

# MBO procesi obrade komunalnog otpada

---

Rivić, Leonora

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:784704>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Leonora Rivić

**ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Leonora Rivić

**MBO procesi obrade komunalnog otpada**

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: prof. dr. sc. Veljko Filipan

Članovi ispitnog povjerenstva: prof. dr. sc. Veljko Filipan

prof. dr. sc. Igor Sutlović

izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

dr. sc. Andrej Vidak

Zagreb, rujan 2022.

*Najljepše se zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Veljku Filipanu na prihvaćanju mog prijedloga teme i iskazanoj susretljivosti tijekom pisanja završnog rada.*

*Posebno veliko hvala mojoj obitelji, dečku te svim prijateljima koji su mi bili neizmjereno velika podrška i moj najveći oslonac tijekom cijelog preddiplomskog studija.*

## SAŽETAK

Porast životnog standarda, modernizacija i sve veća kupovna moć stanovništva stvaraju sve više otpada kojeg je važno kontinuirano i adekvatno zbrinjavati jer upravo njegovo deponiranje na odlagalištima postaje sve rizičnije i ekonomski neodrživo. U neposrednoj okolini naselja i gradova, odlažu se velike količine otpada koji ima izrazito nepovoljan učinak na zdravlje ljudi i kvalitetu života na tim prostorima. Problem otpada nije samo njegovo zbrinjavanje, već i niz čimbenika poput skupljanja i odvoza otpada, procjenjivanja i ponovne upotrebe. Danas se razvijaju različite metode obrade otpada, recikliranja i odlaganja kako bi se smanjio pritisak na već ionako prenatrana odlagališta. Otpad se može iskorištavati na različite načine kao na primjer razvrstavanjem i recikliranjem na izvoru ili spaljivanjem. Energija dobivena iz otpada predstavlja djelotvorno rješenje kojim bi se istodobno riješili velikih količina otpada na odlagalištima i potrebe za konvencionalnim izvorima energije. Postupak prerade komunalnog otpada, pod nazivom mehaničko – biološka obrada (MBO), kao osnovni zadatak ima reducirati potencijal otpada kojeg je potrebno zbrinjavati. Otpad iz kućanstava, otpad koji dobijemo u različitim sektorima, a koji je po svojem sastavu i svojstvima sličan otpadu iz kućanstava i otpad koji nastaje brigom o javnim površinama nazivamo komunalnim otpadom.

Ključne riječi: potencijal otpada, mehaničko-biološka obrada (MBO), miješani komunalni otpad

## **ABSTRACT**

The rise in living standards, modernization and the increasing purchasing power of the population create more and more waste. It is important to continuously and adequately dispose the waste of, because its depositing in landfills is becoming increasingly risky and economically unsustainable. Large piles of waste are dumped in the immediate vicinity of settlements and cities, which has an extremely unfavorable effect on people's health and the quality of life in those areas. The problem of waste is not only its disposal, but also a number of factors such as collection and removal of waste, evaluation and reuse. Today, various methods of waste treatment and recovery such as recycling and disposal are being developed in order to reduce the pressure on the already overcrowded landfills. Waste can be used in different ways for example we have sorting and recycling at the source or incineration. Energy obtained from waste represents an effective solution that would simultaneously solve large amounts of waste in landfills and the need for conventional energy sources. The process of municipal solid waste processing, called mechanical-biological processing (MBO), has as its basic task the reduction of potential of the waste that needs to be disposed of. Waste from households, waste that we receive in different sectors, and which in its composition and properties are similar to waste from households and waste that is created by taking care of public areas, we call municipal solid waste.

Keywords: waste potential, mechanical-biological treatment (MBT), municipal solid waste

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆI DIO .....	2
2.1. PODJELA OTPADA .....	2
2.2. KOMUNALNI OTPAD .....	2
2.3. SASTAV KOMUNALNOG OTPADA.....	4
2.4. GOSPODARENJE OTPADOM.....	6
3. MEHANIČKO – BIOLOŠKA OBRADA KOMUNALNOG OTPADA .....	9
3.1. MEHANIČKA OBRADA .....	12
3.2. BIOLOŠKA OBRADA .....	12
3.3. AEROBNA BIOLOŠKA OBRADA.....	13
3.4. ANAEROBNA BIOLOŠKA OBRADA .....	14
4. MARINŠČICA .....	18
5. ZAKLJUČAK.....	22
6. LITERATURA .....	23

## 1. UVOD

Sve veća akumulacija otpada jedan je od gorućih problema svakodnevice moderne civilizacije. Analogno sa Zakonom o održivom gospodarenju otpadom, otpad je svaka tvar ili predmet određen kategorijama otpada propisanim provedbenim propisom ovoga Zakona, koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti [1]. Ovisno o karakteristikama otpada, otpad se može podijeliti na opasni, neopasni i inertni otpad. Otpadom se smatraju svi predmeti i tvari čije je skupljanje, prijevoz i zbrinjavanje neophodno u cilju zaštite javnog interesa. Svi mi redovito stvaramo otpad, zaključno s tim svi mi predstavljamo „vlasnika“ tog otpada te moramo preuzeti odgovornost prilikom proizvodnje i prikupljanja otpada [2]. Ciljanom odlaganju na odlagalištu, mora prethoditi obrada otpada, prema principima održivog razvoja. Mehaničko-biološka obrada (MBO) predstavlja jedan od primjera takvih tehnologija obrade otpada. U zadnjih desetak godina i u Hrvatskoj je počelo projektiranje i izgradnja pogona za mehaničku i biološku obradu otpada, primjer takve obrade je Županijski centar za gospodarenje otpadom (ŽCGO) Marišćina, koji se nalazi u Primorsko-goranskoj županiji. Svaki stanovnik Hrvatske stvara otprilike oko 418 kilograma miješanog komunalnog otpada godišnje (podaci za 2020. godinu). Što je zapravo 1,15 kilograma komunalnog otpada dnevno. Od toga se 34 % reciklira, 56 % nastalog komunalnog otpada se zbrinjavalo na odlagalištima, 9% otišlo je u postrojenja za mehaničko-biološku obradu, a preostalih 1% obradilo se nekim od ostalih postupaka predobrade [3]. Cilj ovog završnog rada je opisati princip rada mehaničko-biološke obrade te se upoznati sa svojstvima i sastavom komunalnog otpada.



## 2. OPĆI DIO

### 2.1. PODJELA OTPADA

Na temelju Pravilnika, otpad dijelimo prema mjestu nastajanja i prema svojstvima [4]. Prema mjestu nastajanja, otpad se dijeli na:

- a) komunalni otpad – kućanski otpad i sav preostali otpad koji na temelju svojih karakteristika odgovara sastavu i svojstvima komunalnog otpada.
- b) proizvodni otpad – otpad iz proizvodnje, ovdje ubrajamo i otpad koji nastaje kao posljedica raznih djelatnosti i procesa u industriji. Sastav i svojstva se bitno razlikuju od komunalnog otpada.

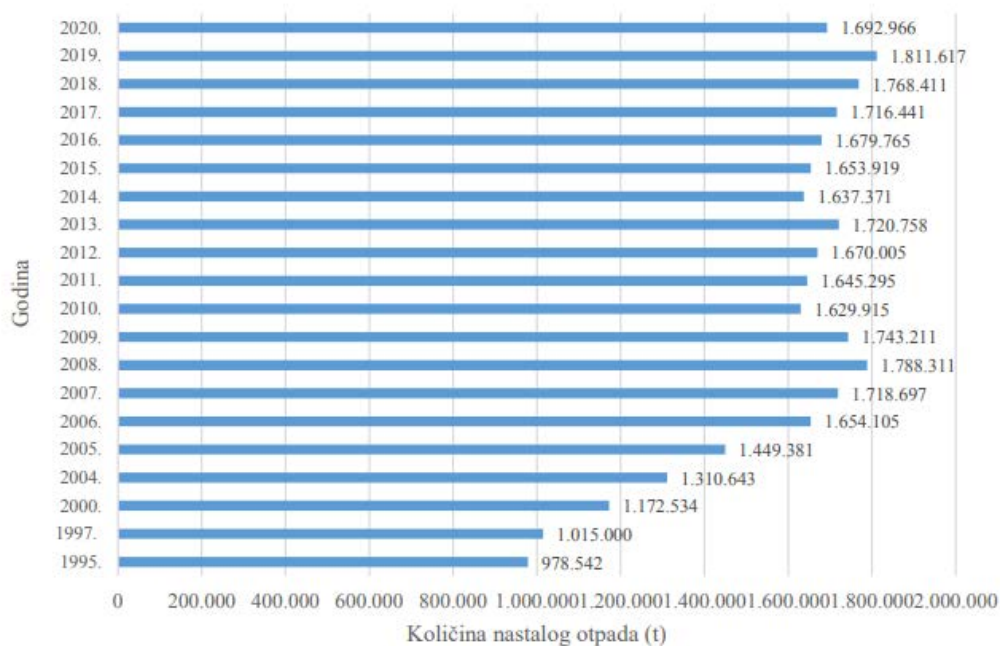
Prema svojstvima, odnosno utjecaju na zdravlje ljudi i okoliš, otpad se dijeli na:

