

1. UVOD

Nakon donošenja Plana gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj (Narodne novine 85/07), u daljnjem tekstu "Plan", pokrenut će se i aktivnosti na izgradnji sustava gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj. Osnovu cijelog sustava gospodarenja u svakoj od županiji činit će županijski/regionalni centri za gospodarenje otpadom.

Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj (u daljnjem tekstu Plan) osnovni je dokument o gospodarenju otpadom u RH za razdoblje 2007. - 2015. Okvir za pripremu Plana su Strategija gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/05) (u daljnjem tekstu Strategija), postojeći zakonski propisi i smjernice Europske Unije (EU).

Strategija, kao sastavni dio Nacionalne strategije zaštite okoliša (NN 46/02), sadrži ocjenu postojećeg stanja u gospodarenju otpadom, strateške i kvantitativne ciljeve i mjere za postizanje tih ciljeva, smjernice, procjenu investicija i izvore financiranja.

Temeljni zadatak Plana u navedenom razdoblju je organiziranje provođenja glavnih ciljeva Strategije postavljene za razdoblje 2005. do 2025. na području gospodarenja otpadom u RH i to:

- uspostava cjelovitog sustava gospodarenja otpadom;
- sanacija i zatvaranje postojećih odlagališta;
- sanacija "crnih točaka", lokacija u okolišu visoko opterećenih otpadom;
- razvoj i uspostava regionalnih i županijskih centara za gospodarenje otpadom, s predobradom otpada prije konačnog zbrinjavanja ili odlaganja i
- uspostava potpune informatizacije sustava gospodarenja otpadom.

Provedbom Plana planira se postići:

1. uspostava sustava gospodarenja otpadom u svakoj županiji po regionalnom / županijskom konceptu;
2. povećanje udjela odvojeno prikupljanog otpada;
3. recikliranje i ponovna uporaba otpada;
4. prethodna obrada otpada prije konačnog odlaganja;
5. smanjenje udjela biorazgradivog otpada u komunalnom otpadu;

6. izdvajanje goriva iz otpada (GIO);
7. smanjenje količina otpada koje se odlažu na odlagalištima;
8. smanjivanje štetnih utjecaja otpada na okoliš te
9. samoodrživo financiranje sustava gospodarenja komunalnim otpadom.

U razradi samog koncepta obrade otpada, unutar svakoga od centara za gospodarenje, velika se važnost mora posvetiti sadašnjem stanju gospodarenja otpadom, kao i svim parametrima značajnim za djelotvornost i uspješnost samog rješenja, kao što su ekološki, ekonomski, klimatski, ljudski i drugi parametri.

Na osnovi svega toga, potrebno je formulirati principe koji bi morali biti ispunjeni ako se žele dobiti rješenja koja odgovaraju izazovima vremena:

- rješenje mora odgovarati najstrožim normama zaštite okoliša;
- rješenje mora biti investicijski prihvatljivo i eksploatacijski racionalno;
- rješenje mora početi od postojanja "kritične mase" odnosno onog broja korisnika koji zajedno mogu platiti tehnološke i financijske uvjete ispravnog korištenja;
- problem se mora rješavati regionalno, odnosno za šire gravitacijsko područje radi racionalnosti i da bi se gospodarenje otpadom moglo efikasnije držati pod kontrolom;
- rješenje ne bi smjelo zahtijevati preveliku reorganizaciju postojećeg sustava primarne selekcije (prikupljanja) komunalnog otpada;
- rješenje mora osigurati što je veći mogući stupanj recikliranja ulaznog otpada, odnosno garantirati minimalan ostatni dio za odlaganje na odlagalištu te
- rješenje, odnosno tehnologija rješenja vodi računa da se operativna rješenja traže u što većem mogućem angažmanu domaće industrije.

Osim toga, novi se koncepti zbrinjavanja komunalnog otpada moraju bazirati na zahtjevu za maksimalnim iskorištenjem energije iz otpada, što je u ovom trenutku opće neizvjesnosti o dostupnim količinama i cijeni energije, od izuzetne važnosti.

2. TEHNOLOGIJE MEHANIČKO-BIOLOŠKE OBRADNE (MBO) KOMUNALNOG OTPADA

2.1. OPĆENITO

Osnovni ciljevi svih tehnologija obrade otpada, a kao jedna od izravnih posljedica EU Direktive o odlaganju otpada (Landfill of waste Directive 99/31/EC), neovisno o vrsti i tipu tehnologije su:

- smanjenje količine otpada za konačno odlaganje i
- smanjenje negativnog utjecaja neobrađenog otpada na okoliš

S obzirom na način obrade otpada, tehnologije obrade otpada u osnovi se dijele na:

- mehaničku obradu (izdvajanje korisnog dijela otpada);
- biološku obradu (biološka razgradnja organskog dijela otpada);
- termičku obradu (obrada ukupnog dijela otpada ili samo jednog dijela, koji prije toga može biti obrađen drugim postupcima, obuhvaća čitav niz različitih tehnologija) i
- fizikalno-kemijsku obradu

2.1.1. Uvod u mehaničko biološku obradu otpada

Koncept mehaničko biološke obrade – MBO (*engl.* MBT) otpada razvio se u Njemačkoj kao posljedica težnje da se reducira količina biorazgradivog otpada koji se odlaže na odlagalištima, te da se poveća potencijalna uporaba sirovina iz otpada.

Ona je logički slijed razvoja tehnologija kompostiranja, sa sofisticiranijim sistemima mehaničke obrade. Kao tehnologija je vrlo rasprostranjena u Zapadnoj Europi te postoji velik broj institucija koje se bave razvojem, daljnjim unaprijeđenjem i proizvodnjom uređaja, koji su sastavni dio ove tehnologije.

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.."

- 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:

- maksimiziranje količine obnovljivih sirovina (staklo, metali, plastika, papir, i dr.)
- proizvodnja komposta i materijala sličnih kompostu (*engl.* CLO)
- proizvodnja krutog goriva iz otpada (*eng.* RDF)
- proizvodnja biostabiliziranog materijala za odlaganje
- proizvodnja bioplina za proizvodnju toplinske i/ili električne energije
- proizvodnja visoko kvalitetnog krutog goriva definiranih svojstava (*engl.* SRF)

Većina tih procesa uključuje 'Mehaničko' sortiranje otpada, razvrstavanje otpada s obzirom na veličinu čestica, te procese 'Biološke' obrade otpada iz čega je i nastao akronim MBO (*eng.* MBT). 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:

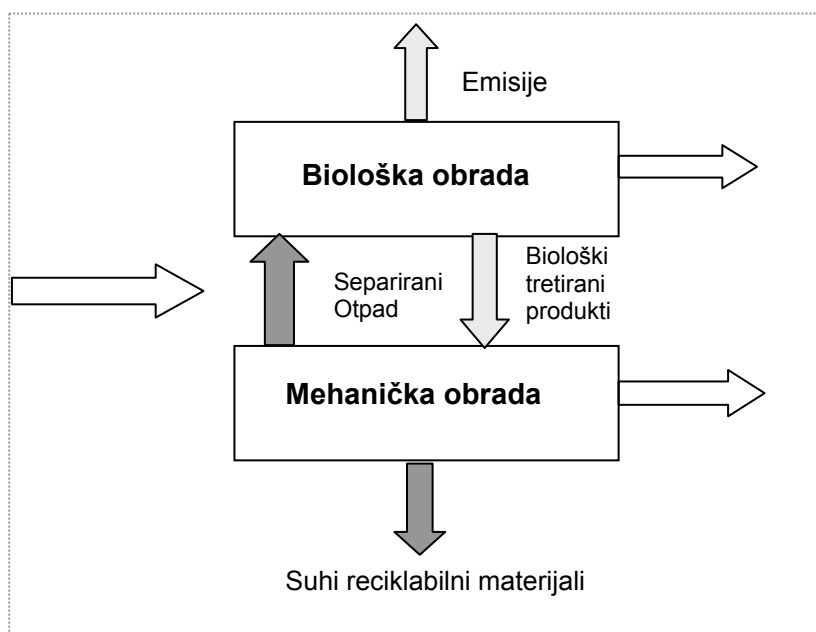
- usitnjavanje i peletizacija
 - drobljenje i mljevenje
 - prosijavanje
 - ostale metode mehaničke separacije
 - separaciju metala
 - separaciju nemagnetskih metala
- Mehanička obrada**
-
- biosušenje
 - kompostiranje
 - anaerobna digestija
- Biološka obrada**

Na tržištu je prisutan veliki broj MBO tehnologija s različitim kombinacijama elemenata za mehaničku i biološku obradu, što omogućava odabir postrojenja za specifičnu namjenu.

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,
- BMO procese - procesi u kojim se otpad najprije obrađuje u biološkom, pa tek onda u mehaničkom procesu

U nastavku je dana opća shema MBO procesa s obzirom na redoslijed obrade otpada:



Slika 1. Opća shema MBO procesa s obzirom na redoslijed obrade

Prema općoj shemi MBO procesa prikazanog na slici 1, prethodno neobrađeni otpad najprije se šalje na mehaničku obradu gdje se provodi mehanička separacija metala, plastike, stakla i potencijalno opasnih tvari. Ostatak otpada koji je većim dijelom biorazgradiv, odlazi na kompostiranje ili anaerobnu digestiju. Tijekom procesa biološke obrade materijal se komprimira i stabilizira te se nakon toga odlaže.

Za razliku od MBO procesa, kod BMO procesa, cjelokupni ulazni otpad najprije se odvodi na biološku obradu tijekom koje se organske tvari djelomično razgrađuju u aerobnim uvjetima (pri čemu se smanjuje udio vlage) te otpad postaje suši i podložniji kvalitetnom prosijavanju. Nakon biološke obrade slijedi mehanička separacija otpada, te se takav tip procesa naziva biološko mehanička obrada (BMO). Za BMO proces je karakteristično da njime nastaju kruti gorivi produkti relativno visokih kalorijskih vrijednosti, koji se mogu koristiti kao gorivo (GIO ili engl.SRF).

Kao biološki postupak razgradnje u obzir najčešće dolazi kompostiranje, biosušenje ili anaerobna digestija. Kompostiranje otpada je aerobni postupak biološke obrade (razgradnja uz prisutnost zraka/kisika), pri čemu se kao izlazni proizvod dobiva

kompost, dok je anaerobna digestija postupak razgradnja organske tvari bez prisutnosti kisika pri čemu kao izlazni proizvod nastaje bioplin. Biosušenjem se iz otpada primarno izdvaja voda, te isti dijelom inertizira u smislu da se razgrađuju lakorazgradivi organski spojevi.

2.2. MEHANIČKA OBRADA

2.2.1. Uvod

Mehanička obrada otpada za razliku od biološke ne mijenja kemijska svojstva otpada koji se obrađuje, već samo izdvaja pojedine komponente ili frakcije iz ulaznog toka, odnosno mijenja stanje usitnjenosti smjese.

Mehanička obrada definicijski se sastoji se od nekoliko obveznih komponenata poredanih u funkcionalnom slijedu koji omogućuje optimalnu obradu (separaciju) s ciljem dobivanja što je više moguće kvalitetnih frakcija za daljnju uporabu (recikliranje), bilo materijalnu, bilo energetska.

Prilikom mehaničke obrade iskorištava se niz fizikalnih svojstava komponenata otpada, kao što su:

- oblik vanjske površine
- svojstva vanjske površine
- mogućnost usitnjavanja
- mogućnost kotrljanja
- magnetičnost
- električna svojstva
- boja
- gustoća
- mogućnost refleksije

Ciljevi mehaničke obrade unutar MBO procesa su slijedeći:

- povećavanje količine obnovljivih sirovina izdvojenih iz otpada (odvajanje materijala za uporabu kao što su staklo, metali, plastika, papir);
- priprema otpada za postupak biološke obrade;
- rafiniranje izlaznih produkata, te
- uklanjanje neprikladnih komponenti iz ulaznog netretiranog otpada

Danas su tehnologije mehaničke obrade, kako unutar MBO procesa, tako i na drugim područjima na kojima se koriste, uglavnom potpuno automatizirane i ne zahtijevaju prisutnost ljudskog faktora u toku procesa.

U nastavku se daje popis najvažnijih elemenata (uređaja), pomoću kojih se vrši proces mehaničke obrade otpada unutar MBO procesa:

- Okrećuća rotacijska sita (tromeli)
- Sita (statička ili vibrirajuća)
- Usitnjavači
- Magnetni (Fe) separatori
- Eddy-current separatori
- Zračni separatori
- Cikloni
- NIR (Infracrveni separatori)



Slika 2. Dio postrojenja za mehaničku obradu otpada

2.2.2. Povećavanje količine sirovina za recikliranje

Jedna od osnovnih funkcija mehaničke obrade je izdvajanje reciklabilnih sirovina. Unutar MBO procesa u ovu svrhu rabi se velik broj separacijskih metoda.

Najvažniji materijali čija se separacija odvija unutar mehaničkih procesa obrade su, staklo, plastika i metali.

• Staklo

Dvije glavne skupine staklenih predmeta u širokoj primjeni su:

- staklene posude – boce, demižoni, čaše
- ravno staklo

Separacija stakla unutar MBO procesa može predstavljati problem. U nekim MBO procesima (pretežno u Španjolskoj) provodi se ručno izdvajanje stakla (*engl.* hand-picking) kako bi se separirale različito obojene staklene boce iz prethodno netretiranog otpada, međutim radni troškovi za ovaj tip separacije mogu biti prilično visoki.

Neseparirano staklo posebno izaziva probleme kod MBO procesa dizajniranih za proizvodnju komposta ili tzv. poboljšivača tla. Količine stakla na izlazu iz procesa mehaničke obrade svode se kod ovih postrojenja na najmanju moguću mjeru upotrebom okećućih rotacijskih sita ili sličnih uređaja za separaciju, čiji se princip rada bazira na različitoj gustoći komponenata otpada. U većini slučajeva, tako izdvojena staklena frakcija se miješa s ostalim inertnim materijalom te šalje na odlaganje.

• Papir i karton

U papirno kartonski otpad spadaju:

- novine i časopisi
- prospekti, katalozi, bilježnice
- knjige i slikovnice
- papirnate vrećice, kartonske fascikle i kutije
- valoviti karton
- ostali papirni i kartonski predmeti bez plastičnih ili drugih materijala

•Plastika

Gotovo 96% plastičnih predmeta na tržištu načinjeno je od ukupno 6 vrsta polimernih materijala:

- PET – poli(etilen-tereftalat)
- PE-LD – polietilen niske gustoće
- PE-HD – polietilen visoke gustoće
- PVC – poli(vinil-klorid)
- PP – polipropilen
- PS - polistiren

•Metali

Metalni ostaci tvari se mogu podijeliti na

- željezne metale kao čelik, lim, lijev i sl.
- obojene metale kao aluminij, bakar, cink, olovo itd.

Metali u otpadu koji se obrađuje najčešće potječu iz:

- ambalažnih limenki za hranu
- baterija
- Al-limenke
- Al-folije
- sprejeva (doze pod tlakom)
- dijelova posuđa i pribora za jelo
- dijelova bijele tehnike
- raznih cijevi i žica

Unutar MBO postrojenja izdvajanje metala najčešće se svodi na izdvajanje magnetskih i nemagnetskih. Udio izdvojenih metala najčešće se kreće između 3% i 7%, ovisno o sastavu otpada na ulazu, izvedbi postrojenja i učinkovitosti samih uređaja za separaciju.

2.2.3. Priprema otpada za postupak biološke obrade

Biološka obrada otpada, bazira se na djelovanju mikroorganizama, pri čemu dolazi do razgradnje biorazgradive frakcije otpada. Zbog toga je tijekom mehaničke obrade

otpada jedan od ciljeva povećati udio biorazgradive komponente u ostatnom otpadu koji se odvodi na biološku obradu.

U praksi su prisutne tri osnovne metode povećavanja biorazgradive komponente u frakciji otpada koja se odvodi na biološku obradu u sklopu MBO procesa:

- razdvajanje ulazne frakcije otpada na krupnu u finu frakciju;
- separacija frakcija otpada na temelju razlika u gustoći komponenti otpada (tzv. denzitometrijska separacija); te
- proces ispiranja otopljenih organskih komponenti otpada primjenom vode za pranje (tzv. proces cijedenja)

2.2.4. Kontroliranje veličine čestica tijekom procesa biološke razgradnje

U MBO procesima koji se baziraju na aerobnoj i anaerobnoj biorazgradnji, vrlo je važna veličina čestica biorazgradive frakcije otpada. Naime, tijekom procesa biološke obrade otpada, održavanje odgovarajuće temperature procesa te ravnomjerne raspodjele vlage u biorazgradivoj frakciji otpada biti će efikasnije što je veličina čestica tretirane biorazgradive frakcije otpada manja.

