpada. Tako npr. bakterije razgrađuju uglavnom lako topive komponente, a kvasci, gljivice i aktinomicete, celulozu i hemicelulozu. Za mikrobiološku aktivnost vrlo je bitna temperatura kompostne mase. Što je veća mikrobiološka aktivnost, to je brža i razgradnja organske tvari. Sniženje temperature kompostne mase, signalizira uglavnom nedostatak kisika te se regulacija temperature kompostne mase vrši najčešće regulacijom dotoka kisika. Ukoliko koncentracija kisika padne ispod 10%, dolazi do stvaranja anaerobnih uvjeta u kompostnoj masi i pojave smrada.

Produkt kompostiranja je rahli materijal, tj. mineralizirana organska tvar, tamno smeđe do crne boje, širokog spektra primjene. [8]



Slika 8. Kompost [21]

Prednosti kompostiranja :

- stabilizacijom otpada smanjuje se utjecaj na okolinu,
- eliminacija patogenih elemenata,
- smanjenje volumena i rasterećenje odlagališta,
- od biorazgradivih otpadaka nastaju vrijedne organske tvari,
- sirovi kompost (produkt) se nakon zrenja može upotrebljavati u različite svrhe (poboljšavanje tla, materijal za biofilter),
- smanjujemo troškove odlaganja otpada,
- pridonosi se smanjenju onečišćenja tla, vode i zraka,
- smanjuju se emisije stakleničkih plinova, ako je riječ o zatvorenom sustavu.

Nedostaci kompostiranja:

- otvoreni način kompostiranja zahtjeva veliki prostor,
- mogućnost stvaranja neugodnih mirisa,
- nepostojanje tržišta za kompost,
- niska kvaliteta proizvedene gorive frakcije – goriva iz otpada (GIO)
- komunalna komponenta koja se kompostira ne može se koristiti u poljoprivredi već se odlaže.

Primjena komposta:

- u poljoprivredi, šumarstvu, hortikulturi i obnovi zemljišta oštećenog erozijom;
- obogaćivanje tla u koje se dodaje, u suhima zadržava vodu, a vlažna čini rahlijim;
- osigurava se prozračnost tla;
- efikasno hrani biljke;
- pogoduje rastu korjenitog bilja;
- kao sloj za dnevno prekrivanje otpada na sanitarnim odlagalištima. [8,17]

## 5.2. ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija je biokemijski proces u kojem se kompleksni organski spojevi razgrađuju djelovanjem različitih vrsta bakterija na biomasu u anaerobnim uvjetima pri čemu se proizvodi bioplina i fermentirani ostatak (digestat, biognojivo) u krutom i tekućem stanju. Digestat se nakon obrade može koristiti i kao poboljšivač kvalitete tla. Anaerobna digestija je tehnologija koja se pretežno primjenjivala za stabilizaciju primarnog i

sekundarnog mulja pri obradi otpadnih voda organske, prehrambeno-prerađivačke i fermentacijske industrije. Međutim, u posljednjih 20-ak godina se sve intenzivnije primjenjuje i pri obradi frakcije krutog komunalnog otpada organskog porijekla. Anaerobnom digestijom se smanjuje potrošnja fosilnih goriva (sirova nafta, lignit, željezna ruda, ugljen i prirodni plin) te ovisnost o njihovom uvozu. Smanjuju se emisije stakleničkih plinova te globalno zagrijavanje, količina otpada za odlaganje, pojava neugodnih mirisa i insekata te se postiže fleksibilnost korištenja različitih vrsta biomase. Anaerobna digestija može se koristiti za obradu bilo kojeg materijala koji sadrži ugljik, uključujući hranu, papir, vrtni otpad i čvrsti otpad, s različitim stupnjevima razgradnje. Organska frakcija komunalnog otpada je složen supstrat koji zahtijeva zamršen niz metaboličkih reakcija za svoju razgradnju. [19] Anaerobna digestija se odvija samo u specifičnim uvjetima među kojima su ulazna pH vrijednost ulazne mješavine između 6 i 7, temperatura oko 25 i 35°C te određeno vrijeme zadržavanja mješavine u fermentoru.

Fermentirati može:

- poljoprivredni otpad (trava, silaža, stajski gnoj),
- kućanski otpad (domaćinstva, restorani),
- industrijski (klačionički i prehrambeni),
- otpadne vode iz industrija i
- kanalizacijske vode.