- a) opasni otpad – sadrži jedno ili nekolicinu svojstava koja su definirana *Listom opasnog otpada*. Otpad koji predstavlja rizik za život i zdravlje ljudi te okoliš – sadrži neka od svojstava poput toksičnosti, kancerogenosti, eksplozivnosti [5]. Najčešće dolazi iz industrije, laboratorija, bolnica.
- b) neopasni otpad - ne posjeduje niti jedno svojstvo koje otpad čini opasnim. Na primjer: stakleni otpad ili tekstilni otpad. Velika većina komunalnog otpada jest neopasna.
- c) inertni otpad – nije podložan značajnim kemijskim, fizikalnim ili biološkim promjenama. Na primjer: pijesak, kamen, cigla, pločice. Otpad koji ne predstavlja opasnost kako za ljude tako ni za okoliš, biljke i životinje.

### 2.2. KOMUNALNI OTPAD

Prema definiciji, komunalni otpad se odnosi na otpad iz kućanstva, kao i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva. Miješani komunalni otpad uključuje osim otpada iz kućanstva i otpad od čišćenja javnih površina te otpad iz trgovina, industrije i ustanova, koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva. Pojedini materijali poput papira, stakla, nisu izdvojeni nikakvim dodatnim postupkom. U Katalogu otpada, komunalni otpad je obilježen kao 20 03 01 [6]. Glomazni komunalni otpad je predmet ili tvar koja zbog velike mase nije prikladna za prikupljanje u okviru komunalnih djelatnosti. Svatko može pridonijeti cjelovitom gospodarenju otpadom na način da odvojeno prikuplja otpad u vlastitom

domaćinstvu kako bi dobio koristan otpad koji se može dalje iskoristiti. U nadležnosti komunalnih službi je da osiguraju uvjete za adekvatno rukovanje s komunalnim otpadom (spremnici za posebno prikupljanje, reciklažna dvorišta,...). Redovito zbrinjavanje i odvoženje komunalnog otpada djelokrug je djelovanja komunalnih vlasti. Od iznimne je važnosti razvijanje savjesnosti kod građana, ulaganje u edukacije i unaprjeđivanje sustava gospodarenja otpadom u cilju reduciranja stvaranja komunalnog otpada. Od iznimne važnosti je i dokument pod nazivom *Plan gospodarenja otpadom za razdoblje 2017.-2022.*, koji govori o strategijama održivog gospodarenja otpadom s ciljem smanjena ukupnih količina svih vrsta otpada.



Slika 1. Količine ukupno proizvedenog komunalnog otpada u RH, 1995.-2020. [3].

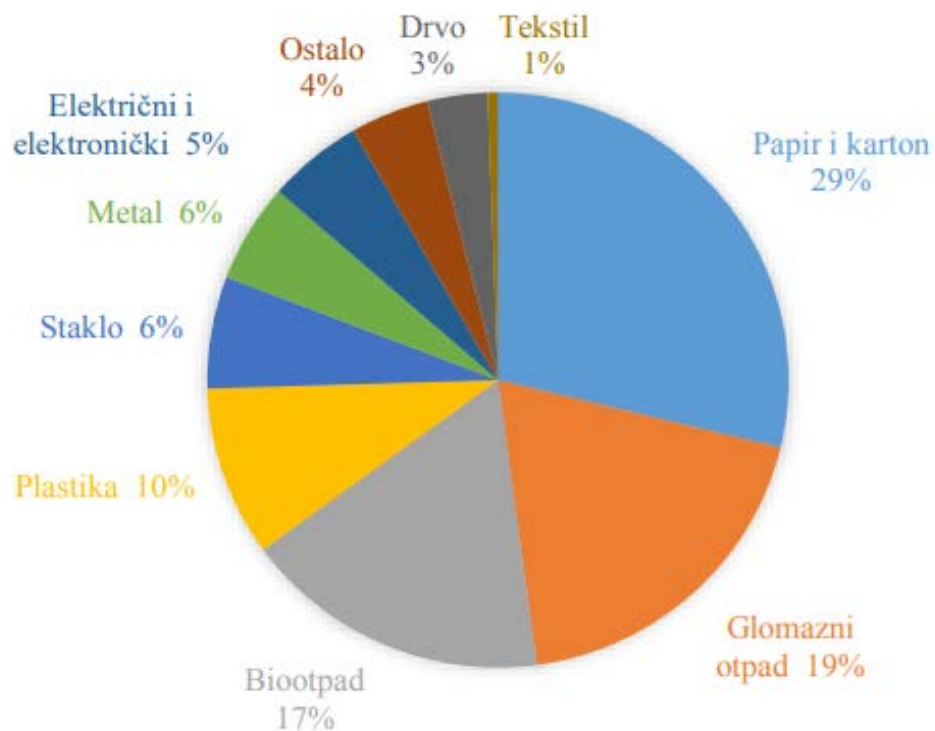
Kao što vidimo na slici 1., 2008. godine zaustavljen je ubrzani porast komunalnog otpada u Hrvatskoj. Obzirom na gospodarsku krizu koja je trajala sve do 2011. godine imamo smanjenje količina nastalog komunalnog otpada. Nakon toga sve do 2019. u Hrvatskoj se bilježi stalni porast količine miješanog komunalnog otpada s posebnim naglaskom na 2013. godinu kada je sanacija i zatvaranje velikog broja divljih odlagališta dovela do povećanja količine otpada. Na smanjenje količina proizvedenog komunalnog otpada u 2020. godini drastično je utjecala pandemija COVID-19. Pandemija je prouzrokovala značajno smanjenje rada uslužnog sektora, a samim time i stvaranje otpada u tim sektorima.

### 2.3. SASTAV KOMUNALNOG OTPADA

Na temelju ostvarenih podataka iz obavljenih ispitivanja sastava otpada pojedinih jedinica lokalne samouprave i podataka o posebno prikupljenim pojedinim vrstama komunalnog otpada (papir, staklo, drvo, ...) iz Izvješća o komunalnom otpadu za 2020. godinu, dobiven je sastav miješanog komunalnog otpada u Republici Hrvatskoj. Čimbenici koji utječu na količinu i sastav komunalnog otpada u RH su:

- a) postojeće stanje - 99% stanovništva popraćeno je prikupljanjem otpada, a komunalna mreža za prikupljanje otpada je vrlo napredna.
- b) bruto domaći proizvod (BDP) - na razinu komunalnog otpada utječe BDP kao jedna od značajnijih karakteristika.
- c) broj stanovnika - na razini Republike Hrvatske očekivani je polagani pad u broju stanovnika.
- d) indeks potrošnje - stvaranju komunalnog otpada izravno je proporcionalan učinak osobne potrošnje, očekuje se porast specifične količine otpada do 1,5%.
- e) dodatni faktori – različite zakonske regulative, pad broja seoskog stanovništva, porast broja urbanog stanovništva, starenje stanovništva i migracije, utječu na smanjenje otpada.
- f) sastav otpada i sezonske varijacije - Republika Hrvatska do 2020. predviđa rast noćenja po stopi od 3,1%, koja će kasnije rasti na 5,5%, specifična količina otpada po noćenju iznosi otprilike 1,4 kg/noćenju.
- g) tip područja – na temelju procjena 55,6% stanovništva živi u urbanim, a 41,8% stanovništva u ruralnim područjima, dok preostali dio živi na otocima [7].