Kako bi učinkovitost aerobnog procesa (odnosno kompostiranja) bila što bolja, temperatura, aeracija i sadržaj vlage u procesu moraju biti što ujednačeniji. Što su veličine čestica biorazgradive frakcije manje, efikasnost procesa je zbog olakšanog procesa prijenosa topline i mase veća.

Kod procesa anaerobne biorazgradnje potrebno je kontrolirati temperaturu, stupanj homogenosti, te količinu aktivnih bakterija. I u ovom slučaju je za dobre performanse procesa potrebno osigurati male veličine čestica.

Srednja veličina čestica biorazgradive frakcije otpada, kontrolira se na slijedeće načine:

- upotrebom tromela (razdvajanje otpada na različite frakcije);
- usitnjavanjem otpada kako bi se reducirala veličina čestica;
- mljevenjem otpada u (npr. kugličnim mlinovima), te
- kombiniranjem navedenih procesa

2.2.5. Naknadna obrada izlaza iz MBO procesa

Kako bi se osigurala što veća kvaliteta produkata iz MBO procesa, izlazni produkti se trebaju dodatno pregledati kako bi se uklonili nepoželjni materijali. Za MBO proces kod kojeg mehanička separacija prethodi biološkoj obradi, naknadni pregled je poželjan, dok je kod MBO procesa s biosušenjem (BMO izvedba) koje prethodi mehaničkoj separaciji, on neophodan.

Kao što je već navedeno, MBO proces može biti konstruiran tako da proizvodi CLO, SRF ili bio-stabilizirani materijal. Pri tome se naknadno rafiniranje može koristiti u cilju:

- uklanjanja nečistoća (npr. staklo, plastika i sl.)
- promjene oblika izlaznog produkta MBO procesa u oblik prikladan za korištenje kod konačnog korisnika (npr. redukcija veličine čestica, baliranje, paletiziranje i sl.)

Opseg naknadne obrade ovisi o primjeni produkata MBO procesa kod konačnog korisnika: kompost, poboljšivač tla, kruto gorivo (SRF), ili odlaganje.

2.3. BIOLOŠKA OBRADA

2.3.1. Uvod

Biološkom obradom nastoji se u što većoj mjeri razgraditi organska komponenta otpada. Osnovni razlog leži u tome, što se njenim odlaganjem unutar odlagališta producira metan (CH₄), koji je staklenički plin i samim tim izaziva ogromno opterećenje okoliša. Iz tog razloga ovom vidu obrade unutar MBO procesa pridaje se posebna važnost.

Reprezentativna prosječna molekularna formula za organski otpad, isključujući dušik i druge manje komponente je C₆H₁₀O₄ (Themelis&Verma, 2004.). Organska frakcija komunalnog otpada može sadržavati od 15% do čak 70% vode u svom sastavu.

Procesi biološke razgradnje organske komponente otpada, obično se dijele s obzirom na prisustvo kisika kod obrade i to na aerobne (uz prisustvo kisika) i anaeobne (bez prisustva kisika). Osnovna razlika između ova dva tipa procesa zasniva se na različitim tipovima mikroorganizama koji obavljaju proces razgradnje organske tvari. Za jedan i drugi vid obrade postoje različite izvedbe i načini vođenja procesa, od kojih će u nastavku biti spomenuti samo oni, najčešći u primjeni.

2.3.2. Aerobna obrada biorazgradive komponente otpada

Aerobna obrada otpada podrazumijeva degradaciju organske komponente otpada mikroorganizmima, uz prisustvo kisika iz zraka. Osim obrađenog komunalnog otpada, čija je organska komponenta više ili manje razgrađena, procesom nastaju CO₂, H₂O i nusprodukti.

Unutar MBO postrojenja ona se primjenjuje u obliku dva, tehnološki gledano, različita procesa a to su:

- biosušenje i
- kompostiranje

Biosušenje

Frakcija ulaznog komunalnog otpada, koji je prethodno usitnjen do propisanih dimenzija (ovisno o proizvođaču postrojenja) izlaže se procesu postupnog sušenja, pri čemu dolazi do biodegradacije lakorazgradivih organskih spojeva unutar komunalnog otpada. Sam proces koristi ujedno i energiju koja se oslobađa egzotermnim procesom aerobne razgradnje lakorazgradivih komponenata otpada, pa je energetski povoljniji od kompostiranja. Temperatura odvijanja procesa iznosi između 50 i 60 °C. Aerobnom razgradnjom biorazgradivog dijela otpada, na taj način se uz minimalan trošak za „dodatno“ uloženu energije na kraju procesa dobije stabilan, suh i higijenziran proizvod bez neugodna mirisa.

Sumarna reakcija procesa može se prikazati kemijskom jednadžbom:



Drugim riječima, za svaki kilogram biorazgradive supstance, potrebno je 1,6 kg O₂, koji stvara oko 22.000 kJ energije u formi topline, proizvodeći otprilike 1,9 kg CO₂, 0,6 kg H₂O i 0,04 kg NH₃.

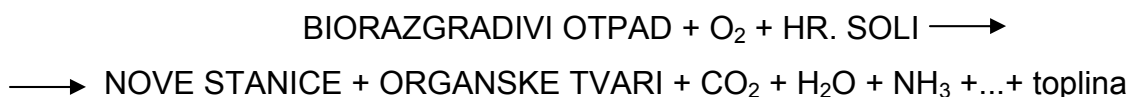
U komercijalnim izvedbama, frakcija predviđena za biostabilizaciju slaže se, odnosno nanosi u sloju od cca. 4-5 m visine u za to predviđeni dio hale. Tako nanoseni otpad na istom mjestu ostaje 12-15 dana što je dovoljno za biodegradaciju od oko 50 % biorazgradivog materijala. Pod hale je na poseban način perforiran, pa je moguće ventilatorima usisavati odnosno upuhivati zrak, te na taj način podspješivati i kontrolirati sam proces aerobne biorazgradnje. Tijekom procesa biosušenja iz ukupne se mase komunalnog otpada gubi 25-30 % od ulazne težine u vidu isparene vode. Isisani se zrak nakon prolaza kroz otpad tretira putem biofiltera, nakon kojih se pročišćen i bez ikakvog neugodnog mirisa (smrada) ispušta u atmosferu.

Kompostiranje

Kompostiranje je proces mikrobiološke razgradnje organskih materijala (biorazgradive komponente otpada) uz pomoć kisika. Prilikom procesa u reakcijsku masu potrebno je

dodavati vodu i kisik (zrak). Tijekom kompostiranja, obično se uspije ukupna masa otpada na ulazu smanjiti za 40-60%.

Proces kompostiranja aerobnim biotransformacijama može se prikazati sljedećom jednadžbom:



Organska tvar uključuje ugljik kao izvor energije, proteine i dušik. Osim ugljika i dušika, mikroorganizmima su potrebne i hranjive soli kao izvor sumpora, fosfora, kalija, magnezija, kalcija, željeza, natrija i klora. Od ostalih potrebnih elemenata, koji su manjeg značenja, mogu se navesti cink, mangan, molibden, selen, kobalt, bakar i nikal.

Proces kompostiranja može se okvirno svesti na tri osnovne faze:

1. Termofilna faza ($T=40-70^\circ\text{C}$), faza visoke temperature, prilikom koje se, uz pomoć termofilnih mikroorganizama, razgrađuju proteini, masti, celuloza, te uništavaju patogeni organizmi (higijenzacija).
2. Mezofilna faza ($T=25-40^\circ\text{C}$), faza umjerene temperature prilikom koje se, uz pomoć mezofilnih mikroorganizama, ubrzano razgrađuju topivi i lako razgradivi organski spojevi (šećeri i aminokiseline).
3. Faza rashlađivanja i zrenja ($T=20-25^\circ\text{C}$), faza u kojoj se temperatura ponovo snižava, te se prouzročuje rast i razmnožavanje mezofilnih organizama, koji razgrađuju ostale organske spojeve.

Kompostiranje otpada je proces koji se odvija u heterogenoj masi, posebno kod obrade komunalnih organskih ostataka. Proces provode mješovite kulture mikroorganizama koje u osnovi sadrže bakterije, kvasce, gljivice i aktinomicete. Svaka od vrsta ima veći ili manji afinitet prema razgradnji određene vrste otpada. Bakterije, tako razgrađuju uglavnom lako topive komponente, a kvasci, gljivice i aktinomicete, celulozu i hemicelulozu. Mikrobiološka aktivnost izravno je povezana sa temperaturom

kompostne mase. Veća mikrobiološka aktivnost, znači i bržu razgradnju organske tvari, odnosno povećanu temperaturu (otpuštanje topline iz reakcijske smjese-kompostne mase). Sniženje temperature kompostne mase, signalizira uglavnom nedostatak kisika, te se regulacija temperature kompostne mase vrši najčešće regulacijom dotoka kisika. Ako koncentracija kisika padne ispod 10%, dolazi do stvaranja anaerobnih uvjeta u kompostnoj masi i pojave smrada, ponajviše zbog stvaranja H₂S.

Sveukupno gledano, na proces kompostiranja utječe niz parametara, među kojima su najvažniji:

- sadržaj kisika
- vlažnost
- omjer sadržaja C / N
- struktura mase – veličina čestica – volumen pora

Vlažnost mase mora biti uvijek iznad 40%. Padne li ispod dolazi do usporavanja procesa. Pri vlažnosti manjoj od 10%, dolazi do potpuno zaustavljanja procesa. Iz tog se razloga prilikom kompostiranja u većoj ili manjoj mjeri dodaje voda u proces.

Za odvijanje procesa kompostiranja, osim količine dostupnog kisika, temperature i vlažnosti, vrlo je važan odnos sadržaja ugljika (C) i dušika (N) u kompostnoj masi. Ugljik je izvor energije, dok je dušik potreban za sintezu proteina, i u normalnim okolnostima mikroorganizmi trebaju 25 puta više ugljika od dušika. Povećanje odnosa C/N iznad 25 usporava proces jer je nedovoljno dušika za mikrobiološki rast da bi se iskoristio sav raspoloživi ugljik. Suprotno se višak dušika transformira u amonijak i druge spojeve, što je popraćeno pojavom neugodnih mirisa. Idealni omjer C/N je od 25-30, ali se i kod omjera u rasponu od 20 do 40 postižu zadovoljavajući rezultati. Pored ugljika i dušika, potrebni su i drugi nutrijenti, kao fosfor (P), kalij (K) i drugi, ali u malim količinama, pa je njihova koncentracija u kompostnoj masi balansirana C/N omjera u pravilu zadovoljavajuća.

Kompost se u osnovi proizvodi na dva načina, nereaktorskim i reaktorskim postupcima. Nereaktorski postupci dijele se na statičke i dinamičke. Statički postupci podrazumijevaju aeraciju materijala za kompostiranje bez miješanja tj. prevrtanja.

Aeracija se može provoditi prirodno ili prisilno upuhivanjem zraka u materijal za kompostiranje. Dinamički postupci podrazumijevaju aeraciju uz stalno prevrtanje tj. miješanje mase koja se kompostira.

Reaktorski postupci dijele se prema tehnološkoj izvedbi na vertikalne, horizontalne i nagnute. Vertikalni reaktori pune se odozgo, a zrak se upuhuje kroz dno reaktora. Horizontalni reaktori sastoje se od sustava ćelija u kojima je masa za kompostiranje statična, a zrak se upuhuje odozdo ili se odsisava s dna ćelija. Nagnuti reaktori uglavnom su rotacioni bubnjevi kod kojih se masa za kompostiranje kreće zbog rotacije reaktora.

Unutar MBO procesa, kompostiranje se primjenjuje u nekoliko izvedbi i to kao:

- kompostiranje u hrpama (otvoreno kompostiranje)
- kompostiranje u hali (natkriveno kompostiranje)
- tunelsko kompostiranje
- kompostiranje u reaktoru (kompostiranje u komorama)

S obzirom na način provedbe procesa, unutar MBO procesa, najčešće su primjenjivane aplikacije:

1. Otvoreni i zatvoreni dinamički sustavi
2. Sustavi s polupropusnom membranom
3. Biokontejnerski sustav
4. Tunelski sustav
5. Monoreaktorski sustav
 - Statični sustav
 - Kranski
 - Dinamički sistemi
 - Pužno prevrtanje
 - Prevrtanje grabilicama

Sve izvedbe "kompostiranja" unutar MBO procesa u osnovi smanjuju sadržaj biorazgradive komponente ulaznog otpada. Ipak, u kojoj mjeri je biorazgradivost

smanjena ovisi o izvedbi procesa kompostiranja, što ujedno definira i kakvoću izlaznog produkta.

Prednosti kompostiranja kao tehnologije očituju se u:

- Stabilizaciji otpada čime se smanjuje utjecaj na okolinu
- Eliminaciji patogenih elemenata
- Redukciji volumena
- Mogućoj korisnoj upotrebi komposta (poboljšavanje tla, materijal za biofilter)

Osnovni nedostaci kompostiranja kao tehnologije su:

- Nepouzdana i nesigurna kvaliteta izlaznog materijala
- Mogući problemi sa smradom
- Nepostojanje tržišta za kompost (neprihvatanje)
- Neke tehnologije zahtjevaju veliki prostor

2.3.3. Anaerobna obrada biorazgradive komponente otpada

Anaerobna obrada otpada unutar MBO postrojenja zasniva se na anaerobnoj digestiji. Anaerobna digestija (AD) u kontekstu tehnologija za obradu organske frakcije komunalnog krutog otpada (KO) sastoji se od obrade organskog materijala u odsutnosti kisika. Njome se pretežito dobiva bioplin te digestat koji se, nakon obrade, može koristiti i kao poboljšivač kvalitete tla.

Anaerobna digestija odvija se kroz četiri osnovne faze:

1. Hidroliza

Bakterije ne mogu razgrađivati netopive organske spojeve, pa je zato prvi korak anaerobne razgradnje hidroliza polimera. Ona se odvija preko ekstracelularnih enzima, koje proizvode manje molekule i mogu ih lako izlučiti kroz staničnu membranu. Složeni polimeri se hidroliziraju u monomere, npr. celuloza u šećere, ili alkoholi i proteini u masti ili aminokiseline, putem hidrolizirajućih enzima (lipaze, proteaze, amilaze...) koje izlučuju mikrobi. Hidroliza ima značajnu ulogu za organski otpad i u određenim slučajevima može biti ograničena. Neki industrijski procesi prevladavaju ova ograničenja korištenjem kemijskih reagensa koji potiču hidrolizu. Primjena ovih

reagensa u iniciranju ove prve faze rezultira kraćim vremenom digestije i u konačnici stvara veći udio metana. Brzina hidrolize različitih tvari je različita, tako naprimjer škrob hidrolizira puno brže od celuloze.

2. Acidogeneza

U ovoj fazi acetogene bakterije konvertiraju produkte prve faze u jednostavne organske kiseline (octena, propionska...), etanol, ugljični dioksid i vodik, te ostale nusprodukte koji nastaju u puno manjoj mjeri.