Biokemijski proces anaerobne razgradnje odvija se u četiri stupnja. Prvi korak anaerobne razgradnje je **hidroliza** polimera koji se pretvaraju u topive monomere pomoću hidrolitičkih bakterija. Tako se npr. proteini pretvaraju u aminokiseline, masti u masne kiseline, glicerol i trigliceridi, složeni ugljikohidrati kao što su polisaharidi, celuloza, lignin, škrob i vlakna pretvaraju u jednostavne šećere, poput glukoze. Okvirna kemijska formula za smjesu organskog otpada je  $C_6H_{10}O_4$ . Reakcija hidrolize gdje se organski otpad razgrađuje u jednostavni šećer, u ovom slučaju glukozu, može se prikazati formulom:  $C_6H_{10}O_4 + 2H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 2H_2$ . Drugi korak je **acidogeneza** gdje se šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju do hlapivih masnih kiselina, alkohola, vodika, amonijaka i ugljičnog dioksida pomoću acidogenih bakterija. Ova faza ujedno je i najbrža faza procesa anaerobne digestije. Kemijska reakcija koja pokazuje pretvaranje glukoze u etanol glasi:  $C_6H_{12}O_6 \leftrightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$ . Sljedeća je faza **acetogeneze**, obično se povezuje s acidogenezom te se zajedno smatraju jednom fazom gdje nastaju kiseline. Tijekom acetogeneze se proizvodi fermentacije, koji se ne mogu metanogenim bakterijama direktno

transformirati u metan, pretvaraju u metanogene spojeve. Hlapljive masne kiseline i alkoholi oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid. Posljednja je **metanogeneza** gdje metanogene bakterije razgrađuju prethodno nastale produkte do metana i ugljičnog dioksida, tj. prevode ove produkte do bioplina i digestata. [22]

Vrlo je važno osigurati optimalne uvjete za razvoj anaerobnih mikroorganizama. Na njihov rast i aktivnost jako utječe nedostatak kisika, temperatura, pH vrijednost, opskrbljenost hranjivim tvarima, intenzitet miješanja te prisutnost inhibitora. Metanogene bakterije strogi su anaerobi i zato se mora spriječiti svaki dotok kisika u digestor. [23]

Najznačajniji produkt anaerobne digestije je bioplin. Bioplin je smjesa plinova koji nastaju fermentacijom organskih tvari. Primarno se sastoji od metana i ugljikova dioksida te je gorivi plin. U procesu proizvodnje bioplina nastaje vrlo malo topline u usporedbi s aerobnom razgradnjom (uz prisutnost kisika) ili kompostiranjem. [24] Energetski sadržaj bioplina ovisi o količini metana koja se nalazi u njemu, te se prema tome mjeri kvaliteta samog bioplina. Jedan kubni metar bioplina sadrži približno istu količinu energije kao 0,6 litara lož-ulja, ili 0,65 m<sup>3</sup> prirodnog plina. [25]

Prednosti anaerobne fermentacije, kao prirodnog procesa tretiranja otpada su:

- korištenje manjih površina u odnosu na kompostiranje,
- reduciranje volumena i težine raspoloživog otpada koji se odlaže,
- eliminacija neugodnih mirisa,
- stvaranje dezinfekcijskih komposta i tekućih fertilizatora te
- smanjenje ovisnost o fosilnim gorivima.

Procesom se dobiva čista energija, stvaraju se visoko kvalitetna gnojiva i značajno se smanjuje emisija stakleničkih plinova na što su se obvezale zemlje potpisnice Kyoto protokola. Korištenjem fermentiranog ostatka u poljoprivredi, indirektno se smanjuju onečišćenja koja proizlaze iz upotrebe mineralnih gnojiva. Troškove zbrinjavanja organskog otpada bioplinskim postrojenjem pretvaraju se u profit. [24]

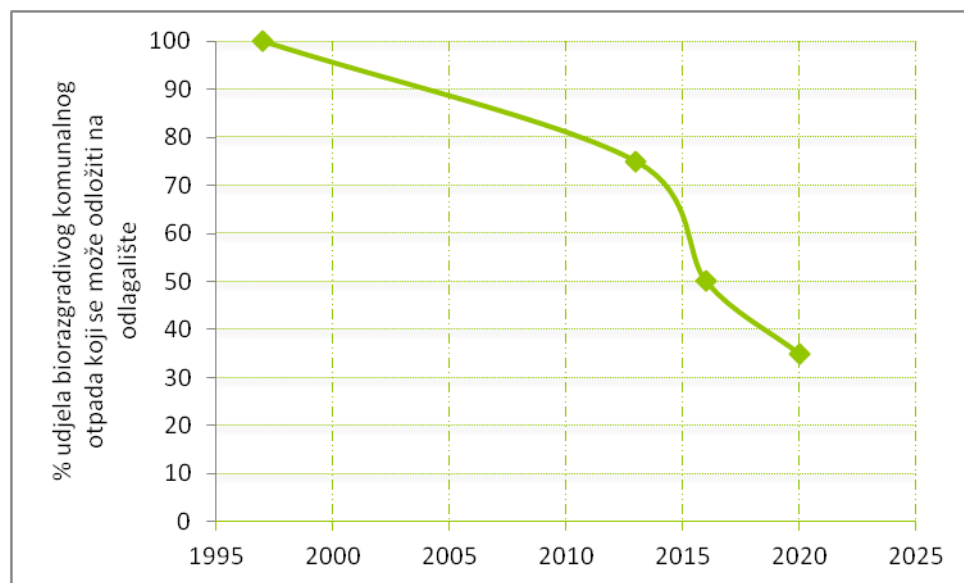
## **6. CILJEVI PROPISANI ZAKONODAVSTVOM ZA BIOOTPAD**