Na temelju priložene slike 2. i tablice 1. jasno je vidljivo da u 2020. godini najveći udio u količini komunalnog otpada pripada papiru i kartonu, dok čak 19% otpada na glomazni otpad. Najmanji udio u sastavu komunalnog otpada za 2020. godinu ima tekstilni otpad. Teoretski se čak 80% otpada iz kućanstva može iskoristiti, dok preostali dio od oko 20% čini sitni otpad (prašina), ali i pojedine otpadne tvari poput tekstila, gume i drva koje mogu biti potencijalno energetske iskoristivi.



Slika 2. Zasebno prikupljeni komunalni otpad u 2020. godini po vrstama [3].

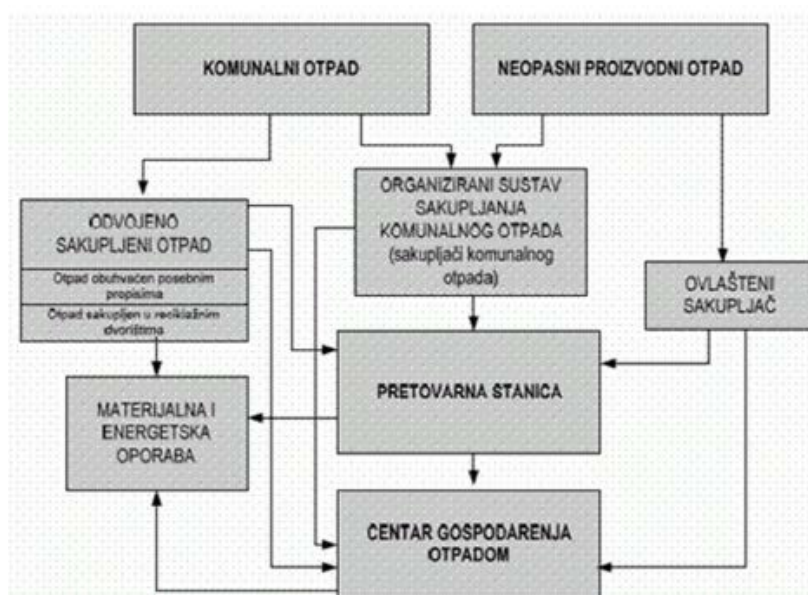
Vrsta otpada	Količina (t)
Papir i karton	199.737
Glomazni otpad	132.523
Biootpad	118.692
Plastika	66.384
Staklo	43.738
Metal	38.622
Električni i elektronički	36.984
Ostalo	30.257
Drvo	23.273
Tekstil	3.737
Baterije i akumulatori	212
<b>Ukupno (t):</b>	<b>694.160</b>

Tablica 1. Zasebno prikupljeni komunalni otpad u 2020. godini [3].

## 2.4. GOSPODARENJE OTPADOM

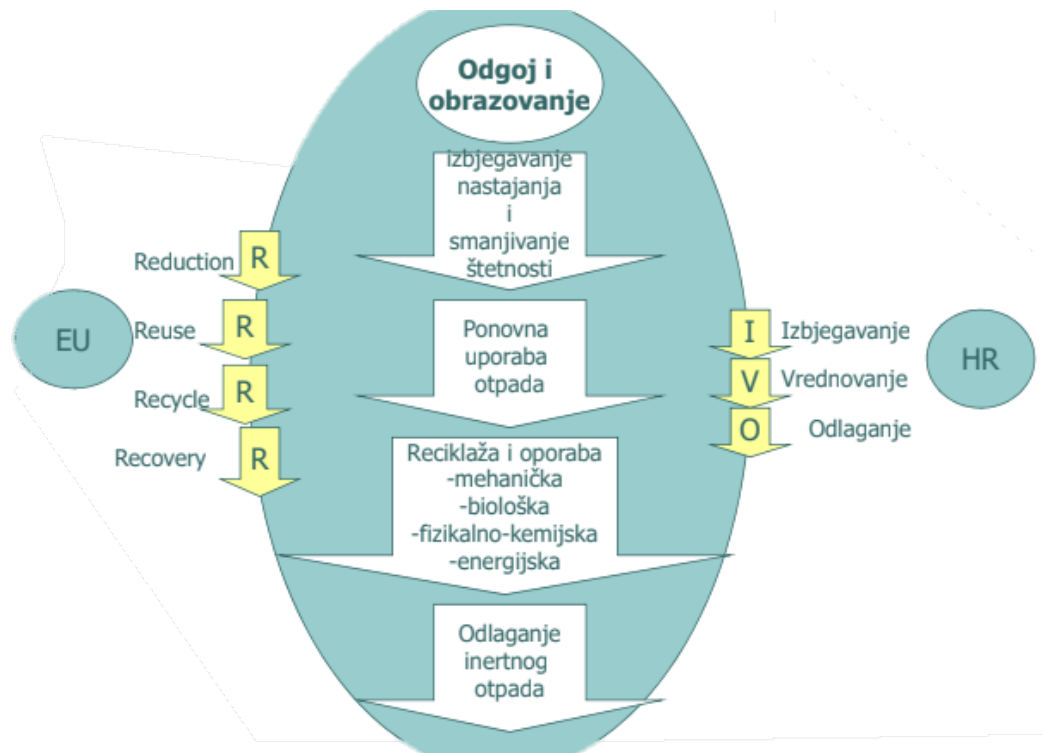
Niti nakon dugogodišnjih pokušaja rješavanja problematike otpada u Republici Hrvatskoj, zamisao o gospodarenju otpadom na cjelovit i sustavan način još uvijek nije u potpunosti zaživjela. Na slici 3. shematski je prikazan sustav gospodarenja komunalnim otpadom. Trenutačno stanje je takvo da infrastruktura odlagališta i postrojenja za obradu koji bi trebali zbrinjavati velike količine otpada nije dovoljna, a količina otpada je u konstantnom porastu. Velika većina stanovništva kako u seoskim, tako i u urbanim predjelima smatraju da odvozom otpada na divlje ili uređeno odlagalište rješava problem otpada. Naprotiv, pojedinci nisu svjesni da takva „briga“ o otpadu vodi do različitih negativnih zdravstvenih problema kako kod ljudi, tako i kod životinja. Na temelju zakona, zbrinjavanje otpada dio je cjelovitog sustava gospodarenja otpadom čiji su ciljevi:

- reducirati količinu otpada koji se stvara
- reducirati nepoželjni utjecaj odloženog otpada na okoliš, klimu i ljudsko zdravlje,
- na temeljima održivog razvoja gospodariti proizvedenim otpadom,
- u cilju dobivanja energije, energetske iskorištavati otpad,
- nadzor i obavljanje svih djelatnosti vezanih uz otpad (sakupljanje, odvoz, ...)
- skrb za odlagališta koja su zatvorena [1].



Slika 3. Shema sustava gospodarenja komunalnim i neopasnim proizvodnim otpadom [2].

Plan gospodarenja otpadom, prikazan na slici 4., predstavlja jedan od temeljnih strateških dokumenata kojim se regulira mehanizam djelovanja u smislu cjelovitog i sustavnog gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj. Za izradu odgovarajućih i efikasnih mjera gospodarenja otpadom koriste se podaci dobiveni analizom trenutnog stanja. Temeljem dobivenih podataka ustanovljeno je da je upravo neodgovarajuće zbrinjavanje otpada najveći problem s kojim se susreće sustav zaštite okoliša u Republici Hrvatskoj [8]. Vizija gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj kojem se teži je takozvani „bezdeponijski“ koncept.



Slika 4. Koncept gospodarenja otpadom [2].