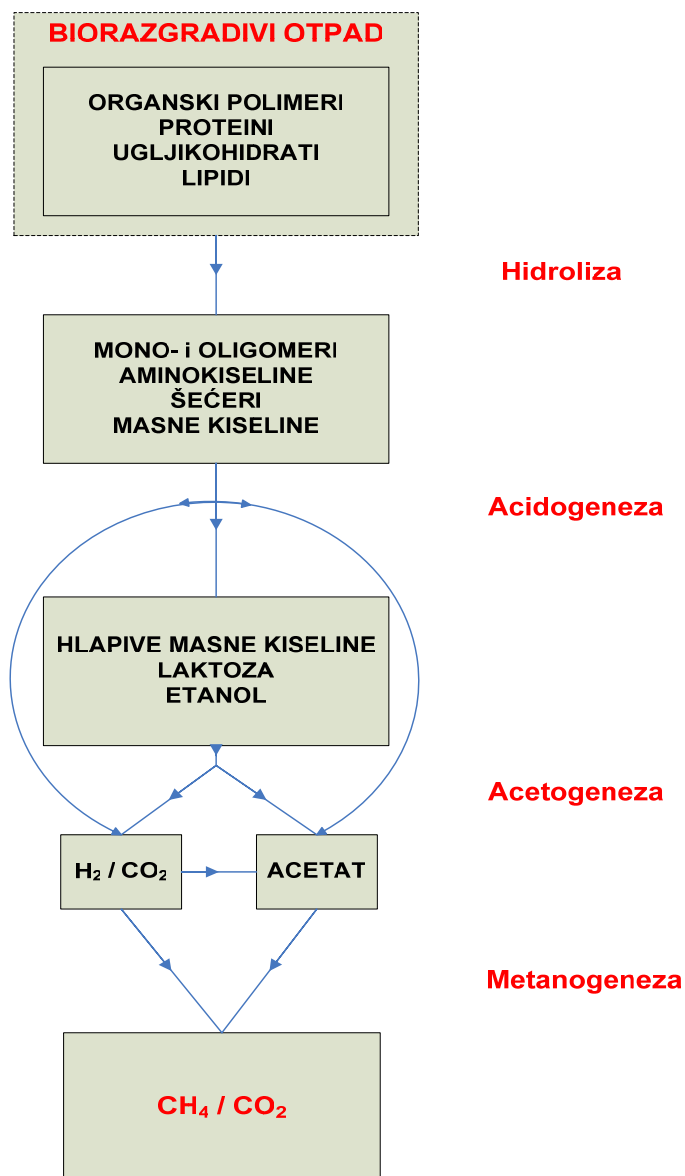
3. Acetogeneza

Faza acetogeneze, obično se povezuje s acidogenezom te se zajedno s njom smatra jednom fazom u kojoj nastaju kiseline. Biološka potrošnja kisika (BOD) i kemijska potrošnja kisika (COD) reakcijske smjese bitno se smanjuju prolazeći kroz ove faze. Acetogenske bakterije, koje proizvode vodik, oksidiraju jednostavne produkte, proizvedene u acidogenskom stupnju, u supstrate potrebne za metanogenu fazu. Produkti djelovanja acetogenskih bakterija su H_2 , CO_2 i acetat.

4. Metanogeneza

U ovoj fazi nastaje metan uz pomoć metanogenih bakterija i to na dva načina: cijepanjem molekula octene kiseline pri čemu nastaje CO_2 i metan, ili redukcijom CO_2 s vodikom. Metanogeni mikroorganizmi korisno upotrebljavaju samo određene supstrate, uključujući acetat ili H_2/CO_2 , metanol, metilamine i CO. Približno 70% ukupnog metana proizvede se iz skupine acetata, ostali dio iz H_2/CO_2 .

Pojednostavljen prikaz procesa anaerobne digestije dan je na slici 3. u nastavku.

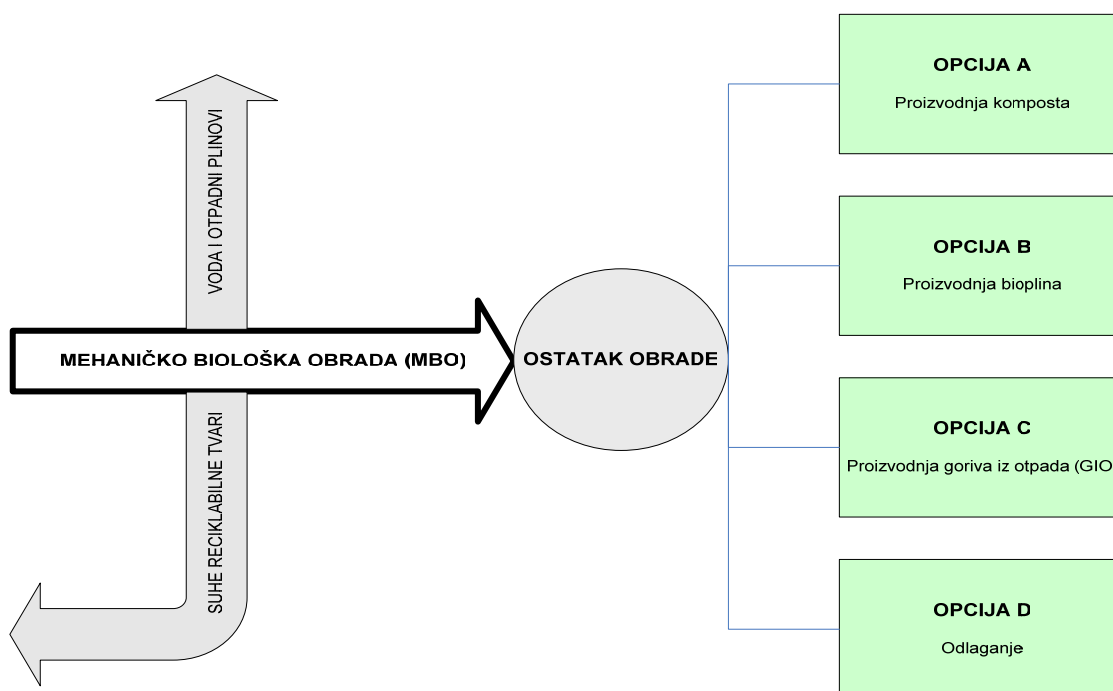


Slika 3. Shematski prikaz procesa anaerobne digestije organske komponente otpada.

3. OSNOVNE IZVEDBE MBO POSTROJENJA

3.1. UVOD

MBO tehnologije koje su trenutno prisutne na tržištu, se ovisno o specifičnom cilju obrade mogu podijeliti četiri osnovna tipa, ovisno o konačnom cilju obrade, odnosno o većinskom produktu obrade, prema kojemu se proces usmjerava. Shematski prikaz prikazuje slika 4.



Slika 4. Osnovne izvedbe MBO procesa s obzirom na ciljani glavni produkt obrade

MBO proces može biti projektiran tako da kao izlaz ima jedan ili više primarnih izlaznih produkata. Osim primarnih produkata koji mogu nastati MBO procesom (kruto gorivo, bioplin, kompost, biostabilizirani ostatak), u svim MBO procesima nastaju i sekundarni izlazni produkti kao što su:

- suha frakcija koja se može reciklirati (papir, metali, plastika),
- otpadne frakcije iz procesa obrade koji se odlažu na odlagalište,
- otpadna voda.

Sastav otpada za obradu te izlazni primarni i sekundarni proizvod uvelike upućuju na odabir izvedbe MBO postrojenja.

Na kvalitetu izlaznih parametara pak utječu velikim dijelom, vrste i sastav ulazne količine otpada za obradu.

3.2. PROIZVODNJA BIOSTABILIZIRANOG PRODUKTA ZA ODLAGANJE

Ova izvedba MBO procesa razvijena je s ciljem stabilizacije komunalnog otpada do stupnja koji je dovoljan da se s obzirom na zahtjeve EU Direktive o odlaganju otpada (Council Directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste (LD-Landfill Directive)), dozvoli njegovo odlaganje na odlagalištima. Sam proces usmjeren je na biološku obradu potpunim kompostiranjem, kojim se gotovo potpuno reducira biološka aktivnost otpada. Svođenje aktivnosti organske komponente otpada na minimum, omogućava sigurno odlaganje ovako obrađenog otpada u odlagališta, jer je količina metana koja potencijalno može nastati nakon odlaganja, zanemarivo mala (samim tim i utjecaj na doprinos ukupnim emisijama stakleničkih plinova mali).

Za potpunu biostabilizaciju otpada, koriste se različite metode, među kojima je najčešća kompostiranje. S obzirom da se izraz kompostiranje koristi u općem smislu, kod ove izvedbe se proces vodi do potpunog dozrijevanja i svođenja biološke komponente otpada na minimum.

U procesima namijenjenim biostabilizaciji otpada prije njegovog odlaganja, parametri procesa se strogo prate u svrhu optimiziranja pH, temperature, vlage i dovoda kisika u prvih 3 do 4 tjedna. Ovaj početni period se često naziva 'intenzivno kompostiranje'. Nakon ovog perioda provodi se daljnjih 3 do 4 tjedna stabilizacije komposta (ili zrenja). U ovom periodu se malo ili nimalo ne upravlja procesom.

Iskustvo Njemačke, gdje se ovaj postupak široko primjenjuje, pokazalo je da je za postizanje visokog stupnja biostabilnosti u relativno kratkom vremenu, otpad potrebno aerobno obraditi u periodu od 6 do 8 tjedana. U nekim EU zemljama koje ne primjenjuju Direktivu o odlaganju otpada u potpunosti, ovo se vrijeme skraćuje na čak 4-6 tjedana. Točno vrijeme kompostiranja je ovisno o konkretnoj tehnologiji, a također je povezano i s postupkom kojim je otpad obrađen prije faze kompostiranja.

Iako u mnogim zemljama u Europi nema standarda kojima bi se utvrdilo kada je biodegradabilnost dovoljno smanjena da bi se otpad smatrao biostabiliziranim, standardi postoje u nekim zemljama EU, uključujući Njemačku, Austriju i Italiju. U ovim

zemljama se biostabilnost određuje respiracijskom aktivnošću izlaznog produkta procesa

3.3. PROIZVODNJA KOMPOSTA I PROIZVODA SLIČNIH KOMPOSTU

Stupanj biodegradacije postignut u procesima kompostiranja jako varira. Neki procesi su projektirani da biološka obrada otpada završi za manje od jednog tjedna, dok se u drugima obrad obrađuje mnogo duže.

Općenito, kod procesa kompostiranja, dolazi do aerobne razgradnje biorazgradive frakcije (uz prisutnost kisika, odnosno u kontaktu s zrakom). Tijekom vremena aktivnog kompostiranja otpad prolazi kroz široki raspon temperatura. Osim toga, kompostiranje zahtjeva prisutnost vode te kontrolirani protok zraka kako bi se pospješio razvoj bakterija. Tijekom procesa razgradnje koji je egzotermnog karaktera, oslobađa se toplina i plinoviti produkti (CO₂ i vodena para), što se također drži pod kontrolom kako bi se optimizirala temperatura kompostiranja, a samim time i aktivnost mikroorganizama u otpadu.

Sustavi aerobnog kompostiranja, razlikuju se s obzirom na način na koji se:

- kontroliraju procesni parametri;
- kontroliraju količine ulaznih komponenti (voda i zrak);
- postupaju s izlaznim produktima procesa (plinovi i filtrat se odvođe);
- postupaju s otpadom prije, za vrijeme i nakon procesa kompostiranja

Za proizvodnju komposta dobre kvalitete, u procesu kompostiranja se obično zahtijeva vrijeme zrenja komposta do tri mjeseca, značajno više opreme za dekontaminaciju i pažljivije kontrole uvjeta kompostiranja u svrhu uništenja patogena. Implikacije su veće zauzeće površine za odlaganje, manji kapacitet postrojenja, povećani stupanj povrata otpada koji treba biti deponiran, te viši investicijski troškovi.

Iako su standardi za kompost u mnogim zemljama dobrovoljni (za razliku od zakonskih zahtjeva za stabilizaciju i odlaganje u Njemačkoj, Austriji i Italiji), biološki obrađeni otpad koji je stabiliziran u nekoj „razumnoj“ mjeri se često od strane nekih proizvođača MBO naziva kompostom. Neki proizvođači MBO postrojenja projektiraju svoje procese tako da proizvode produkt sličan kompostu. Pošto ne postoji jasna mjera za biostabilnost koju mora imati CLO, produkt mnogih procesa u kojima se biološki obrađuje otpad do

neke mjere, deklarira se od strane proizvođača kao CLO. Radi se o procesima kod kojih je vrijeme trajanja bitno skraćeno, ali samim tim i izlazni produkt nije potpuno biostabiliziran. Uz to kompostiranjem mješanog komunalnog otpada, najčešće je teško dobiti proizvod koji zadovoljava uvjete za upotrebu na tlu. Iz tog razloga terminološki treba razlikovati kompost (*engl.* compost) i proizvod sličan kompostu (*engl.* CLO-compost like output).

Raspoloživi podaci pokazuju da će procesi u kojima se otpad biološki obrađuje u trajanju kraćem od tri tjedna, postići stupanj biodegradacije manji od 50% onoga koji se postiže u postrojenjima projektiranim za biostabiliziranje otpada namijenjenog odlaganju.

Za MBO proces kojim se proizvodi CLO, ključna su tri parametra:

- vrijeme i kontrola procesa kompostiranja
- vrijeme dozrijevanja
- stupanj naknadne obrade

Neki tipovi MBO procesa za proizvodnju CLO-a, dizajnirani su tako da skraćuju vrijeme faze kompostiranja, u nekim slučajevima i na manje od 7 dana. U slučaju kada nakon procesa intenzivnog kompostiranja, CLO ne postigne dovoljan stupanj sazrijevanja, može se očekivati da će njegova kvaliteta biti lošija nego u slučaju CLO-a dobivenog iz dobro projektiranog procesa (duži period kompostiranje).

Visok stupanj dozrijevanja je vrlo važan, posebice ako se materijal namjerava koristiti kao poboljšivač tla za balansiranje omjera C/N i reduciranje stupnja nekih organskih kiselina.

Stupanj naknadne obrade je važan u smislu uklanjanja kontaminacija iz CLO-a. Procesima koji su projektirani za značajno uklanjanje teških metala i vidljivih kontaminacija (komadi plastike, i sl.) proizvodi se CLO koji je znatno atraktivniji konačnim korisnicima, te je plasman takvog proizvoda na tržištu lakši.

3.4. PROIZVODNJA GORIVA IZ OTPADA

Procesi namijenjeni proizvodnji krutog goriva su različiti od prethodnih jer se ne bave redukcijom biodegradabilnosti, pošto je ona nevažna u gorivu. Od svih poznatih MBO procesa, SRF se najčešće proizvodi procesom poznatim pod nazivom biosušenje. Tehnologijom biosušenja iz otpada se uklanja vlaga, koristeći pri tome biološku aktivnost zatvorenog aerobnog procesa (*engl.* in-vessel).

Prilikom biosušenja u aerobnim uvjetima udio vlage pada ispod stupnja (40 %) koji je neophodan za proces potpune biološke razgradnje, otpad nije stabiliziran i njegov biogeni dio je sačuvan. Kao rezultat isparavanja vlage i lako isparivih biorazgradivih komponenti otpada (gubitak mase od 24-30% od ulazne mase otpada) izlaz iz procesa biosušenja obično ima prilično visoku kalorijsku vrijednost (15-18 MJ/kg). Tako dobiveni SRF može biti, ali i ne mora biti steriliziran, te uz prisutnost vlage može doći do njegove daljnje razgradnje, što u slučaju duljeg perioda skladištenja, može dovesti do problema vezanih uz zdravlje ljudi (smrad i sl.). Iz tog razloga vrlo je bitno osigurati konstantnost njegove uporabe.

Proces biosušenja obuhvaća i proces mehaničke obrade kojim se reducira stupanj negorivih komponenti u SRF-u te proizvodi gorivo koje je kompatibilno s zahtjevima konačnih korisnika (udio zagađenja unutar dozvoljenih granica i sl.).

Tehnologije biosušenja se razlikuju ovisno o:

- kontroli procesa biosušenja u smislu maksimalnog uklanjanja vlage;
- vremenu zadržavanja (vrijeme varira od 5 do 14 dana)
- stupnju separacije onečišćenja iz SRF-a prilikom procesa naknadne mehaničke obrade,
- načinu pripreme SRF-a za konačnog korisnika.

Gorivo niže kvalitete, proizvedeno ostalim tehnologijama se obično dobiva iz krupnijeg otpada koji se uklanja iz materijala prije ulaska u fazu biološke obrade. Zato ova frakcija osim što ima bitno manju kalorijsku vrijednost, nije potpuno biostabilizirana i ako mora

biti odložena, predstavlja značajnu razinu udjela za odlaganje. Tržišno gledano, SRF niže kvalitete (vlažan i ispod 15 MJ/kg), puno je teže plasirati.

3.5. PROIZVODNJA BIOPLINA

Mnogi proizvođači MBO inkorporiraju unutar procesa anaerobnu digestiju, te se u njima, kao glavni produkt proizvodi bioplin. Stupanj smanjenja biodegradabilnosti ulaznog otpada u ovom procesu ovisi o primijenjenoj tehnologiji.