Biootpad prema Zakonu spada u posebnu kategoriju otpada. U Republici Hrvatskoj prema Planu gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2007. do 2015. godine

jedan od osnovnih ciljeva gospodarenja otpadom jest i smanjivanje udjela biorazgradivog otpada u ukupnom komunalnom otpadu. Kako bi se postigao osnovni cilj postavljeni su određeni uvjeti pa tako najveća dopuštena masa biorazgradivog komunalnog otpada koja se godišnje smije odložiti na svim odlagalištima i neusklađenim odlagalištima u RH u odnosu na masu biorazgradivog komunalnog otpada proizvedenog u 1997. godini iznosi:

- 75 %, odnosno 567.131 tona do 31. prosinca 2013.,
- 50 %, odnosno 378.088 tona do 31. prosinca 2016.,
- 35 %, odnosno 264.661 tona do 31. prosinca 2020 (Slika 7.)

Kako bi se smanjili negativni učinci na okoliš odlaganjem i kako bi bili vidljivi pomaci za održivo gospodarenje biorazgradivog komunalnog otpada, europska Landfill Directive ima postavljene vrijednosti država članica Europske unije za ograničavanje količine odloženog biorazgradivog komunalnog otpada ne više od 35% od iznosa proizvedene 1995. do 2020. godine. [25]



Slika 9. Prikaz smanjenja udjela biorazgradivog otpada u komunalnom otpadu do 2020.

Količine odloženog biorazgradivog komunalnog otpada u razdoblju od 2010. do 2016. godine u laganom su padu. Unatoč trendu opadanja, RH je daleko od postizanja cilja. Stoga, treba uložiti velike napore kako bi se zadovoljili ciljevi zadani Europskom direktivom o odlaganju otpada, odnosno do 2016. godine udio biorazgradivog komunalnog otpada koji se odlaže na odlagališta potrebno je smanjiti na 50% masenog udjela biootpada proizvedenog 1997. godine. [26]

Prema europskoj *Okvirnoj direktivi o otpadu*, do 2020. godine morat će se osigurati ponovna uporaba i recikliranje otpadnih materijala iz komunalnog otpada kao što su papir, metal, plastika i staklo u minimalnom udjelu od 50 % cjelokupne mase sakupljenog otpada. Iako se posljednjih godina bilježi porast količina odvojeno skupljenih vrsta iz komunalnog otpada, te brojke su daleko od ciljeva propisanih strateškim i planskim dokumentima gospodarenja otpadom. [27]

## **7. ZAKLJUČAK**

Cilj ovog završnog rada bio je predstaviti biorazgradiv otpad u komunalnom otpadu kao i sam biootpad.

Budući da biorazgradiv otpad u ukupnom komunalnom otpadu zauzima veliki postotak radi se na tome da se on što više smanji u miješanom otpadu i iskoristi za dobivanje goriva i komposta koji se mogu iskoristiti u poljoprivredi ili za energiju. Problematika biorazgradivog otpada koji se odlaže je stvaranje neugodnih mirisa kao i onečišćenje procjednih voda i nastanak stakleničkih plinova. Budući da se otpad u odlagalištima razgrađuje nekontrolirano i do 100 godina, suvremeni pristup bazira se na kontroliranim uvjetima biorazgradnje, bilo aerobnim ili anaerobnim postupcima koji su opisani u radu.