Proučavajući strukturu gospodarenja otpadom, prikazanu na slici 5., sprječavanje nastajanja otpada zauzima prvo mjesto kao najvažniji korak. U najvećoj mogućoj mjeri reduciramo vjerojatnost stvaranja otpada u pogonskim procesima. Ako se otpad ne stvara, onda ne nastaju ni problemi zbrinjavanja otpada, tako da je ovaj korak ujedno i najdjelotvorniji. Sljedeći korak, nakon sprječavanja nastanka otpada, jest ponovno korištenje otpada. Vrijedne sirovine dobit ćemo nakon postupka recikliranja kao i mogućnost da ih ponovno upotrebljavamo za dobivanje različitih proizvoda. Recikliranje se temelji na odvajanju pojedinih materijala iz otpada i ponovnoj upotrebi tih materijala. Očuvanju neobnovljivih izvora sirovine i energije uvelike doprinosi postupak recikliranja. Za dobivanje energije

koristimo otpad koji nije moguće reciklirati. Reciklažno dvorište, kao jedan oblik komunalne infrastrukture, služi za sakupljanje otpada. Različita pogonska postrojenja, kao što je postrojenje za mehaničko-biološku obradu otpada, služe za daljnje korake obrade otpada. U centru za gospodarenju otpadom imamo niz različitih radnji koje uključuju obradu otpada. Posljednji korak jest odlaganje otpada na odlagalište. Odlagalište definiramo kao mjesto na površini ili ispod površine zemlje gdje se otpad odlaže. Odlaganje otpada treba obavljati bez nepoželjnih posljedica na okoliš i zdravlje ljudi. Odlagališta često, ako nisu odgovarajuće projektirana, mogu imati dominantan utjecaj na onečišćenje vode, tla i zraka i to kroz negativan utjecaj filtrata, odlagališnog plina i drugih štetnih supstanci koje se oslobađaju u procesu razgradnje otpada u tijelu odlagališta.

## EU HIJERARHIJA OTPADA



Slika 5. Hijerarhija odlaganja otpada.

Višegodišnjim radom i istraživanjima osmišljene su raznolike metode obrade i energetske uporabe, odnosno iskorištavanja otpada s ciljem reduciranja otpada koji se odlaže. Misija je smanjiti negativan utjecaj koji otpad ima na okoliš (emisije plinova uslijed razgradnje otpada, procjedne vode,...). Potrebno je provesti procjenu isplativosti prilikom odabira određenog tehnološkog postupka za obradu otpada. Izbor treba biti u skladu s ekonomskom isplativošću, kao i uvažavanje mjera gospodarenja otpadom. U nastavku slijedi opis jednog od mogućih načina suvremene obrade komunalnog otpada.

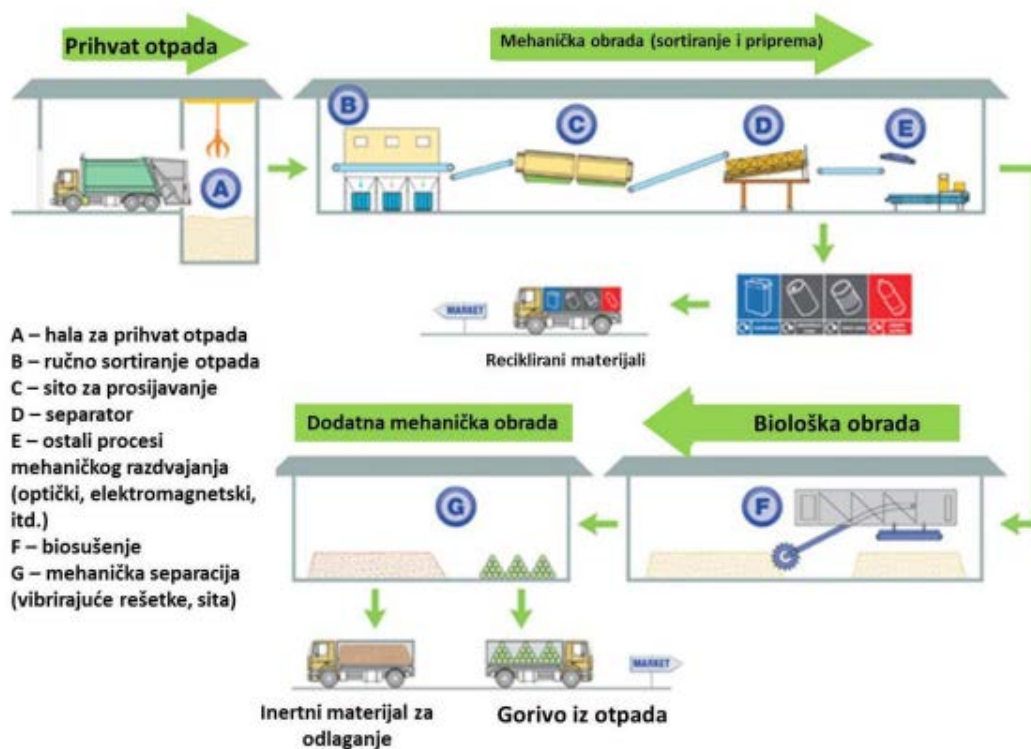
### 3. MEHANIČKO – BIOLOŠKA OBRADA KOMUNALNOG OTPADA

Mehaničko-biološka obrada - MBO (eng. MBT – mechanical biological treatment) podrazumijeva skup raznovrsnih metoda obrade miješanog komunalnog otpada. Takav način obrade otpada pruža nam mogućnost daljnjeg iskorištavanja sirovina za dobivanje produkata koji služe za iskorištavanje dragocjenih svojstava otpada [9]. Ideja mehaničko-biološke obrade otpada razvila se u Europskoj uniji s ciljem reduciranja utjecaja koji na okoliš ima odlaganje biorazgradivog otpada. Koncipirano je kao razvoj tehnika kompostiranja s modernim metodama mehaničke obrade. EU direktivom je regulirano da se količina biorazgradivog otpada mora smanjiti za 25 posto gledajući u odnosu na stanje usporedne godine, kroz vremenski period od 5 godina [10].

Mehaničko-biološka obrada otpada sastoji se mehaničke obrade početne količine otpada i biološke obrade frakcija komunalnog otpada koje su biorazgradive. Biorazgradiva komponentna otpada koja vrlo burno reagira, predstavlja najveći problem. Smanjenjem mase otpada kojeg je potrebno zbrinuti, rješava se problem u vrlo kratkom vremenu i kontroliranim uvjetima. Implementiranjem mehaničko-biološke metode obrade zadovoljavaju se kriteriji utemeljeni Direktivom EU-a o otpadu [9]. Navedeni (mehanički i biološki) procesi podrazumijevaju primarno razdvajanje rizičnih tvari poput baterija ili lijekova. Razvijen je veliki broj raznih pogona za mehaničko-biološku obradu koji se značajno razlikuju po uvjetima rada i tehničkoj organizaciji. Ta raznolikost pruža nam mogućnost izbora pogona za određenu definiranu namjenu. Značajke mehaničke i biološke obrade se mogu kombinirati na raznovrsne načine kako bi dobili širok spektar određenih ciljeva kao što su:

- porast količine obnovljivih sirovina,
- proizvodnja komposta,
- proizvodnja krutog goriva iz otpada određenog sastava,
- proizvodnja biostabiliziranog materijala,
- proizvodnja bioplina za proizvodnju toplinske i/ili električne energije,
- smanjenje emisije metana s odlagališta [9].





Slika 6. Shema procesa mehaničko-biološke obrade komunalnog otpada [11].