Bioplin je mješavina metana, ugljičnog dioksida i ostalih nusproduktnih plinova, a nastaje kao izlazni produkt procesa anaerobne digestije (AD). Iz tog razloga, sustavi u kojima se unutar MBO procesa proizvodi kao glavni produkt bioplin, nazivaju se često „AD-sustavi“.

U općem smislu procesi anaerobne digestije (AD) uključuju četiri faze: predobradu, digestiju otpada, pripremu bioplina za uporabu te obradu ostatka (digestata).

Većina sustava digestije zahtijevaju predobradu otpada kako bi se dobile homogene sirovine. Ovaj predproces uključuje separaciju nerazgradivih materijala. Otpad koji dolazi u AD digestor obično se mehanički separira i sortira. Separacijom se uklanjaju neželjene supstance ili materijali za recikliranje kao što su staklo, metali, kamen i slično. Otpad se prije samog ulaska u digestor usitnjava.

Anaerobna digestija se inicijalno koristila za primjenu u obradi otopina sa niskim udjelom krutina, i to uglavnom u reaktorima za obradu otpadnih voda. Proteklih nekoliko desetljeća postoji zamjetan trend ka korištenju ove tehnologije na polje obrade otpada, čime se otvara čitav niz novih novih postupaka. Iz tog razloga unutar digestora, ulazna struja se razrjeđuje kako bi se postigao željeni sadržaj krutina i ostaje u digestoru predviđeno vrijeme zadržavanja. Za razrjeđivanje se mogu koristiti različiti tipovi voda (čista voda, voda iz kanalizacije, recirkulirajuća tekućina iz izljeva digestora).

Reaktor (digestor) u kojem se odvija proces uvijek je opremljen izmjenjivačem topline (IT). IT je potreban je kako bi se dobila i održala temperatura unutar digestora.

Bioplin koji se dobiva u digestoru na kraju se pročišćava, kako bi se dobio bioplin koji je moguće upotrijebiti u energetske svrhe. Ostatak obrade-digestat se također obrađuje sa

ciljem daljnje korisne upotrebe. Kod rezidualne obrade, izlazna voda iz digestora se odvađa i reciklirana tekućina se koristi za razrjeđivanje nadolazećih tvari.



Slika 5. Anaerobni digestor u kojem se proizvodi bioplin

3.5.1. Vrste AD sustava za dobivanje bioplina iz biorazgradive komponente otpada

A) AD sustavi s obzirom na vođenje procesa

S obzirom na način vođenja procesa, AD sustavi se dijele na:

- šaržne i
- kontinuirane.

U šaržnim procesima, supstrat se unosi u reaktor na početku procesa i zatvara na određeno vrijeme zadržavanja, nakon čega se otvara, te se iz njega uklanja ostatak. Faze reakcije pojavljuju se manje ili više konsektivno, a proizvodnja bioplina slijedi zvonoliku krivulju u odnosu s vremenom. Kad se otpad unese u digestor, započinje se odvijati proces hidrolize, a proizvodnja plina je mala, pri čemu se stvara uglavnom CO₂. Proizvodnja metana se povećava za vrijeme acidogene faze i maksimalna je na polovici obrade, kada počinje prevladavati proces metanogeneze. Pri kraju procesa ostaje samo

materijal s najmanjom digestivnosti, a proizvodnja plina izostaje. Nedostatak ovog tipa sustava je što zahtijeva spremnik velikog volumena zbog dugog vremena zadržavanja, niskog stupnja organskog opterećenja. Samo 1/3 volumena spremnika koristi se za aktivnu digestiju, što proizlazi kao slabo rješenje za područja sa nedovoljno prostora za obradu (gradovi).

U kontinuiranim procesima neprestano se dodaje svježa sirovina, a ujedno se jednak volumen ostatka obrade (digestata) uklanja iz procesa. S konzistentnim ulazom sirovina, sve reakcije se pojavljuju u gotovo ravnomjernom stupnju što rezultira približno konstantnom proizvodnjom bioplina. Upravo zato što postoji konstantno kretanje, materijal unutar spremnika se miješa i ne raslojava se, čime je postignuta optimalna upotreba volumena spremnika, za razliku od šaržnih procesa. Nedostatak kontinuiranih procesa je taj što uklonjeni efluent predstavlja kombinaciju potpuno i djelomično digestiranog materijala.

U najnovije vrijeme razvijaju se kombinacije ova dva modela , uključujući cijevni AD reaktor i sekvencijalni šaržni reaktor (SBR), koji nastoje kombinirati ekstreme ova dva sustava.

B) AD sustavi s obzirom na broj reaktora u kojima se odvija proces

S obzirom na broj reaktora u kojima se odvija proces digestije, AD sustavi se mogu podijeliti na:

- jednostupanjske
- višestupanjske

Prvotna postrojenja za digestiju bila su jednostavna i koristila su samo jednu komoru, tj. svaka faza procesa odvijala se u istom volumenu. Ovakav pristup još uvijek se koristi i kod projektiranja suvremenih postrojenja. Neki pristupi ipak se temelje na činjenici da se biokemijske reakcije unutar anaerobne digestije pojavljuju u fazama, a svaka od ovih faza optimira se pod različitim uvjetima

U jednostupanjskom digestoru, svi mikroorganizmi djeluju u istom volumenu, a okolni uvjeti drže se u ravnoteži. Ovi parametri nisu nužno optimalni za sve vrste mikroorganizama, ali su ipak prihvatljivi za sve. Najvažniji parametar je pH, koji se uvijek mora održavati blizu neutralne vrijednosti kako bi se omogućilo preživljavanje metanogena. pH niži od 5.5 pri kojem acidogeni napreduju štetno djeluje na metanogene. Ovi digestori jednostavni su za upravljanje, budući se održava relativno stabilna ravnoteža procesa.

U višestupanjskom AD procesu, supstrat se prenosi preko sekvencijalnih komora gdje napreduju AD faze sukladno predviđenom vremenu. Svaka od ovih komora radi pod uvjetima koji su najpovoljniji za prisutne mikroorganizme. Ukoliko se koriste dva spremnika prvi se koristi za hidrolizu, acidogenezu i acetogenezu, dok drugi spremnik sadrži uvjete najpovoljnije za proces metanogeneze. Prvi se spremnik miješa i zagrijava do stabilne temperature te se konstatno puni. pH vrijednost može padati. Vrijeme zadržavanja u ovoj komori je 10-15 dana. Drugi spremnik mora sadržavati viši pH te mora osigurati uvjete za sakupljanje i skladištenje plina. U složenim višekomorskim digestorima, koristi se i do 8 spremnika, a svaki spremnik ima jedinstvenu svrhu i radi pod posebnim okolnim uvjetima. Višestupanjski sustavi mogu biti učinkovitiji, s obzirom na to da mikroorganizmi imaju različite hranidbene potrebe, mogućnost rasta i različite sposobnosti prilagodbe promjenama okoline. Podaci o optimalnom broju spremnika za proces anaerobne digestije, nažalost su nedostupni.

C) AD sustavi s obzirom na udio krutih tvari u reakcijskoj smjesi

S obzirom na udio krute tvari u reakcijskoj smjesi koja se obrađuje, procesi anaerobne digestije se mogu podijeliti na:

- „suhi“ AD-procesi
- „vlažni“ AD-procesi

Sustavi u kojima je obično manje od 15% suhe tvari unutar reakcijske smjese, nazivaju se "vlažni" AD sustavi, a oni sa velikim udjelom krutih tvari (15-40%) nazivaju se "suhi" AD sustavi.

Postoji i nešto drugačija podjela na LS (Low solid) sustave koji sadrže manje od 10% krutih tvari, MS (Medium solids) sustave, koji sadrže 15-20%, i HS (High solids) sustave, koji sadrže 22-44% krutih tvari u reakcijskoj smjesi.

MBO procesi koji se temelje na suhoj digestiji obično zahtijevaju nekoliko faza predobrade, za razliku od procesa koji se temelje na vlažnoj digestiji. Zbog toga procesi suhe digestije imaju niže kapitalne i operativne troškove. Uz to, suhi procesi proizvode manje otpadne vode nego vlažni sustavi, te stoga zahtijevaju manje opreme za tretman izlaznih voda.

Druga važna prednost MBO sustava temeljenih na suhoj AD je što su izbjegnuti problemi sedimentacije biorazgradljivih krutina koje su vezane na inertne čestice u otpadu, povlačenja biorazgradljivih krutina sa lakom plastikom (kao što je polistiren), što rezultira slabim miješanjem i niskim udjelom bioplina te pojavi flotacije.

Proizvođači AD procesa imaju različite pristupe:

- pri projektiranju procesa predobrade otpada prije procesa anaerobne digestije;
- pri projektiranju i optimiziranju prinosa bioplina i minimiziranju vremena dozrijevanja,
- pri projektiranju sustava pročišćavanja bioplina

Posljedica toga je prisutnost velikog broja AD procesa koji se mogu ugraditi u određeno MBO postrojenje.

Učinkovitost i stabilnost procesa digestije variraju ovisno o tipu digestora i parametrima procesa. Tipovi digestora mogu varirati od jednostavnih cilindričnih sa fiksnim dijelovima do potpuno automatiziranih industrijskih postrojenja. Pri izradi projektnih rješenja za ova postrojenja moraju se razmotriti kapacitet, vertikalna i horizontalna orijentacija, šaržni i kontinuirani tijekom ukupnog krutog sadržaja, broj komora/faza, miješanje i predobrada. Većina digestora projektirani su na način da bi se optimizirali procesi koji variraju vezano za specifične geografske lokacije, tipove otpada i druge komponente.

Bioplin nastao AD procesom se pročišćava kako bi se smanjio udio vlage i uklonio H₂S, te se nakon toga tlači i injektira u plinske motore za proizvodnju električne energije. Osim toga, neka od MBO postrojenja su dizajnirana tako da se iz sustava hlađenja plinskih motora generira i toplina.

D) AD sustavi s obzirom na temperaturno područje vođenja procesa

S obzirom na temperaturno područje u kojemu se proces odvija, procesi anaerobne digestije se mogu podijeliti na:

- „mezofilni“ AD-procesi
- „termofilni“ AD-procesi

Neki AD procesi su projektirani tako da u sebi kombiniraju kratke periode digestije s post-digestijskom fazom aerobne obrade. U dodatnoj aerobnoj fazi otpad se razlaže potpunije, pri čemu nastaje kruti produkt s relativno niskim sadržajem organskih tvari. Nakon završetka obrade može se u slučaju da zadovoljava parametre za upotrebu u poljoprivredi koristiti i kao pobojšivač tla. Eventualni problemi mogu se javiti u samom sastavu, vezano uz prisustvo metala i nečistoća.

4. PRODUKTI OBRADJE KOMUNALNOG OTPADA TEHNOLOGIJAMA MEHANIČKO-BIOLOŠKE OBRADJE I NJIHOVA UPOTREBA

Upotreba proizvoda i nusproizvoda MBO obrade komunalnog otpada, dana je u skupnom prikazu u tablici 1.

Tablica 1.

Skupni prikaz područja primjene produkata nastalih MBO obradom komunalnog otpada

Izlazni produkt	Primjena
KOMPOST	U šumarstvu Za poboljšanje kvalitete zemljišta Za poboljšanje kvalitete pašnjaka U vrtovima Na onečišćenoj zemlji
KRUTO GORIVO	Gorivo za direktno spaljivanje Gorivo za indirektno spaljivanje Sekundarno gorivo u cementarama Sekundarno gorivo za parne kotlove Gorivo za energane
BIOPLIN	Proizvodnja električne energije i topline Miješanje s plinom nastalim na odlagalištima Proizvodnja plina
OSTATAK ZA ODLAGANJE	Biostabilizirani ostatak prikladan za odlaganje na odlagalištima, prema važećim EU direktivama

4.1. KOMPOST

Veliki broj MBO procesa kao izlazni produkt ima kompost ili poboljšivač tla (u stranoj literaturi poznat pod akronimom - CLO (eng. compost like output)). Mišljenja glede upotrebe CLO-a se razlikuju: može li se on koristiti kao kompost na poljoprivrednom zemljištu ili je njegova upotreba strogo ograničena na primjenu na kontaminiranom zemljištu. Istraživanja su pokazala da se vrlo male količine produkata MBO procesa koriste kao visoko kvalitetni kompost. Osnovni problem leži u prisutnosti mehaničkih nečistoća ili teških metala, koje se u njemu mogu naći, što bitno ograničava njegovu upotrebu, a samim tim i tržišnu vrijednost.

4.2. GORIVO IZ OTPADA

Gorivo dobiveno MBO procesom za konkurenciju na tržištu ima i druga goriva, kao što su goriva dobivena iz otpada (gume, ambalažni materijali i sl.), uobičajena fosilna goriva, biomasa i sl. Osim toga ovaj tip goriva se takmiči i s drugim oblicima obnovljive energije (vjetro-energija, solarna energije i sl.) te nuklearnom energijom.

S obzirom na to, u daljnjem tekstu će biti nešto riječi o prednostima i nedostacima goriva dobivenog MBO procesom, kako s tehnološkog tako i sa sociološkog, strateškog, ekološkog i ekonomskog stajališta.

Gorivo dobiveno MBO procesom je neatraktivno:

- zbog višeg stupanja heterogenosti u odnosu na druge vrste goriva, što za posljedicu ima neujednačena svojstva (kalorijska vrijednost i dr.);
- zbog činjenice da njegovo spaljivanje spada u područje zakonskih direktiva koje se odnose na spaljivanje otpada, što zahtjeva posjedovanje određenih dozvola za rad, potencijalne modifikacije na postrojenjima za spaljivanje, te visok stupanj praćenja stanja i utjecaja na okoliš (monitoring);
- jer su u slučajevima kada je spaljivanje moguće količine koje se mogu spaljivati bez stvaranja tehničkih problema ograničene, čime se reducira i korist od spaljivanja;
- jer upotreba goriva dobivenih iz otpada može naići na snažan otpor zajednice i utjecati na pogoršanje odnos u zajednici;
- zbog sadržaja teških metala, što utječe na okoliš;
- jer njegova upotreba povećava kapitalna ulaganja za pripremu goriva i praćenje emisija; te
- zbog mogućnosti daljnje razgradnje za vrijeme duljeg perioda skladištenja što može dovesti do stvaranja smrada i drugih problema

Gorivo dobiveno MBO procesom je atraktivno jer:

- je jeftino, dostupno po niskoj, nultoj ili negativnoj cijeni, značajno reducira ulazne troškove za cementne peći i električne centrale;

- je opskrba gorivom pouzdana, gorivo je dostupno dulji vremenski period po stabilnoj cijeni čime se smanjuje nesigurnost glede cijene goriva za električne centrale; nije sezonsko kao neka bio-goriva, i ne varira kao solarna energija, vjetro-energija i sl.;
- ima stratešku vrijednost, njegova prisutnost smanjuje ovisnost zemlje o uvoznom gorivu;
- ono sve više potiskuje fosilna goriva smanjujući emisiju stakleničkih plinova;
- je s obzirom na kalorijsku vrijednost znatno atraktivnije od ostalih goriva s visokim udjelom biomase.

4.2.1. Mogućnosti primjene goriva nastalog MBO procesom

Ono se može koristiti kao:

- gorivo za energane;
- gorivo za cementne peći;
- gorivo za druge izvore energije (npr. industrijski kotlovi, peći za spaljivanje otpada);
- gorivo za uređaje za posebne namijene i sl.

Kod spaljivanja u energanama, potencijalni benefiti za industriju od upotrebe SRF a su:

- reduciranje troškova za gorivo;
- potencijalni prihodi od trgovanja emisijama
- zadovoljavanje obveza vezanih uz obnovljive izvore energije

Trenutno su inicijative Vlada europskih zemalja nedovoljne da navedu operatore da spaljuju SRF, zbog visokih tehničkih zahtjeva vezanih uz upotrebu SRF-a (omjer rizik/naknada nije povoljan za energane). Tako da je za sada prisutno svega nekoliko primjera energana (Njemačka, Italija) u kojima se spaljuje SRF.

4.2.2. Upotreba goriva dobivenog MBO tehnologijom u cementnim pećima

Zamjena skupog fosilnog goriva gorivom dobivenim iz otpada, čime se utječe na „gate fee“ (odnosno postiže smanjenje troškova), ne dovodi samo do smanjenja ulaznih troškova, već ujedno pomaže pri odrađivanju obveza vezanih uz klimatske promjene.