## 8. LITERATURA:

- [1] Zakon o održivom gospodarenju otpadom. (2013). Narodne novine. [22.07.2013.]
- [2] A. Anić - Vučinić: *Gospodarenje otpadom*, Interna skripta, Varaždin 2014.
- [3] George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel A. Vigil. *Integrated solid waste management - engineering principles and management issues*. Singapore: McGraw-Hill Book Co; 1993.
- [4] Hadžiselimović R., Pojskić N. *Uvod u humanu imunogenetiku*. Sarajevo: Institut za genetičko inženjerstvo i biotehnologiju (INGEB); 2005.
- [5] Sun, Y., Cheng, J. : Bioresource Technology. *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production*. North Carolina State University: Raleigh; 2002. Str 1-11.
- [6] Dostupno na: <http://www.phd.pl/artykuly/celuloza-jako-dachowa-termoizolacija/>  
Datum pristupa: [13.7.2016.]
- [7] Dostupno na: <http://www.agroklub.com/pcelarstvo/pcelinji-proizvodi-vosak/2755/>  
Datum pristupa: [13.7.2016.]
- [8] George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel A. Vigil. *Integrated solid waste management - engineering principles and management issues*. McGraw-Hill; 1993.
- [9] A.D. Bhide, S.A. Gaikwad and B.Z.. Alone, In: Proceeding of International Workshop on Methane Emissions from Waste Management, Coal Mining and Natural Gas Systems. USEPA Workshop. 1990.
- [10] G. Barbiroli. *Technological innovation and cost of municipal solid waste treatment*. Curzio: Management of Municipal Solid Waste in Europe; 1994. Str. 72.
- [11] Dostupno na: <http://zivotnasredinabynatasa.blogspot.hr/2016/02/komunalni-otpad.html> Datum pristupa: [10.7.2016.]
- [12] Dostupno na: <http://www.webgradnja.hr/clanci/bio-otpad-i-njegovo-pravilno-prikupljanje-jesu-li-sve-smede-kante-iste/586/> Datum pristupa: [10.6.2016.]
- [13] Matas, Simončić, Šobot. *Zaštita okoliša za danas i sutra*. Zagreb: Školska knjiga; 1992.
- [14] Pravilnik o gospodarenju otpadnim tekstilom i otpadnom obućom. Narodne novine. 2015. Broj (94/2013) Datum objave: [9.09.2015.]
- [15] Dostupno na: <https://www.fsb.unizg.hr/kmb/200/220/kmb221.htm> Datum pristupa: [29.6.2016.]



- [16] Brodarski institut. Tehničko-tehnološko rješenje RCGO Piškornica, Koprivnica 2009.
- [17] Defra. Mechanical Biological Treatment & Mechanical Heat Treatment of Municipal Solid Waste, 2005.
- [18] Hidroplan. Elaborat za odabir tehnološkog rješenja MBO otpada na ŽCGO Kaštijun u Puli, Pula, 2007.
- [19] David Squire. Kompost. Leo-commerce, 2009.
- [20] Dodik K. i sur. *Kompostiranje agroindustrijskog čvrstog otpada*. Zagreb: FKIT arhiva; 2006.
- [21] Dostupno na: <http://www.super-info.rs/ekologija.html> Datum pristupa: [19.7.2016.]
- [22] Mario Panjičko, Mladen Franjo, Goran Lukić. *Primjena procesa anaerobne digestije u obradi komunalnog otpada – stanje i trendovi*. Brodarski institut d.o.o. Konferencija u Varaždinu. 2012.
- [23] Karna Ostrem. *Greening waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid waste*. Columbia University; 2004.
- [24] Al Seadi T. Priručnik za bioplin, Project Biogas for Eastern Europe, DK-6700 Esbjerg, Denmark, 2008.
- [25] Đulabić, M. Biogas. *Dobijanje, korišćenje i gradnja uređaja*. Beograd: Tehnička knjiga Beograd; 1986.
- [26] Dostupno na: <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/> Datum pristupa: [20.6.2016.]
- [27] Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. – 2015. godine. Narodne novine. 2007. Broj (178/2004 i 111/2006) Datum pristupa: [19.7.2007]

## **Popis slika**

Slika 1. Celuloza

Slika 2. Pčelinji vosak

Slika 3. Procjena količina plinova koja će se stvarati na manjem odlagalištu otpada (m<sup>3</sup>/h)

Slika 4. Otpaci hrane

Slika 5. kontejner za biootpad

Slika 6. MBO proces

Slika 7. BMO proces

Slika 8. Kompostiranje

Slika 9. Prikaz smanjenja udjela biorazgradivog otpada u komunalnom otpadu do 2020.

## **Popis tablica**

Tablica 1. Udio celuloze, hemiceluloze i lignina u nekim poljoprivrednim ostacima

Tablica 2. Prikaz prosječnoga godišnjeg sastava komunalnog otpada