Na slici 6. prikazan je proces mehaničko-biološke obrade otpada koji se sastoji od:

a) **mehaničke obrade:**

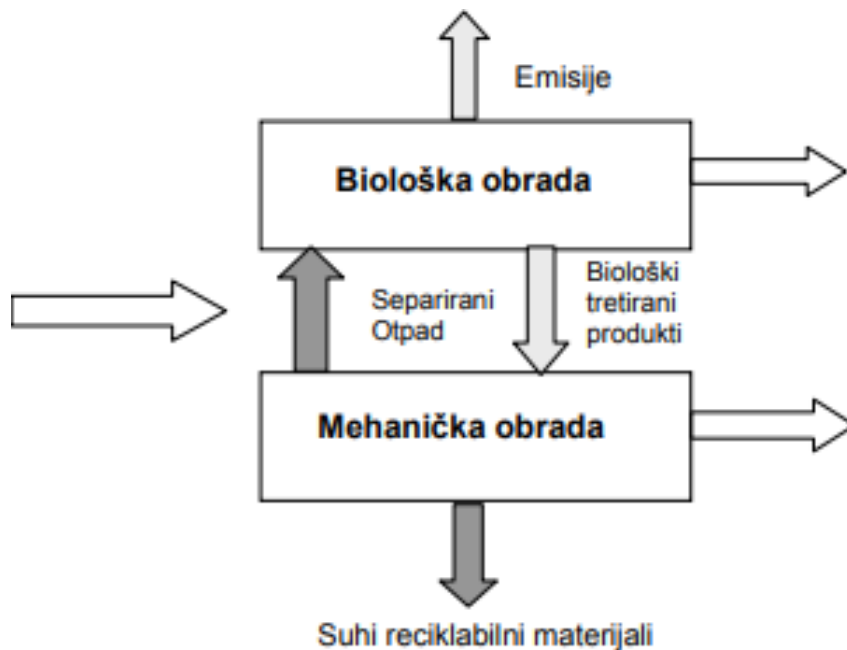
- prosijavanje,
- razdvajanje magnetskih i nemagnetskih metala,
- drobljenje i mljevenje,
- usitnjavanje,
- preostale metode mehaničkog razdvajanja.

b) **biološke obrade:**

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

Na slici 7. prikazani su mehaničko-biološki procesi obzirom na redoslijed obrade otpada[17] :

- a) **MBO procesi** - procesi u kojim se otpad najprije obrađuje u mehaničkom pa tek onda u biološkom procesu.
- b) **BMO procesi** - procesi u kojim se otpad najprije obrađuje u biološkom pa tek onda u mehaničkom procesu.



Slika 7. Mehaničko-biološki procesi obzirom na redoslijed obrade [13].

Na temelju prikaza mehaničko-biološkog procesa na slici 7. uviđamo da se u prvom koraku na mehaničku obradu šalje prvotno neobrađeni otpad. Tamo se odvijaju procesi mehaničkog odvajanja stakla, metala, plastike i potencijalno opasnih tvari. Zatim na anaerobnu digestiju odlazi ostatak otpada koji je većinom biorazgradiv, prilikom čega nastaje biostabilizirani materijal, odnosno kompost. Nakon biološke obrade tvar se komprimira i normalizira te se zatim odlaže. Kod biološko-mehaničkog procesa, sav otpad na ulazu se najprije dovodi na biološku obradu gdje se za sušenje otpada koristi energija koja nastaje njegovom biorazgradnjom. Za vrijeme biološke obrade dolazi do parcijalne razgradnje tvari u aerobnim uvjetima. Dolazi do smanjenja udjela vlage, a kao posljedica toga otpad postaje suši i podobniji za bolje prosijavanje. Poslije biološke obrade, kao zadnji korak, slijedi mehaničko razdvajanje otpada. Biološko-mehaničkim procesima nastaju kruti gorivi produkti visokih kalorijskih vrijednosti, koji se mogu koristiti kao gorivo [13].

### 3.1. MEHANIČKA OBRADA

Primarni ciljevi procesa mehaničke obrade komunalnog otpada su: eliminiranje neodgovarajućih komponenti iz početnog neobrađenog otpada, pripremanje otpada za proces biološke obrade, izdvajanje materijala za sekundarnu upotrebu poput stakla, metala, plastike, papira i prerađivanje konačnih produkata.

- a) **priprema otpada** – najprije se uklanjaju rizične tvari (koje za daljnji uspjeh procesa predstavljaju problem) poput baterija, boje i glomaznog otpada. Kao produkt nastaje homogeniziran i usitnjen otpad koji se dalje može koristiti za dobivanje goriva iz otpada, odvajanje materijala za recikliranje ili biološku obradu.
- b) **odvajanje otpada** – mehaničko razdvajanje s ciljem dobivanja različitih frakcija iz miješanog komunalnog otpada. Ovisno o krajnjem cilju obrade može biti prije ili poslije biološke obrade. Prilikom mehaničkog odvajanja koriste se fizikalna svojstva komponenata otpada: oblik, boja, težina, gustoća, električna vodljivost,... Naposljetku, kao konačni produkt, dobijemo materijale pogodne za recikliranje [9].

### 3.2. BIOLOŠKA OBRADA

Djelovanjem mikroorganizama dolazi do razgradnje organske frakcije otpada. Podjela bioloških procesa obrade obzirom na prisutnost kisika i različitost mikroorganizama koji razgrađuju organske tvari je sljedeća:

a) **aerobna biološka obrada:** biosušenje (primarno se uklanja voda, služi za razgrađivanje lakorazgradivih organskih spojeva) , kompostiranje (izlazni proizvod kompost)

b) **anaerobna biološka obrada:** anaerobna digestija (izlazni proizvod bioplin)

Glavni cilj biološke obrade komunalnog otpada jest nastojanje da se u najvećoj mogućoj mjeri razgradi organska komponenta otpada. Unutar odlagališta dolazi do nastanka metana ( $\text{CH}_4$ ), koji je staklenički plin i ima značajan utjecaj na okoliš.

### 3.3. AEROBNA BIOLOŠKA OBRADA

Proces razgradnje organskih komponenti otpada uz pomoću mikroorganizama u nazočnosti zraka (kisika) naziva se aerobnom biološkom obradom. Prije svega se iz otpada odvajaju frakcije za daljnju obradu, ujedno se odvaja i gorivi dio. Nakon toga slijedi aerobna obrada biorazgradivih frakcija, prilikom čega dolazi do nastanka biostabiliziranog materijala – komposta. Ovisno o kvaliteti otpada koji ulazi u postrojenje dobit ćemo kompost određenog sastava i svojstva, odnosno na temelju njegove kvalitete odredit ćemo mogućnosti njegove daljnje primjene. Cilj je da se, prije odlaganja komunalnog otpada na odlagalište, smanji biološka aktivnost otpada. Na ishod aerobne razgradnja utječu sljedeći parametri [14]:

- a) temperatura – psihrofilno (15 - 20 °C), mezofilno (25 - 35 °C) ili termofilno (50 - 60 °C) područje,
- b) vlaga – voda je od iznimne važnosti za mikrobiološki proces,
- c) kisik – daljnja razgradnja nije moguća, ako je sadržaj kisika manji od 10%,
- d) C/N omjer – ugljik je važan za energiju procesa, a dušik je važan za hranu mikroorganizmima,
- e) pH – optimalni uvjeti su između 6 i 8,
- f) biokemijski sastav –struktura tvari utječe na zadržavanje vlage i kisika, kao i na kontaktnu površinu na kojoj se zadržavaju mikroorganizmi.



Slika 8. Kompostiranje kao primjer aerobne biološke obrade.