Također, otvara se i mogućnost za „trgovanje emisijama“ čime se dostiže vrlo dobra cijena GIO (SRF-a).

Tehnički zahtjevi glede spaljivanja GIO-a u cementnim pećima su znatno manji nego što je to slučaj sa spaljivanjem u energanama. U ovom slučaju nema ostatka u obliku pepela, dok se anorganske tvari ugrađuju u konačni proizvod - cement.

Upotreba goriva dobivenog MBO tehnologijom za druge izvore energije kao što su industrijski kotlovi još uvijek nije čest slučaj. Primjerice, na području Ujedinjenog kraljevstva zabilježeno 250 postrojenja s industrijskim kotlovima koji bi potencijalno mogli koristiti SRF kao gorivo, ali ga ne koriste. Očekuje se da će u kratkom vremenu nekolicina od njih 250 ozbiljno razmotriti mogućnost upotreba SRF-a. Trenutno je omjer rizik/naknada još uvijek neatraktivan za industriju.

4.2.3. Upotreba goriva dobivenog MBO tehnologijom u uređajima za posebne namjene

S obzirom na nesigurnost osiguravanja konačnih korisnika goriva dobivenog MBO tehnologijom, jedna od opcija proizvođača MBO postrojenja je inkorporiranje posebnih jedinica za spaljivanje gorivih komponenata nastalih preradim otpada u MBO postrojenju. Takve jedinice za spaljivanje mogu biti smještene unutar MBO postrojenja ili izvan njega. Primjerice, nekoliko MBO postrojenja mogu puniti jednu centralnu jedinicu za spaljivanje. Ta jedinica za spaljivanje može raditi na principu već dokazane tehnologije spaljivanja (jedinica s izgaranjem u fluidiziranom sloju) ili manje poznata tehnologija gasifikacije.

Karakteristike ovog pristupa su slijedeće:

- uklanjaju se rizici vezani uz tržište;
- reducira se stupanj termičke obrade otpada;
- spaljivanje je s ekonomskog aspekta manje isplativo nego u slučaju klasične spalionice;
- potencijalno veća reakcija zajednice, mogućnost protivljenja zbog termičkih elemenata.

4.3. BIOPLIN

Proizvodnja bioplina koji sadrži između 50 i 70% metana predstavlja najbitniji aspekt AD procesa. Bioplin se sastoji uglavnom od metana i CO₂ uključujući i tragove drugih plinova. Prije no što se počne koristiti za proizvodnju električne energije, iz bioplina se moraju ukloniti vodena para i sumporovodik kako bi se pogon zaštitio od korozije. Također se najčešće uklanja i amonijak. Plin koji se dobije nakon pročišćavanja je mješavina metana i CO₂ i može se direktno koristiti kao gorivo u pogonima za dobivanje električne energije koji su projektirani tako da koriste da plin niske toplinske vrijednosti. Toplinska vrijednost plina direktno je proporcionalna postotnom udjelu metana.

Sljedeća tablica pokazuje ekvivalente goriva za bioplin, koji se rezultat anaerobne digestije otrilike 1 tone otpada:

Tablica 2. Ekvivalenti goriva prema bioplinu nastalom iz 1t obrađenog komunalnog otpada

benzin	61 litra
(drveni) ugljen	90 kg
struja	170 kWh
toplina	250 kWh
CHP – struja i toplina	170 kWh + 250 kWh

Proizvodnja bioplina predstavlja najznačajniju prednost AD sustava nad kompostiranjem. Između 70% i 80% energetskog sadržaja inicijalnih organskih spojeva sačuvano je u metanu.

Tablica 3.

Tipičan sastav bioplina dobivenog anaerobnom obradom komunalnog otpada (Potočnik)

Metan (CH ₄)	55 – 70 %
Ugljični-dioksid (CO ₂)	44 – 27 %
Vodik (H ₂)	< 1 %
Sumporovodik (H ₂ S)	< 3 %
Cl i slično	u ppm. udjelima

4.4. MATERIJALI ZA RECIKLIRANJE

4.4.1. Papir i karton

Glavne prednosti papira i kartona kao materijala je u tome što su načinjeni od prirodnih, zatim obnovljivih izvora sirovina, lagani su, jednostavni za transport, pogodni za recikliranje i uporabu, te u konačnici biorazgradivi i mogu se kompostirati.

Nedostaci su izvor sirovine (drveće) te proces koji troši puno energije i vode. Iako recikliranje troši znatno manje energije i vode, poteškoće stvaraju dodaci (boje, lakovi, ljepila, plastične naljepnice...) kao i neki od tzv. posebnih papira (impregnirani, plastificirani, lakirani, obloženi aluminijskom folijom). Tako je naprimjer, gotovo nemoguće reciklirati valoviti karton koji je bio presvučen plastičnim slojem. Nadalje, vlakna se skraćuju i uništavaju pri svakom ciklusu, što smanjuje kvalitetu proizvoda ili zahtijeva više materijala ili dodatke kako bi se dostigla kvaliteta proizvoda od izvornog materijala.

Smatra se da kod nas na papir otpada više od 25% sveukupnog komunalnog otpada. Stupanj reciklaže u razvijenim zemljama kreće se od 20-35%.

Spaljivanje otpadnog papira izuzetno je nepovoljno s ekološkog stajališta jer se zrak onečišćuje olovom, klorom, ugljičnim dioksidom, dušikovim oksidima i sličnim spojevima, štetnim po okoliš.

4.4.2. Staklo

Proizvodnja stakla se temelji na dvije činjenice: sirovini koje u prirodi ima u izobilju i znatnoj potrošnji energije u proizvodnji. Važna osobina stakla (staklene ambalaže) je težina i to tokom proizvodnje, korištenja i kod odlaganja kao opterećenje okoliša. Industrija se intenzivno bavila ovim problemom te je u 10 godina težina 1/2 litarske staklenke smanjena s 255 na 177g (31%), što je, uz proporcionalnu uštedu energije u proizvodnju i mogućnost recikliranja dovelo do toga da je staklo postalo dominantni ambalažni materijal u industriji pića i ponovnoj upotrebi.

Trend posljednjih godina je bila sve veća upotreba PET boca i aluminijskih i čeličnih limenki, ali ponovo dolazi do promjena i jačanja „imagea“ industrije stakla u očima potrošača jer jedino staklena ambalaža može biti povratna i laku je je reciklirati. Skupljanje, ponovno korištenje i recikliranje stakla je najstarije i najbolje organizirano.

Glavni problemi su sortiranje, rizik od zaraze i neekonomičnost skupljanja u područjima s malom gustoćom stanovništva. Također, sa stanovišta recikliranja i tržišta sekundarnih sirovina, trenutno postoji višak otpadnog stakla kojeg industrija stakla ne može iskoristiti te se traži upotreba u drugim sektorima poput građevinske industrije.

Količine stakla u ulaznom otpadu u MBO postrojenje u većini EU zemalja također ovise o prethodnom stupnju separacije iz sirovoga otpada. Većina EU zemalja posjeduje tzv. „Banke staklenog otpada/boca“ (*engl.* Bottle banks) ili otkupne stanice, te je povrat stakla iz otpada, kao sekundarne sirovine vrlo visok.

4.4.3. Kovine

Željezo

Miješanjem strugotine i izvornog čelika može se reducirati potrošena energija za više od 50%. Čelična industrija bilježi dugu povijest recikliranja iako se recikliranje čeličnih limenki tek nedavno razvilo. Recikliranje limenki također nije tako poželjno kao recikliranje čeličnih strugotina iz drugih izvora jer je materijal korištenih limenki često zagađen limenim ili kromiranim slojem.

Magnetska svojstva čelika olakšavaju njegovo odvajanje od ostatka otpada, posebice od aluminijskih limenki iz industrije pića. Recikliranje čeličnih limenki sada rapidno raste jer je unaprijeđena infrastruktura za njihovo sakupljanje. Glavni nedostatak čelika je, kao i kod stakla, njegova težina. Recikliranje čeličnih limenki nije toliko financijski isplativo kao, primjerice, recikliranje aluminija.

Aluminij

Kako je proizvodnja aluminija iz boksita energetski izuzetno zahtjevan proces, a aluminij ne gubi svojstva, znači pogodan je za recikliranje 100% (tj. ambalaža može biti načinjena u potpunosti od recikliranog materijala, za razliku od papira i plastike). To

teoretski omogućuje zatvoreni lanac u kojem se korišteni proizvodi od aluminija (najčešće ambalaža) neprestano reciklira. Stoga je recikliranje aluminija samofinancirajuće i najčešće nema vladinih subvencija (npr. SAD, gdje su limenke od pića najčešće reciklirana ambalaža).

Postotak izdvojenog metala iz postrojenja za MBO znatno se povećava ako postoji dodatni stupanj separacije (sekundarni). Kvalitet izdvojenog metala je zadovoljavajući a u usporedbi s incineratorom znatno viši i manje kontaminiran, a i sam proces izdvajanja je jeftiniji (neke spalione imaju dodatno postrojenje za razdvajanje pepela od metala. U udjelu, više je izdvojenog metala u MBO nego u spalionicama gdje se npr. lim otopi.

Količine metala u otpadu koji se unosi u MBO proces u većini EU zemalja je uglavnom ovisan o prethodnom stupnju separacije sirovoga otpada. U pojedinim EU zemljama, gdje je proces separacija metala prije obrade otpada dobro osmišljen, udio metala u ulaznom otpadu je relativno nizak.

4.4.4. Plastika

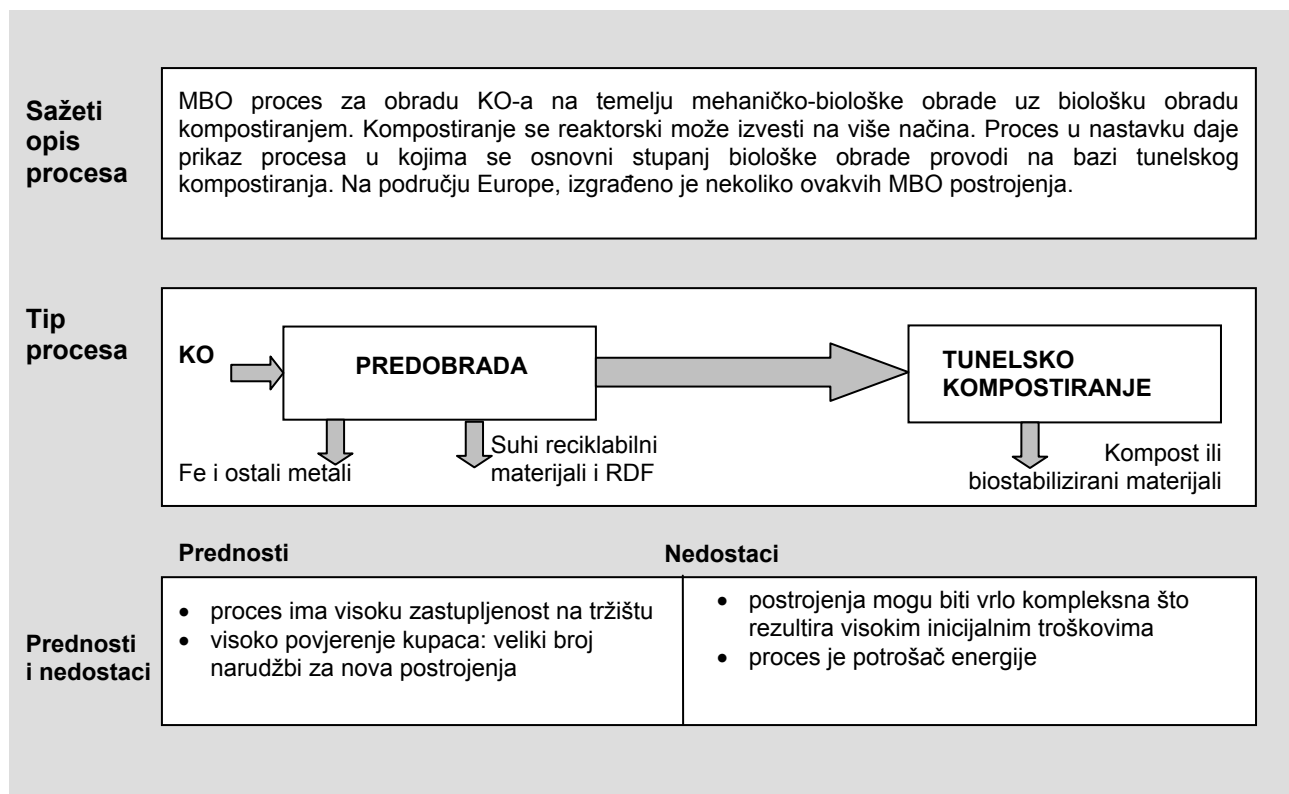
Prednosti koje nudi plastika kao ambalažni materijal su njezina relativno mala težina i brojne mogućnosti oblikovanja. To značajno pridonosi smanjivanju okolišnih opterećenja koja nastaju prilikom transporta i manipulacije, a također reducira i iskorištavanje prirodnih izvora. Povrh svega, plastika među ostalim ambalažnim materijalima ima najveće mogućnosti korištenja, a istodobno je okolišno prihvatljiva. Do nedavno, recikliranje otpadne plastike gotovo i nije postojalo, pa je većina završavala na odlagalištima. To se kosi s činjenicom da je većina plastične ambalaže proizvedena od termoplastičnih materijala koji mogu biti topljeni i ponovno oblikovani.

Mnogi proizvođači aktivno su uključeni u uspostavljanje centara za recikliranje i u proizvodnju raznih vrsta plastike od recikliranih polimera. U isto vrijeme, na tržištu se bilježi porast novih aplikacija prerađenih plastičnih materijala. Iako plastika nije idealan materijal za recikliranje, ona, kao organski hidrokarbon, posjeduje značajnu prednost kod uporabe. Kada je nepraktično ili ekološki neprihvatljivo reciklirati plastiku, dostupne su opcije uporabe iz otpadne plastike putem spaljivanja.

Procesi separacije plastike na mjestu njezina nastajanja (industrija, ambalažni materijali, domaćinstvo i sl.) u većini zemalja EU se provodi dugi niz godina i već je dobro uhodan proces, međutim količine plastike u komunalnom otpadu koji se prerađuje u MBO postrojenjima još uvijek mogu biti relativno visoke. U Hrvatskoj se početkom 2006. počeo provoditi Pravilnik o ambalaži i ambalažnom otpadu (NN 97/05, 115/05), čime je počelo organizirano prikupljanje, prije svega PET ambalaže. Prema dostupnim informacijama, izdvajanje PET ambalaže teče vrlo uspješno, pa se može očekivati vrlo mali udio PET-a unutar mješanog komunalnog otpada.

5. OSNOVNI TIPOVI MBO POSTROJENJA U KOMERCIJALNOJ IZVEDBI

5.1. MBO PROCES S PROIZVODNJOM KOMPOSTA



Slika 6. MBO proces sa kompostiranjem

Opis procesa

Mehanička predobrada

Na slici 6. shematski je prikazan proces obrade otpada u postrojenju sa biološkom obradom biorazgradive frakcije otpada procesom kompostiranja. Prikazani proces se bazira na mehaničkoj predobradi otpada tijekom koje se provodi separacija otpada u cilju proizvodnje tržišno interesantnih proizvoda. Ovaj tip postrojenja posjeduje određenu fleksibilnosti glede optimizacije različitih izlaznih proizvoda, odnosno moguće je obradu podešavati s obzirom na trenutne zahtjeve tržišta.

Po dolasku KO-a u postrojenje, KO najprije podliježe inspekcijom pregledu pri čemu se uklanjaju preveliki i ostali neženjeni komadi otpada koji se zatim šalju na odlagališta. Preostali otpad se zatim usitnjava te prosijava na situ veličine očica 220 mm. Frakcija

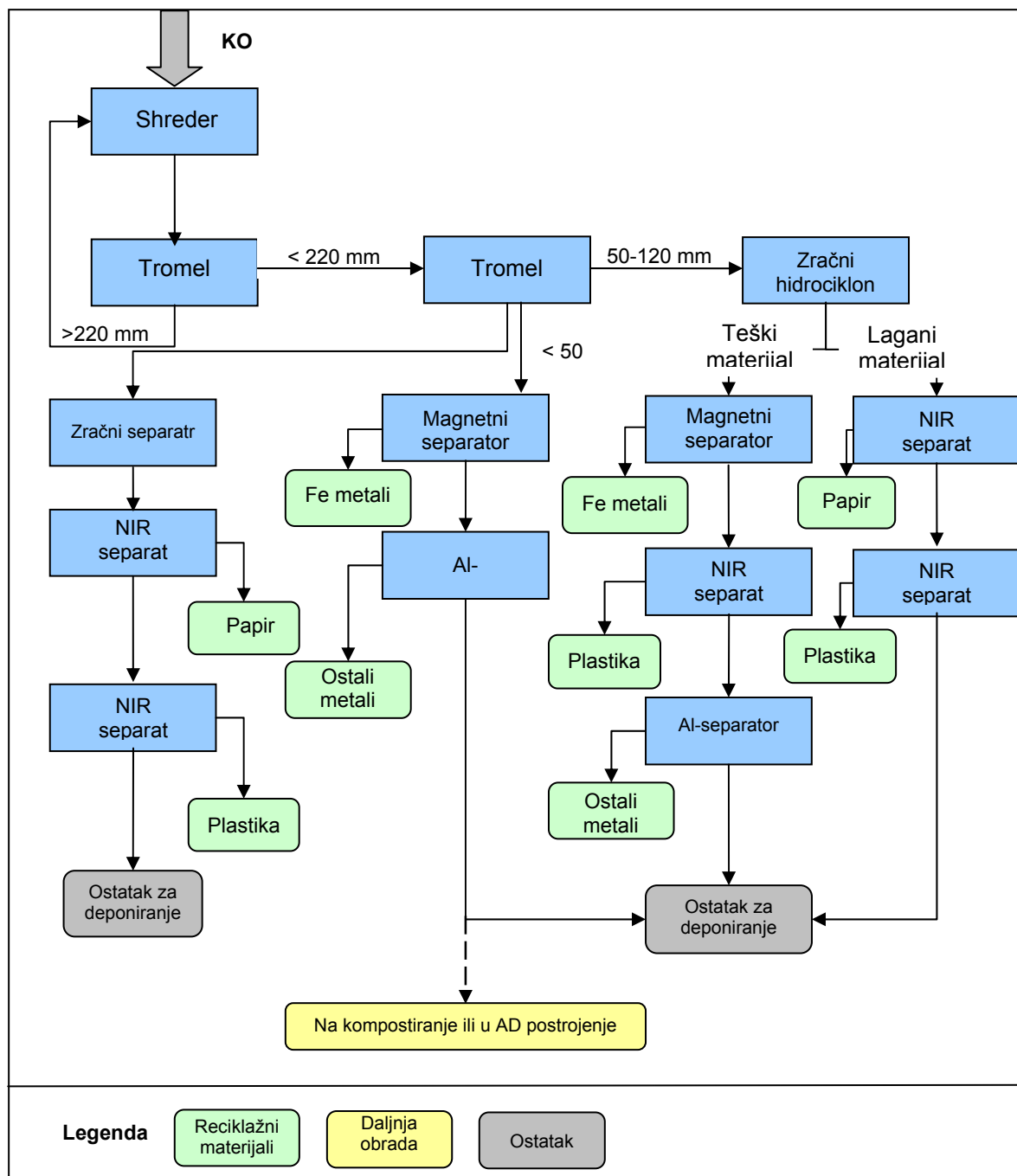
veličine čestica >200 mm šalje se nazad u halu za zaprimanje otpada, dok se frakcija veličine čestica < 220 mm prosijava na tromelu koji otpad separira u tri zasebne frakcije.

Prva frakcija koja sadrži najsitnije čestice (< 50 mm) šalje se na elektromagnetski i Al-separator kako bi se izdvojili Fe-metali i ostali metali, a preostali materijal se šalje u skladište kao ulazna masa za postrojenje u kojem se odvija digestija.

Druga frakcija koja sadrži čestice srednje veličine (50-120 mm) odvodi se u zračni separator iz kojeg izlaze laka i teška frakcija. Laka frakcija se dalje propušta kroz infracrvene separatore (*eng.*NIR) pri čemu se izdvajaju laka plastika i papir, dok se zaostali materijal šalje na odlagališta.

Treća frakcija koja sadrži najveće čestice (120-220 mm) odvede se na NIR separatore, pri čemu se izdvajaju papir i plastika, dok se zaostali materijal šalje na odlagališta.

U nastavku je dan shematski prikaz procesa obrade otpada u MBO postrojenju s kompostiranjem.



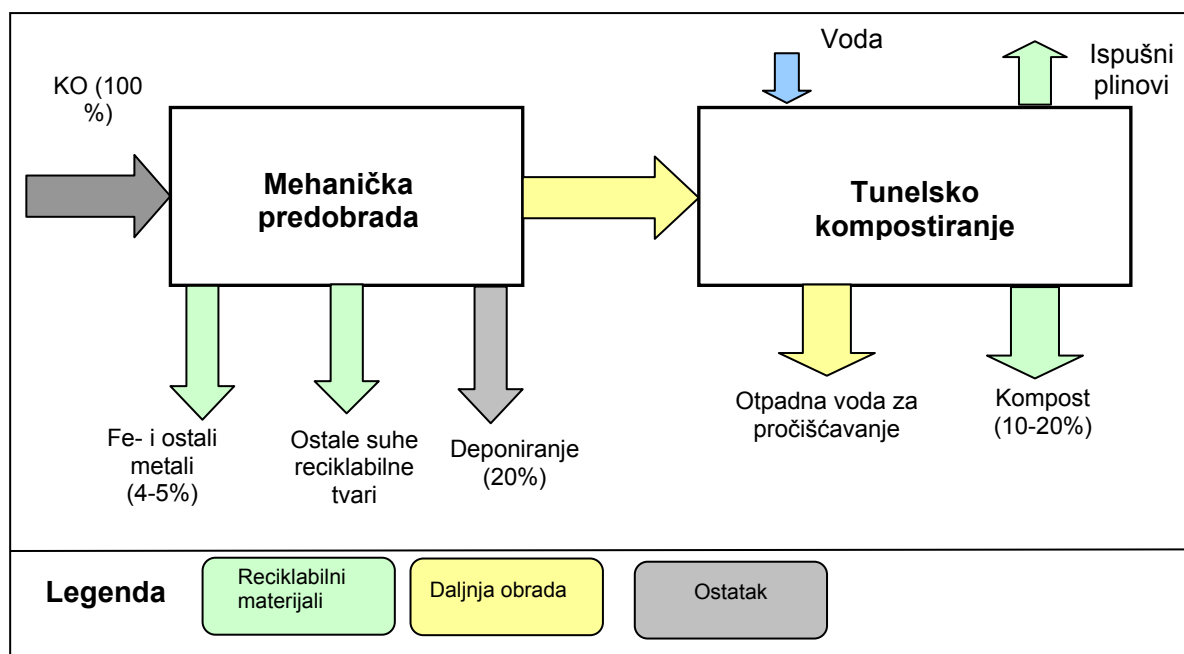
Slika 7. Shematski prikaz procesa obrade otpada u MBO postrojenju s kompostiranjem

Proces tunelskog kompostiranja

U postrojenjima za tretiranje KO-a, fina frakcija nastala prethodnom predobradom otpada šalje se na kompostiranje. Ukupno vrijeme kompostiranja kreće se od 4-7 tjedana. Za vrijeme kompostiranja, otpad se preokreće dva puta, kako bi se pospješio proces razgradnje te postigla maksimalna temperatura procesa od 70°C. Ovim procesom nastali biostabilizirani materijal, iz tunela se dalje šalje na rafiniranje kako bi se uklonio inertan materijal (staklo, kamenje, te glomazni komadi) koji se šalje na odlagališta. Pročišćeni biostabilizirani materijal se pohranjuje (otkriveno ili djelomično pokriveno) na određeno vrijeme prije nego započne s njegova upotreba.

Performanse procesa

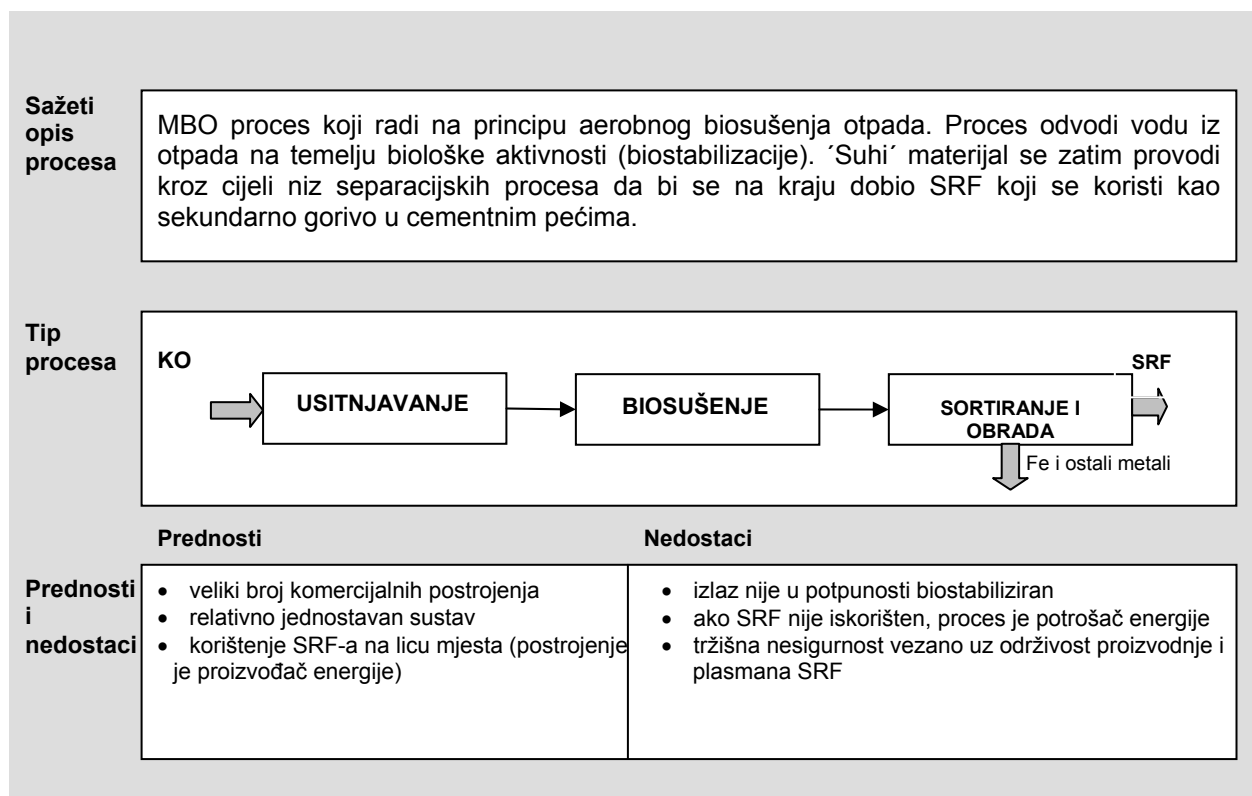
Masena bilanca tipičnog MBO postrojenja u kojemu se biološka obrada otpada vrši kompostiranjem prikazana je na slici 8.



Slika 8. Masena bilanca MBO procesa s kompostiranjem kao biološkom obradom

5.2. MBO PROCES S BIOSUŠENJEM

Aerobni MBO proces proizvodnje SRF-a



Slika 9. MBO proces s biosušenjem

Opis procesa

Komunalni kruti otpad (*engl.* MSW) koji ulazi u MBO proces najprije se šalje u prijemnu jamu iz koje se otpadni materijal kranovima odnosi do shredera, odnosno drobilica na usitnjavanje. Tako nastali usitnjeni otpad, veličine čestica od 200 do 300 mm, odvodi se u jamu za pohranu otpada iz koje se pomoću kranova odvedu u sekciju obrade otpada biosušenjem.

Proces obrade otpada bio-sušanjem odvija se u zatvorenim halama na čijem se perforiranom podu nalaze otvori za zrak, preko kojih se postavlja otpad do visine 5 metara. Pri tome se prisilan protok zraka kroz sloj otpada, osigurava usisavanjem zraka kroz spomenute podne otvore. Isisani zrak se zatim odvedu centralnim cjevovodom do bio-filtera na obradu.

Otpad u ćeliji za biosušenje ostaje oko 14 dana, pri čemu se temperatura procesa biosušenja od 55-70°C, održava najmanje 3 dana. Gubitak mase tijekom biosušenja iznosi 20 - 28%.

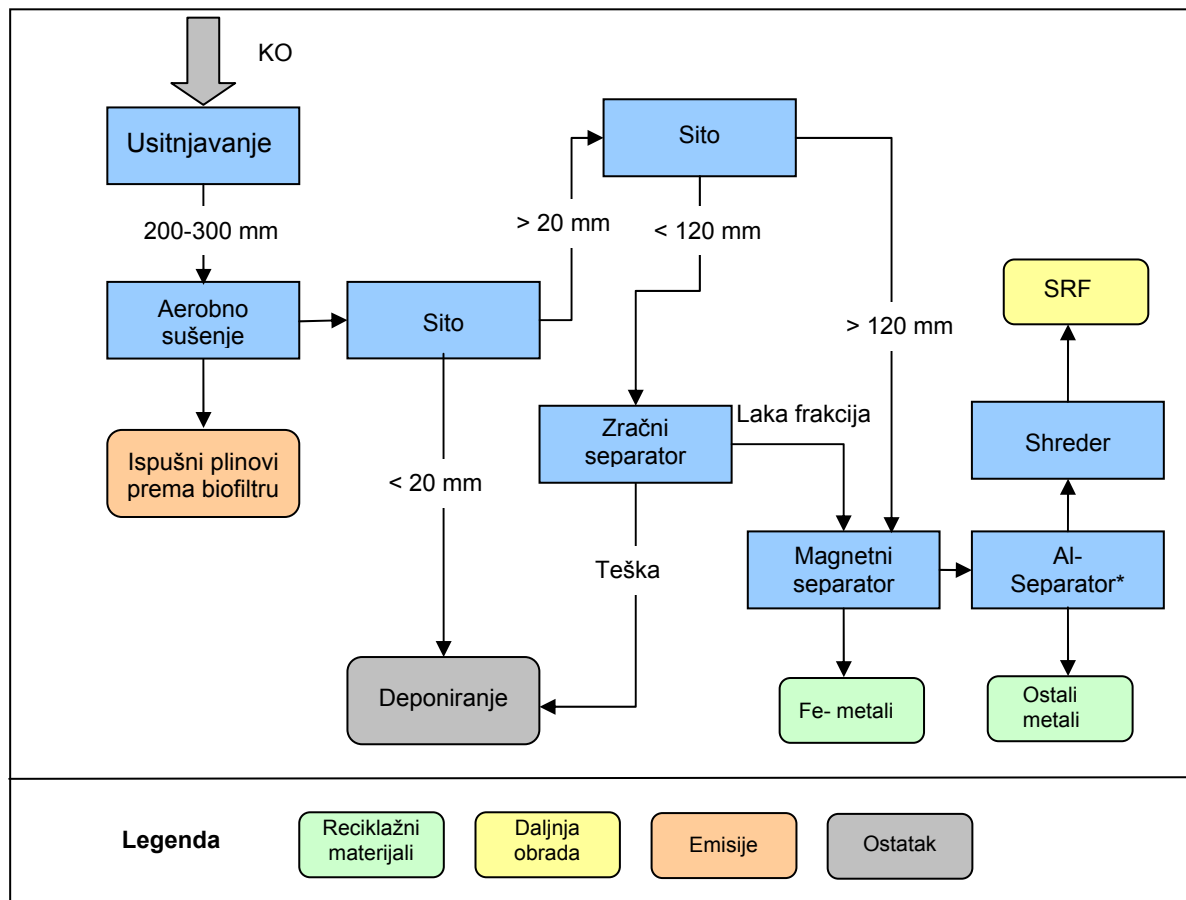
Nakon završetka procesa biosušenja, otpad se putem kranova odvodi preko lijevka za punjenje u dio procesa u kojem se provodi rafiniranje otpada. U postrojenjima gdje se SRF koristi za cementne peći, iz materijala nastalog procesom biosušenja najprije se uklanjaju čestice < 20 mm. Ta se frakcija koja sadrži puno inertnog materijala i pozamašan udio teških metala šalje na odlagališta.