### 3.4. ANAEROBNA BIOLOŠKA OBRADA

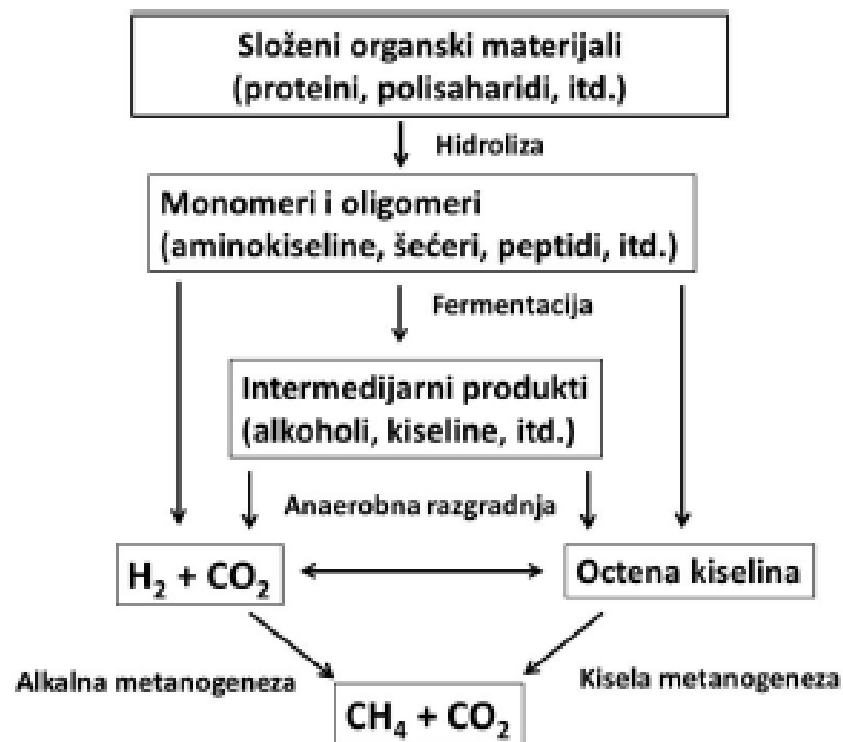
Anaerobna digestija prirodni je biokemijski proces u kojem dolazi do razgradnje kompleksnih organskih spojeva djelovanjem različitih anaerobnih bakterija u anaerobnim uvjetima. Reakcija se odvija u zatvorenom reaktoru, uz grijanje i miješanje, u 3 stupnja: hidroliza (razdvajanje kompleksnih organskih spojeva u jednostavnije), acidogeneza (složene molekule cijepaju se s bakterijama u kiselom mediju na organske kiseline i CO<sub>2</sub>) i metanogeneza (stvaranje CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>), kao konačni proizvodi procesa nastaju bioplin i nusprodukt digestat kojeg je potrebno na odgovarajući način zbrinuti [9]. Sekundarna upotreba digestata često je nalazila svoju namjenu u poljoprivredi gdje se koristio kao gnojivo. Taj način korištenja se drastično smanjuje kao posljedica pooštavanja zakonodavnih mjera. Digestat je potrebno obrađivati po načelima održivog razvoja, posebno jer se u njemu nalaze značajne hranjive tvari. Anaerobna digestija se smatra ekološki prihvatljivim procesom. Procesom može doći do smanjena ili povećanja emisija, ovisno o tome emisije kojih tvari se uzimaju u obzir.

Većinom se primjenjivala za obrađivanje primarnog i sekundarnog mulja iz industrijskih i poljoprivrednih otpadnih voda. U posljednjih 20 i više godina intenzivnije se primjenjuje i prilikom obrade komponenti komunalnog otpada organskog podrijetla. Smanjenje potrošnje fosilnih goriva (ugljen, nafta i prirodni plin) jest glavna posljedica primjene postupaka anaerobne digestije. Dolazi do smanjenja emisija stakleničkih plinova, smanjuje se i količina otpada koji se treba odložiti, reduciraju se neugodni mirisi i količina kukaca. Procesom anaerobne digestije možemo obrađivati bilo koji materijal koji sadrži ugljik. U to ubrajamo hranu, papir, vrtni otpad i svi imaju različiti stupanj razgradnje [16]. Važno je omogućiti specifične uvjete za rast i razvoj mikroorganizama. Fermentirati može:

- trava, stajski gnoj, odnosno sav poljoprivredni otpad,
- otpad iz kućanstva,
- otpad iz industrije,
- industrijske otpadne vode,
- kanalizacijske vode.

Biokemijski proces anaerobne digestije biološke komponente otpada odvija se u 3 stupnja:

- a) **faza hidrolize** - polimeri se pretvaraju u topive monomere pomoću hidrolitičkih bakterija,
- b) **acidogeneza** - šećeri, aminokiseline i masne kiseline razgrađuju se do hlapivih masnih kiselina, alkohola, vodika, amonijaka i ugljičnog dioksida pomoću acidogenih bakterija. Ova faza ujedno je i najbrža faza procesa anaerobne digestije,
- c) **metanogeneza** - metanogene bakterije razgrađuju prethodno nastale produkte do metana i ugljikovog dioksida, odnosno prevode ove produkte do bioplina i digestata [17].

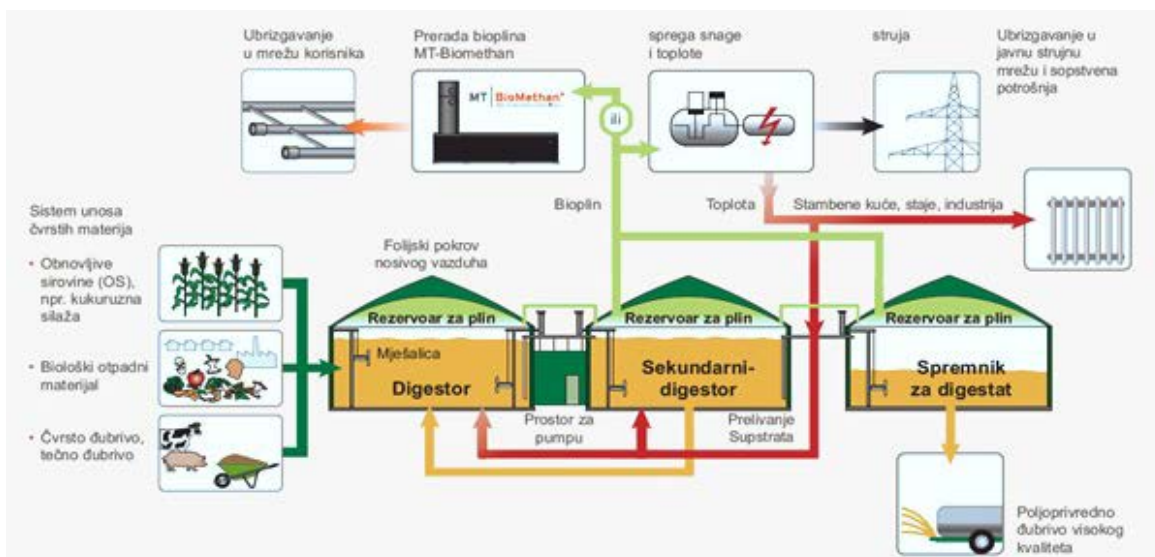


Slika 9. Anaerobna digestija biološke komponente [18].

### 3.5. BIOPLIN

Fermentacijom organskih materijala uz pomoć anaerobnih organizama, nastaje kao produkt anaerobne digestije – bioplin, koji je gorivi plin. Sadrži metan (50 - 70 %) i ugljikov dioksid (30 – 50%), a toplina koja nastaje je manja u odnosu na onu dobivenu aerobnom razgradnjom ili kompostiranjem. Može se upotrebljavati za grijanje prostorija i vode te za proizvodnju električne energije. Bioplin kada se koristi kao gorivo, pronalazi svoju primjenu u motoru s unutarnjim izgaranjem [19]. Proizvedena električna energija većinom se prodaje u elektroenergetsku mrežu, ali se može iskoristiti i za rad pogona. Energetska ogrjevna vrijednost bioplina ovisi o količini metana koju sadrži, a povećanjem udjela metana ili pročišćavanjem dobivamo kvalitetniji sirovi bioplin. Ogrjevna vrijednost bioplina varira između 4,5 i 8,5 kWh/Nm<sup>3</sup>, ovisno o udjelima plinova [20]. Od svake biomase se može dobiti bioplin. Svaka organska tvar dobivena kao produkt razvoja biljaka i životinja je biomasa. Najveći značaj u skorijoj budućnosti pruža biomasa, kao jedan od obnovljivih oblika energije. Godišnje se otprilike stvara oko 2.000 milijardi tona suhe biomase. Obnovljivi izvori energije, poput bioplina i biodizela se mogu proizvoditi iz biomase. Peleti nastaju od suhe mase i koriste se kao sirovina za izgaranje u pećima s ciljem dobivanja topline i električne energije [19]. Postoje tri različita načina pročišćivanja bioplina:

- a) **kondicioniranje** – 95 % je minimalna potrebna koncentracija metana kako bi on imao zadovoljavajuću kvalitetu da se može pustiti u plinski distribucijski sustav. Postoji nekoliko metoda za uklanjanje CO<sub>2</sub>. Apsorpcijski i adsorpcijski procesi su najznačajnije metode.
- b) **desumporizacija** – uklanjanje sumporovodika. Postoji veliki broj različitih metoda, a proces može biti kemijski ili biološki te se može odvijati unutar ili izvan reaktora.
- c) **sušenje** – potrebno je ukloniti vodu iz bioplina, kako ne bi došlo do eventualnih oštećenja na industrijskoj opremi. Hlađenjem bioplina, dio vodene pare može kondenzirati. Još jedna od opcija je hlađenje plina u hladnjacima za plin na temperature niže od 10 °C pri kojima dolazi do smanjivanja udjela vlage [22].