Frakcija u kojoj se nalaze čestice > 20 mm (odnosno od 20 -300 mm) usitnjava se do veličine čestica od 120 m. Materijal čija je veličina čestica manja od 120 mm prolazi kroz zračni separator za odvajanje lake plastike i papira, dok se teški metali separirani u ovom koraku šalju na odlagališta.

Preostala mješavina otpada zatim prolazi kroz elektromagnetski (Fe) separator te separator nemagnetskih metala (Eddy-current) te se nakon toga šalje na usitnjavanje kako bi se veličina čestica reducirala na 30-50 mm, čime nastaje SRF prikladan za upotrebu u cementnim pećima i kotlovima s izgaranjem u fluidiziranom sloju.

Prema podacima dobivenim od proizvođača, prinos SRF-a se kreće oko 50 % (maseni udio) od ukupnog ulaza u MBO postrojenje.

Shematski prikaz MBO procesa proizvodnje SRF-a dan je u nastavku.

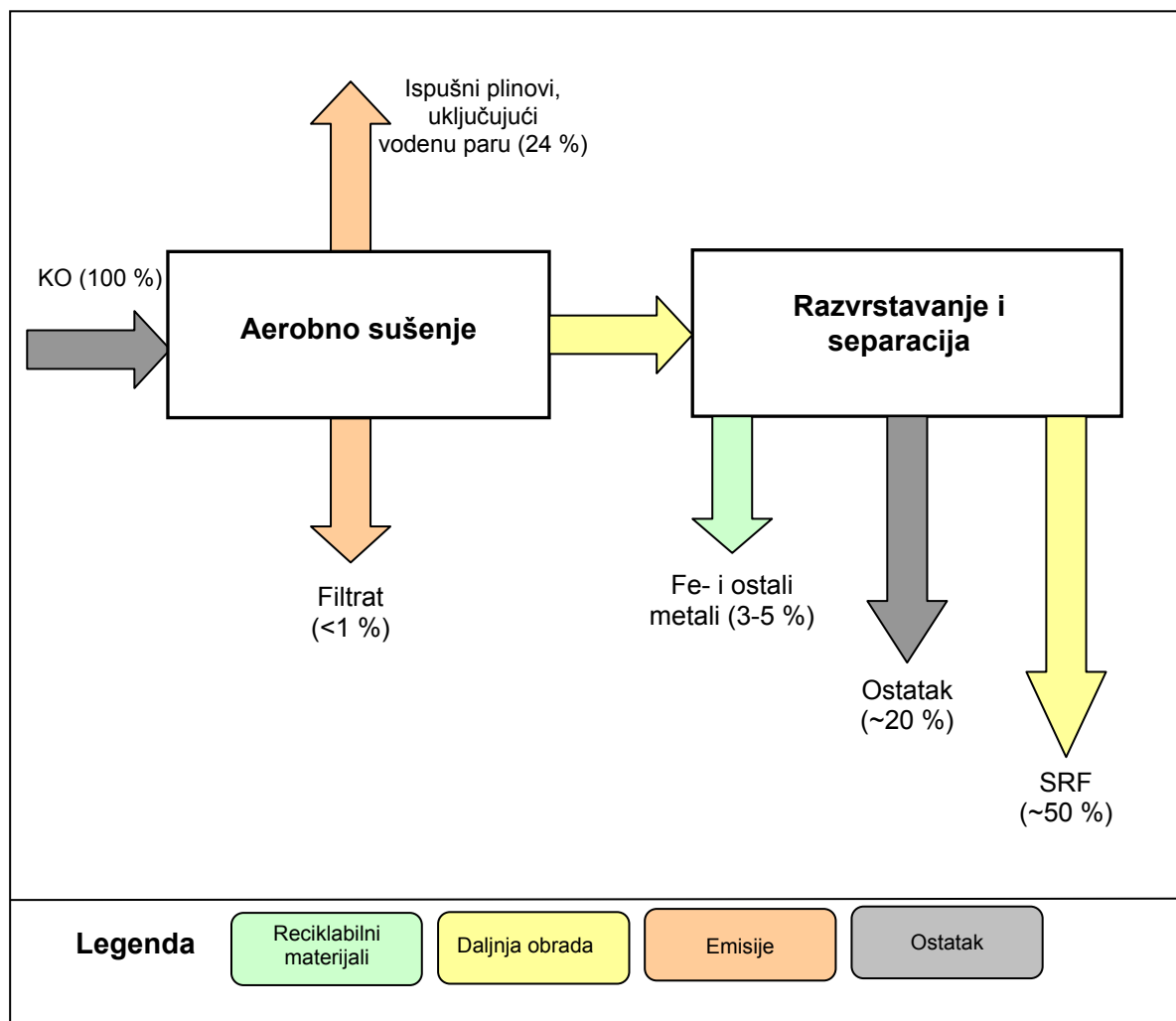


Eddy-current separator

Slika 10. Shematski prikaz tehnološkog procesa proizvodnje SRF-a

Performanse procesa

Tipični ulazni i izlazni parametri procesa bio-sušenja prikazani su na slici 11, dok su kvantitativni podaci o izlaznim materijalima koji nastaju ovakvim procesom, dani u tablici 4.



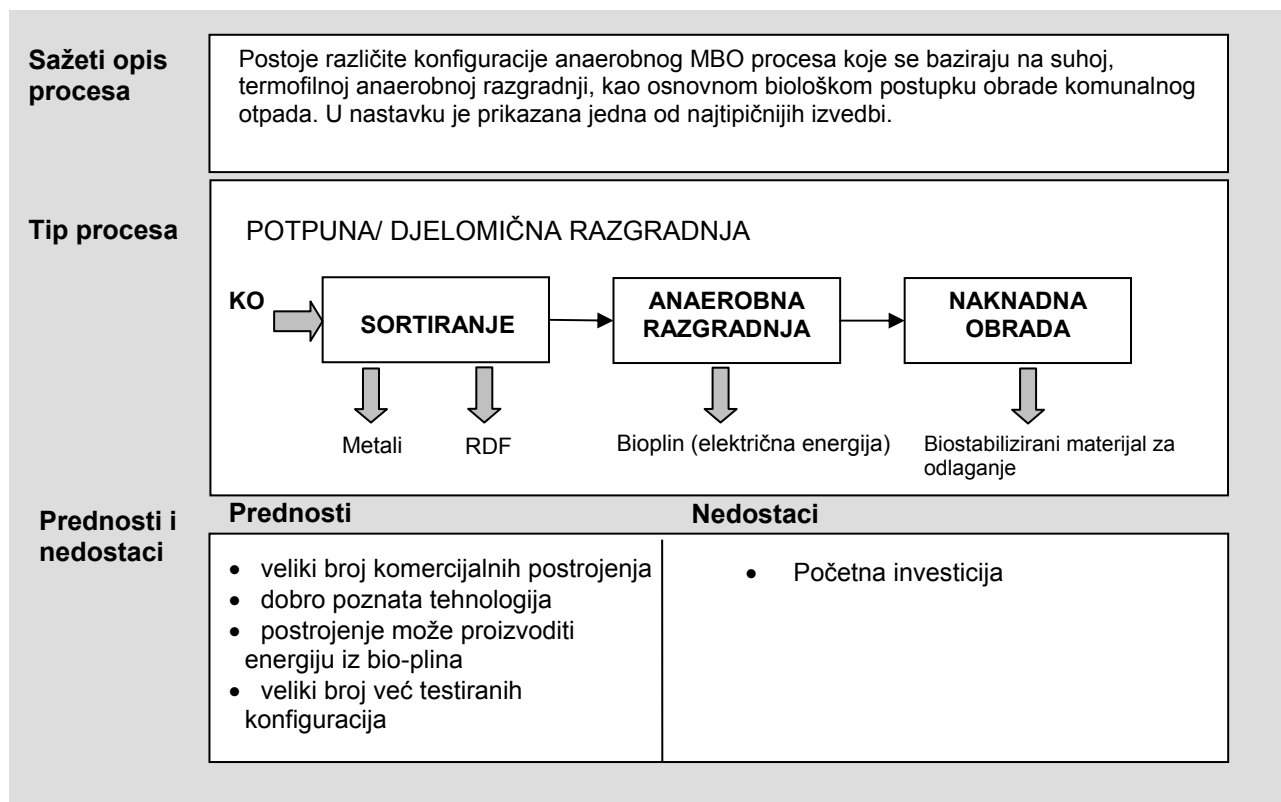
Slika 11. Masena bilanca tipičnog MBO procesa s biosušenjem

Produkti	T / god	Primjena
SRF	c. 30,000	koristi se kao gorivo u cementnim pećima i kotlovima s fluidiziranim ložištem
Metali	1,800-3,000	reciklaža
Ostatak	c. 12.000	odlaganje
Plinovi	14,400	tretiraju se bio-fiterima prije ispuštanja u atmosferu
Otpadna voda	600	šalje se u postrojenje za obradu otpadne vode

Tablica 4. Produkti bazirani na masenoj bilanci za tipično postrojenje s biosušenjem

5.3. MBO PROCES S ANAEROBNOM DIGESTIJOM -SUHA JEDNOSTUPANJSKA

Anaerobni MBO proces (suhi, jedno-stupanjski, termofilni) proizvodnja bioplina i RDF-a



Slika 12. MBO proces sa suhom anaerobnom digestijom

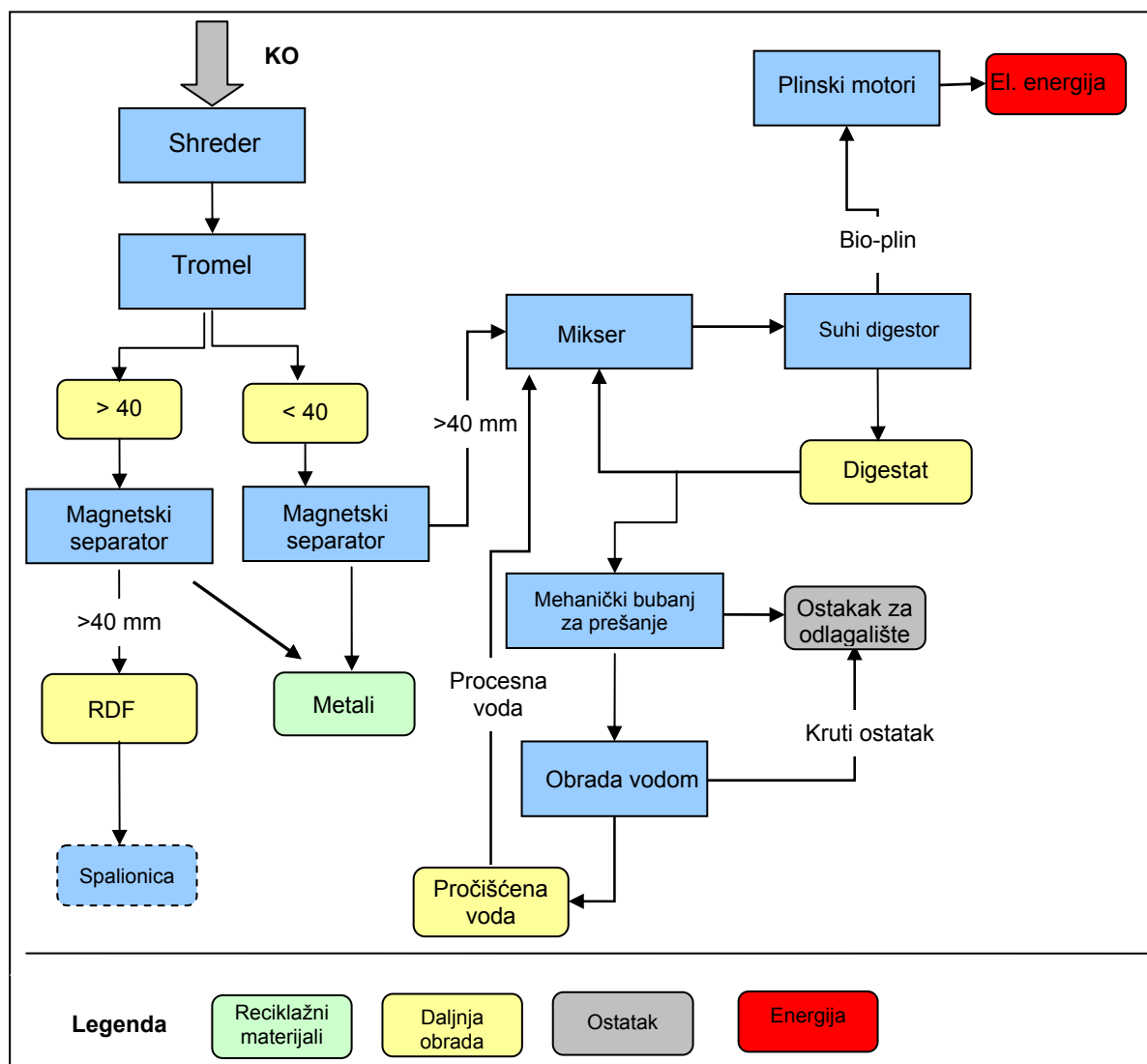
Opis procesa

Konfiguracije procesa

MBO postrojenje koje se opisuje u nastavku, predstavlja jednu od konfiguracija s potpunom razgradnjom (slika 13). Kod ovog tipa procesa cjelokupan otpad veličine čestica <40 mm (nakon uklanjanja metala) šalje se na razgradnju (digestiju). Frakcija otpada veličine čestica >40 mm koristi se kao RDF, dok se izlazni produkti razgradnje podvrgavaju procesu mehaničkog uklanjanja vode te tek nakon toga šalju na odlagališta.

Kod drugog postrojenja koje se opisuje u nastavku, proces je konfiguriran nešto drugačije, odnosno radi se o tzv. parcijalnoj razgradnji (slika 14). Kod ove konfiguracije frakcija otpada veličine čestica 40-80 mm šalju se na aerobno kompostiranje zajedno s

izlaznim digestatom nastalim procesom razgradnje frakcije veličine čestica <40 mm. Frakcija otpada veličine čestica >80 mm izdvajaju se kao RDF (za spaljivanje). Ovaj proces ne posjeduje stupanj mehaničkog uklanjanja vode.



Slika 13. MBO proces potpune anaerobne razgradnje

Anaerobna digestija (AD)

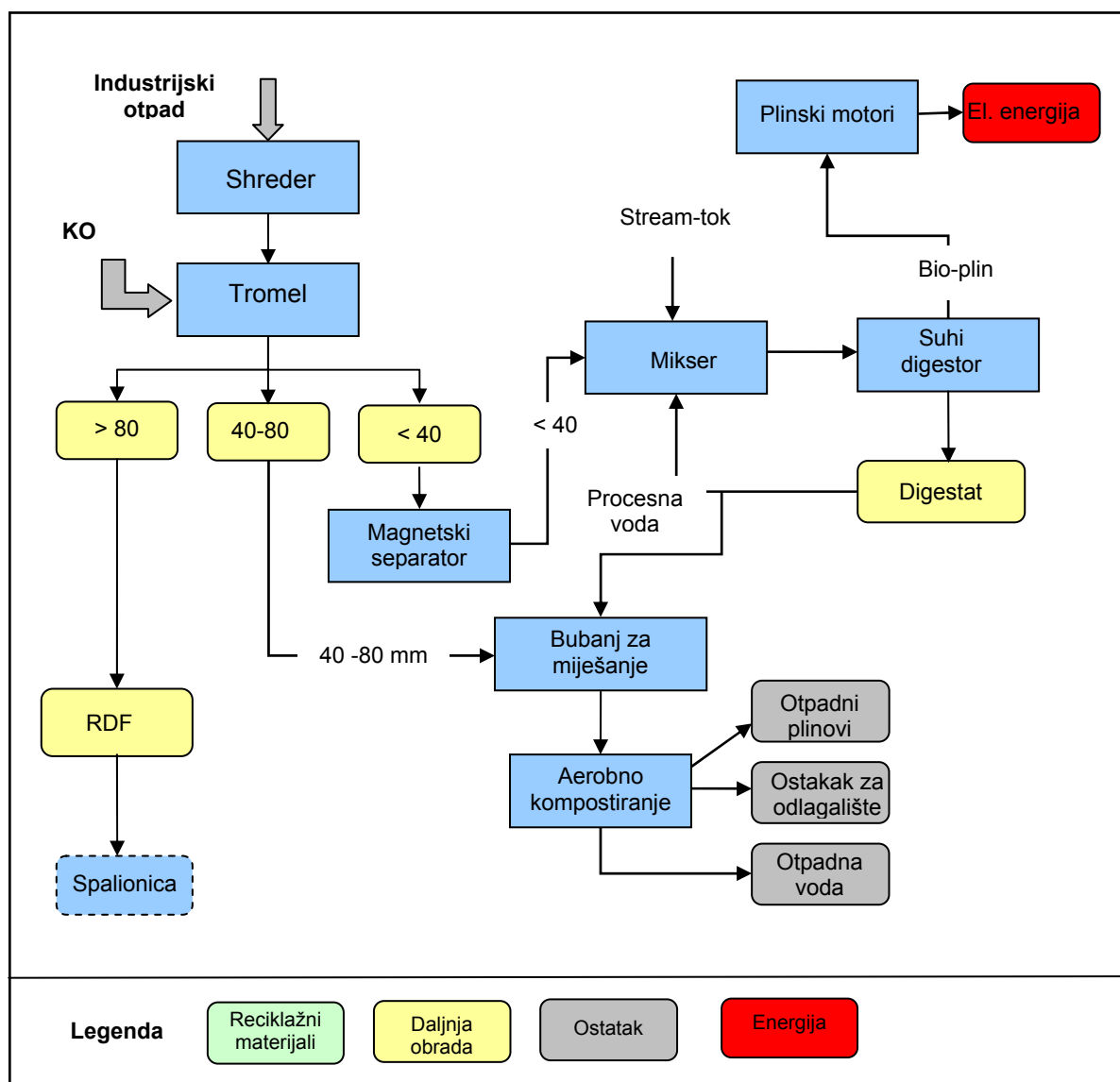
Proces se bazira na jedno-stupanjskoj anaerobnoj digestiji (razgradnji) i obično se odvija u termofilnim uvjetima (temperatura: 50-65°C).