Slika 10. Shema dvostupanjskog postrojenja za bioplin [21].

### 3.6. USPJEŠNOST POSTUPKA MEHANIČKO – BIOLOŠKE OBRADJE

Na temelju dobivenih podataka, mehaničko-biološkom obradom komunalnog otpada njegov se volumen može smanjiti od 40 do čak 60%, dok se emisije odlagališnog plina mogu smanjiti od 80 do 90%. Prednosti ovakvog načina obrade otpada:

- reduciranje ukupnog volumena otpada,
- reduciranje slijeganja odlagališta,
- reduciranje organskog opterećenja procjednih voda,
- pad unutarnje temperature odlagališta,
- porast stupnja recikliranja,
- reduciranje reaktivnosti otpada,
- reduciranje štetnih emisija u okoliš [9].

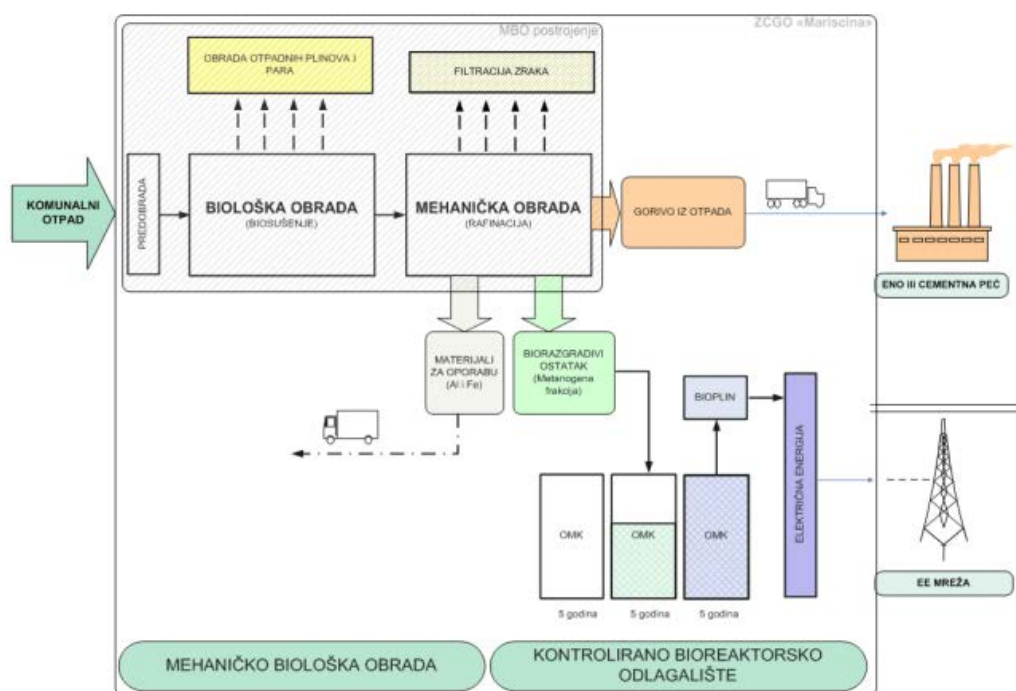
Neke od mana mehaničko-biološkog procesa obrade su veličina pogonskih postrojenja koji imaju prihvatni kapacitet preko 100 000 t/god. Prikupljanje otpada obuhvaća veliko područje što pojačava intenzitet cestovnog prometa koji dovodi do pretjeranog trošenja prometnica i onečišćenja zraka. Nedostatak dovoljne količine vode za vlaženje je također jedan od problema, često ju nije moguće osigurati zbog lokacije ili uvjeta rada [8].



#### 4. ŽUPANIJSKI CENTAR ZA GOSPODARENJE OTPADOM MARIŠČINA

Kao najpogodnija lokacija za županijski centar gospodarenja otpadom Primorsko-goranske županije izabrana je lokacija Marišćina na području općine Viškovo. Konačna Studija procjene utjecaja na okoliš završena je 2001. godine i na temelju nje je Prostornim planom kao i Planom gospodarenja otpadom Primorsko goranske županije prihvaćena ta lokacija. Ekoplus d.o.o. je županijska komunalna tvrtka osnovana 2001. godine za gospodarenje komunalnim otpadom na području čitave Županije [23].

Županijski centar za gospodarenje otpadom „Marišćina“, shematski prikazana na slici 11., pokriva ukupnu površinu od otprilike 42,5 hektara te se može podijeliti na: radnu zonu, odlagališnu zonu, internu i vanjsku prometnicu, zaštitni protupožarni pojas i zaštitnu zelenu zonu.



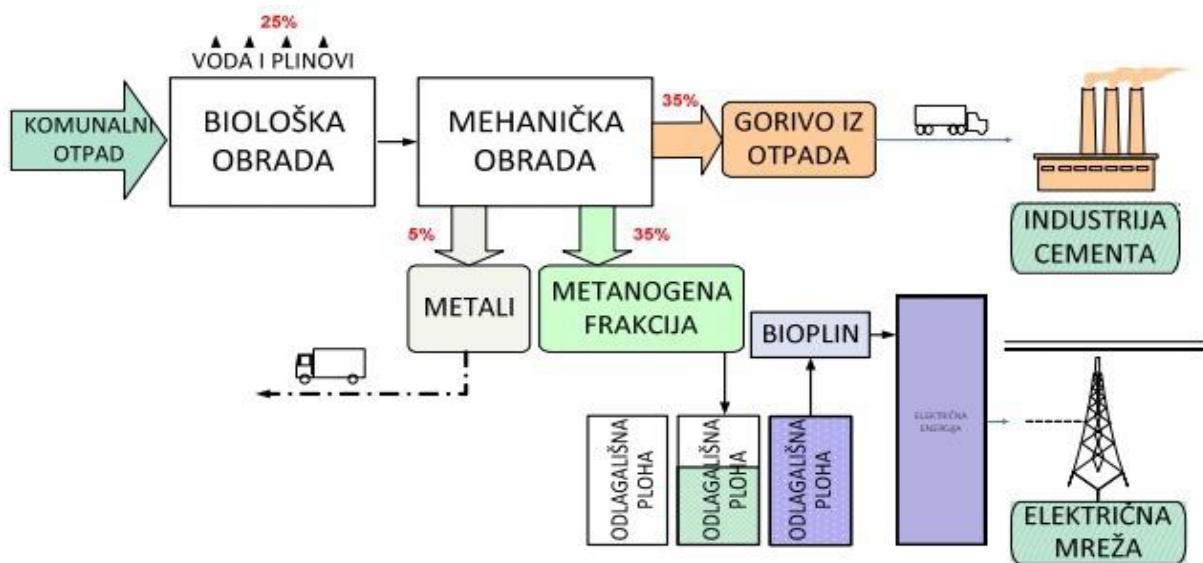
Slika 11. Shematski prikaz ŽCGO „Marišćina“ [23].

Na području Primorsko-goranske županije prikupljanje i odlaganje komunalnog otpada obavlja 9 komunalnih tvrtki, te ga odlaže na 10 službenih odlagališta, a na odlagališta se trenutačno odlaže oko 300 tona otpada u danu, odnosno 100 000 tona otpada godišnje. Iz legalnih lokalnih odlagališta, otpad se prevozi do pretovarnih stanica, prikazanih na slici 12. te naposljetku do ŽCGO „Marišćina“ gdje se obrađuje i zbrinjava.



Slika 12. Prijevoz komunalnog otpada s pretovarnih stanica [24].

Županijski centri, temeljem Strategije gospodarenja otpadom [3], su dužni unutar centra koristiti određenu tehnologiju obrade otpada. Županijski centar za gospodarenje otpadom „Mariščina“ kao način obrade otpada koristi mehaničko-biološku obradu otpada. Na temelju provedene analize prednosti i nedostataka različitih vrsti mehaničko-biološke obrade, najprihvatljivijim rješenjem izabrano je mehaničko-biološko postrojenje sa biosušenjem i daljnjom obradom biorazgradivog dijela otpada u kontroliranim bioreaktivnim odlagališnim plohama koje je prikazano na slici 13.



Slika 13. Postrojenje za MBO s biosušenjem [23].

Prvi korak je biosušenje, to je biološki dio obrade, a nakon toga slijedi mehanička obrada. Ovakvim načinom obrade nastaju dva završna produkta, jedan je gorivo iz otpada, a drugi je biorazgradivi dio otpada koji se sakuplja u određenim odlagališnim plohama gdje se odvija daljnja anaerobna obrada. Konačni produkt na plohama je bioplina koji se koristi za proizvodnju električne energije [23]. Prednosti ove metode su:

- kvalitetno zamjensko gorivo visoke energetske vrijednosti koje je pogodno za upotrebu u cementarama i ostalim industrijskim pećima (visoka kalorična vrijednost koja je veća od 18.000 MJ/kg, zbog biosušenja u procesu biostabilizacije),
- proizvodnja električne energije iz odlagališnog plina,
- relativno prihvatljiv iznos početne investicije,
- prihvatljiva cijena obrade komunalnog otpada.

Nakon obrade komunalnog otpada u MBO postrojenju odabrane tehnologije, kao produkti obrade dobivaju se: gorivo iz otpada (GIO) - odvozi se na daljnju obradu izvan ŽCGO, korisni materijali za daljnje korištenje i biološki obrađeni dijelovi potrebni za proizvodnju bioplina.



Slika 14. Županijski centar za gospodarenje otpadom „Marišćina“ [24].

#### 4.1. FAZE OBRADE OTPADA

Pristigao komunalni otpad obrađuje se u 3 koraka [23]:

- a) **mehanička pred-obrada otpada** – pomoću automatski upravljanoj kranu, iz prihvatne jame, se transportira pristigli komunalni otpad prema dijelu postrojenja u kojem se vrši predobrada na način da se određenim noževima otvaraju vrećice. Nakon toga slijedi razdvajanje pojedinačnih komponenti otpada obzirom na veličinu uz pomoću rotacijskog sita. Kao posljednji korak imamo transport komponenti u odgovarajuće prihvatne jame za daljnju obradu.
- b) **biosusešnje otpada** - poslije mehaničke predobrade, otpad se transportira u prostor za biološku obradu otpada. Otpad se slaže na visinu od 5 do 6 m ovisno o sadržaju otpada. U procesu biosušenja sva lako razgradiva frakcija aerobno oksidira. Tijekom procesa biostabilizacije gubi se 25 - 30 % ulazne mase otpada u obliku isparene vode i on traje između 12 i 15 dana. Pod postrojenja za biološku obradu je perforiran i ukupno imamo 24 sekcije. Svaka sekcija kontrolira se zasebno i pripada joj poseban ventilator. Ispod perforiranog poda nalazi se prostor koji omogućuje ujednačen protok zraka kroz navezeni otpad.
- c) **mehanička rafinacija** (proizvodnja goriva iz otpada) - poslije biosušenja, otpad se kranom vodi dijelu postrojenja za daljnju mehaničku obradu (rafinaciju). Pomoću niza različitih uređaja se iz njega odvajaju različite komponente kao što su gorivo iz otpada, metali i plastika.

## 5. ZAKLJUČAK

Potaknuta riječima jednog profesora s fakulteta koji je uporno naglašavao da otpad nije smeće shvatila sam da bi, najznačajniji utjecaj u cilju postizanja najviše razine zaštite okoliša, imao svaki pojedinac kada bi bio dovoljno educiran i naučio pravilno voditi brigu o otpadu kojeg sam stvara. Hrvatska je ulaskom u Europsku uniju trebala promijeniti mnoge zakone kako bi ispunila različite norme i kriterije koje propisuje Direktiva o otpadu. Jedan od prvih koraka u rješavanju problema divljih odlagališta je izgradnja centara za gospodarenje otpadom jer se na taj način može sustavno i održivo riješiti i problem zbrinjavanja i mogućnost iskorištavanja velikog energetskeg potencijala otpada. Ipak gledajući stupanj razvijenosti susjednih država, Hrvatska se sa svojim mjerama i tehnologijama nalazi u samim počecima. Godine što slijede bit će od iznimne važnosti za postizanje ciljeva nametnutih Direktivom, a zadaća države kao i lokalnih i regionalnih vlasti je da omoguće odgovarajuću infrastrukturu i financijsku potporu. Cilj je razviti kvalitetan i funkcionalan sustav gospodarenja otpadom koji će se temeljiti na održivim principima i omogućiti porast udjela otpada s mogućnošću ponovne upotrebe kako bi se smanjilo opterećenje na odlagališta.

## 6. LITERATURA

- [1] Zakon o održivom gospodarenju otpadom, Narodne novine, NN 94/2013.
- [2] Kušić, H., Upravljanje otpadom, Interna skripta, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2022.
- [3] Hrvatska agencija za zaštitu okoliša, Izvješće o komunalnom otpadu za 2020. godinu, Zagreb, 2021.
- [4] Pravilnik o katalogu otpada, Narodne novine, NN 90/2015.
- [5] Uredba o kategorijama , vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada, Narodne novine, NN 50/2005.
- [6] <https://www.zcgo.hr/otpad-u-zagrebu-pregled/komunalni-otpad> (pristup 25.08.2022.)
- [7] Agencija za okoliš i prirodu, Metodologija za određivanje sastava i količina komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada s Naputkom za naručivanje i provedbu određivanja prosječnog sastava komunalnog odnosno miješanog komunalnog otpada, Zagreb, 2015.
- [8] Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. godine, Narodne novine, NN 3/2017.
- [9] <http://gospodarenje-otpadom.yolasite.com/resources/DANIJELA%20SKOKO.pdf> (pristup 27.08.2022.)
- [10] Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives
- [11] [https://www.hocired.hr/images/OPATIJA2018/Referati\\_po\\_studijskim\\_odborima/SO7/SO7-07.pdf](https://www.hocired.hr/images/OPATIJA2018/Referati_po_studijskim_odborima/SO7/SO7-07.pdf) ( pristup 27.8.2022.)
- [12] Kalambura, S., Krička, T., Kalambura, D., Gospodarenje otpadom, Veleučilište Velika Gorica, Zagreb, 2012.
- [13] [https://twiki.pula.org/pub/MojaPUO/PrimjedbeSUO\\_Kastijun/Elaborat\\_MBO\\_Kastijun.pdf](https://twiki.pula.org/pub/MojaPUO/PrimjedbeSUO_Kastijun/Elaborat_MBO_Kastijun.pdf) (pristup 12.09.2022.)
- [14] Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., Integrated solid waste management - engineering principles and management issues, McGraw-Hill, 1993.
- [15] Di Maria, F., Postrioti, L., Micale, C., Sordi, A., Marconi, M., Energy recovery from low temperature heat produced during aerobic biological treatment, Energy Procedia, 45, 2014., str. 81-90.

- [16] Squire, D., Kompost, Leo-commerce, 2009.
- [17] Panjičko, M., Franjo, M., Lukić, G., Primjena procesa anaerobne digestije u obradi komunalnog otpada – stanje i trendovi, Brodarski institut d.o.o. Konferencija u Varaždinu, 2012.
- [18] Schnürer A., Jarvis Å., Microbiological Handbook for Biogas Plants, Swedish Waste Management U2009:03, Swedish Gas Centre Report 207, 2010.
- [19] <https://eko.zagreb.hr/bioplina/91> (pristup 29.8.2022.)
- [20] Eriksson, O., Environmental Technology Assessment of Natural Gas Compared to Biogas, Natural Gas, Primoz Potocnik (Ed.), InTech, 2010.
- [21] <https://bioen.hr/bioplina-proizvodnja/> (pristup 29.08.2022.)
- [22] Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Jansse, R., Priručnik za bioplina (Biogas for Eastern Europe), Intelligent Energy, Njemačka, 2008.
- [23] <https://www.ebrd.com/english/pages/project/eia/39417c.pdf> (pristup 30.08.2022.)
- [24] <https://www.ekoplus.hr/mariscina.php> (pristup 20.08.2022.)