Ovisno o proizvođaču MBO postrojenja ovakvog tipa, ulazna frakcija u AD proces je frakcija otpada definirane veličine čestica. Ta se frakcija miješa s digestatom i parom prije nego se pumpa na vrh digestora. Patentiranim preddigestijskim procesom

miješanja postiže se kontakt aktivnih anaeroba i netretiranog otpada, dok para osigurava toplinu neophodnu za odvijanje procesa u termofilnim uvjetima. Ovo miješanje je vrlo važno za MBO proces jer digestori ovakvog tipa ne posjeduju miksere (za razliku od nekih drugih konfiguracija).

Vrijeme zadržavanja ovako formirane frakcije u digestoru je 2-4 dana, no kako otpad može recirkulirati kroz proces i do 7-8 puta, ukupno vrijeme zadržavanja može iznositi oko 30 dana. Prosječna količina suhe supstance koja se dovodi u digestor je 15-40% što je znatno više nego kod mokrog sustava (obično <10%). Time se dobiva veći prinos bioplina po toni krute frakcije koja ulazi u digestor, nego kod trenutnih mokrih sustava za digestiju. Međutim treba imati na umu da je prinos bioplina ovisan i o drugim faktorima kao što su: efikasnost miješanja između netretiranog otpada i anaerobnih bakterija u digestoru, te stupanj aktivnosti anaerobnih bakterija.

Potencijalna prednost digestije s visokim udjelom suhe tvari u neizmješanom toku je izbjegavanje "taloženja" i "pjenjenja" što može utjecati i na efikasnost digestije (razgradnje).



Slika 14. MBO proces parcijalne anaerobne razgradnje

Prinos bioplina kod tehnologija sa suhom digestijom je znatno veći nego prinos kod tehnologija s mokrom digestijom, što kao konačni rezultat ima znatno veću količinu proizvedene električne energije. Međutim, prilikom uspoređivanja MBO sustava koji se baziraju na mokroj i suhoj digestiji, treba uzeti u obzir i neke druge faktore kao što su protočnost postrojenja te kapitalni troškovi.

Aerobno kompostiranje

U neke od konfiguracija uključen je i korak aerobnog kompostiranja. Kod promatranog postrojenja frakcija veličine čestica od 40-80 mm te izlazni digestat šalju se na aerobno kompostiranje u zatvorenoj hali. Kompostiranje traje od 4-5 tjedana.

Upotreba bioplina

Bioplin se prije upotrebe u energetske postrojenjima (plinski motori) filtrira i podvrgava postupku desulfoniranja upotrebom željezo klorida. Osim toga, dio bioplina se koristi i za proizvodnju struje za grijanje ulaznog toka u digestor.

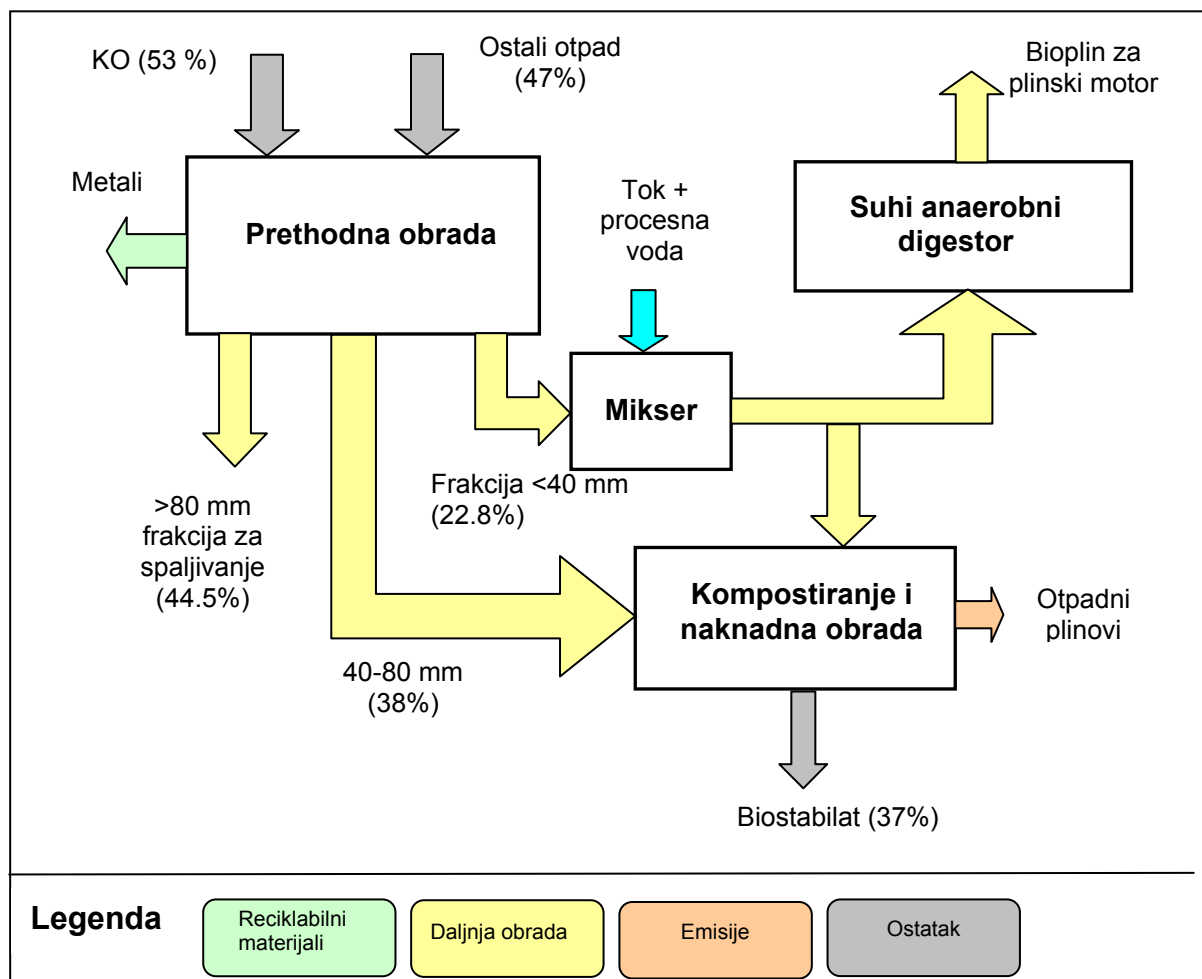
Performanse procesa

Masena bilanca anaerobnog MBO procesa s parcijalnom razgradnjom prikazana je na slici 15, dok su kvantitativni podaci o izlaznim materijalima koji nastaju u procesu, dani u tablici koja slijedi.

Tablica 5.

Produkti bazirani na bilanci tipičnog MBO postrojenja sa parcijalnom razgradnjom

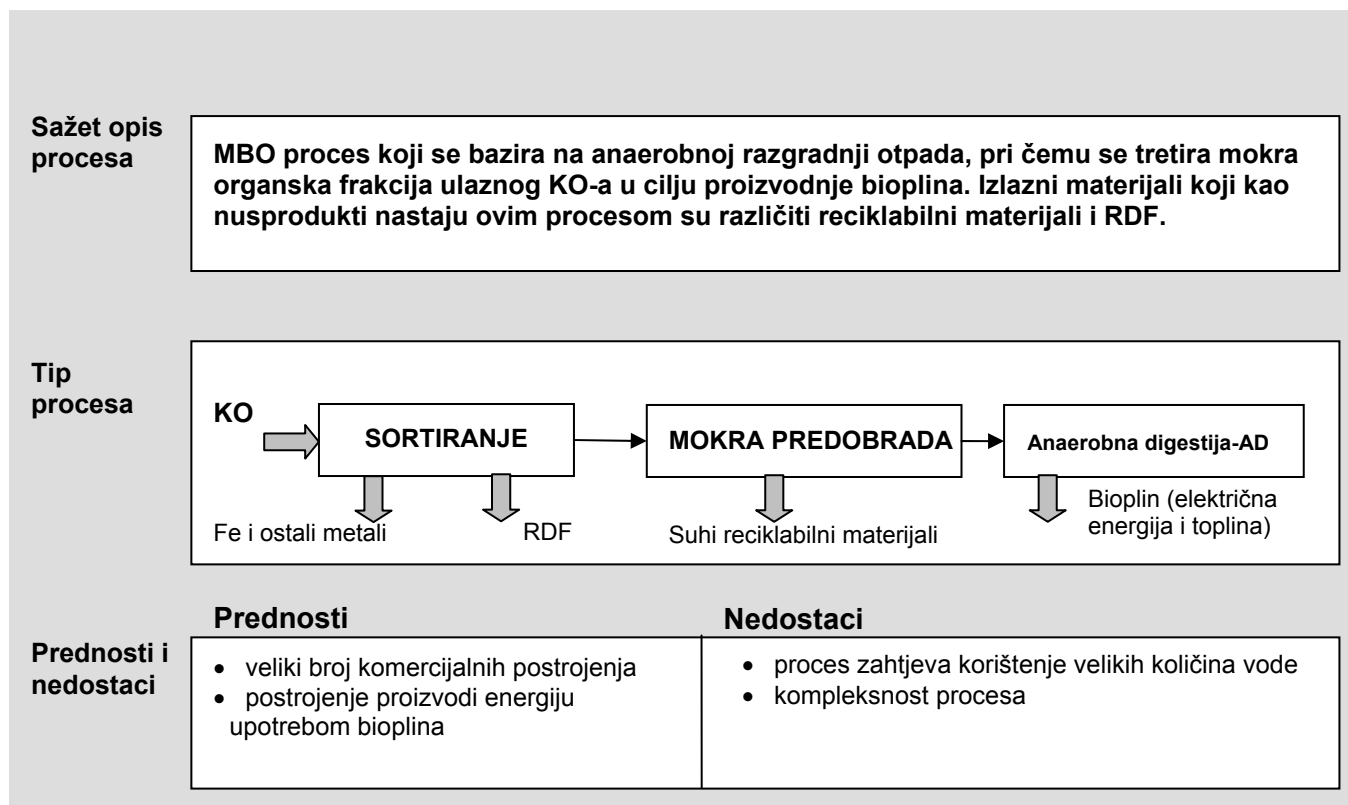
Produkti	Postrojenje 1 T/godina	Postrojenje 2 T/godina	Primjena
Bioplin	NS	7.200	gorivo za plinske motore
Metali	NS	3.600	reciklaža
Inertni materijali	-	3.600	reciklaža ili odlaganje
Pijesak	-	7.800	reciklaža ili odlaganje
RDF	26.700	16.800	koristi se kao gorivo ili deponira
Bio stabilizat	22.200	7.800	odlaganje na odlagalištima
Tretirana otpadna voda	NS	NS	otpušta se u kanalizaciju
Otpadni plinovi	NS	3.600	pročišćavanje na bio-filtrima te ispuštanje u okoliš



Slika 15. Masena bilanca anaerobnog MBO procesa s parcijalnom razgradnjom

5.4. MBO PROCES S ANAEROBNOM DIGESTIJOM-MOKRA JEDNOSTUPANJSKA

Anaerobni MBO proces (mokri, jednostupanjski, termofilni)



Slika 16. MBO proces sa mokrom anaerobnom digestijom

Opis procesa

Predobrada

Komunalni kruti otpad koji ulazi u MBO postrojenje, kranovima se transportira od prijemne jame do jame za punjenje iz koje se dalje šalje do tzv. 'tromela' (odnosno rotacijskog sita), promjera očica 180 mm, na prosijavanje. Tako dobiveni prosijani materijal (veličine čestica < 150 mm) šalje se na slijedeći 'tromel' promjera očica 50 mm, na sekundarno prosijavanje.

Frakcije materijala zaostale na svakom od 'tromela' (veličine čestica > 150 mm za prvi tromel, te veličine čestica > 50 mm u slučaju drugog tromela) šalju se u zračni separator kako bi se uklonili komadi lake plastike i papira, te zatim na Al-separator (separacija na principu vrtložne struje) i elektromagnetski (Fe) separator kako bi se uklonili prisutni metali. Te dvije frakcije se zatim objedinjuju tvoreći RDF, čija se prosječna kalorijska

vrijednost kreće od 12 – 14 MJ/kg. Tako dobiveni RDF, ali i separirana laka plastika i papir koriste se kao sekundarno gorivo u cementnim pećima.

Obrada u AD postrojenju

U AD procesu se obrađuje samo mokra organska frakcija (*engl.* WOF). Pri tome je srednje vrijeme zadržavanja WOF-a u digestoru oko 21 dan. Miješanje u digestoru se postiže pomoću mehaničkih miješalica.

Digestat se prije procesa uklanjanja vode miješa s poli-elektrolitom, a digestat kojem je prethodno uklonjena voda šalje se na odlagališta.

Tekućina nastala procesom uklanjanja vode se zagrijava i vraća u proces u kojem se odvija miješanje WOF-a prije njegova ulaska u anaerobni digestor. Shematski prikaz MBO procesa, prikazan je na slici 9.

U postrojenju za mokru obradu obrađuje se frakcija otpadnog materijala veličine čestica <50mm. Ta se frakcija iz rotacijskog sita (tromela) šalje u elektromagnetski (Fe) i separator nemagnetskih metala (Eddy current) kako bi se izdvojili Fe–metali i ostali metali. Preostali materijal se zatim pere u specijalno dizajniranim komorama (tzv. inertni separator) u koje se voda dovodi odozdo, u tzv. uzlaznom strujanju (strujanje od dna prema vrhu komore). Pri tome se lakši materijali izdvajaju u vodu na vrhu komore, te pumpom odvođe na mokro bubnjasto sito, na kojem se iz biorazgradivog materijala izdvaja fini pijesak i staklo. Gušći, odnosno teži materijali koji zaostaju u inertnom separatora šalju se na ispiranje (kako bi se uklonila kontaminirajuće tvari), te nakon toga na skladištenje.

Biorazgradivi materijali sakupljeni na bubnjastom situ se šalju u shreder, te nakon toga na drugi stupanj prosijavanja kojim se uklanjaju krupne čestice kao što je kruta plastika. Sakupljena plastika se dodaje u frakciju GIO-a. Biorazgradivi materijali s udjelom suhe komponente 30 - 40%, mehanički se miješaju s pročišćenom vodom nastalom procesom izdvajanja vode iz digestata, njegovim zagrijavanjem na 80°C te pumpanjem u digestore. Mješavina se također zagrijava primjenom vodene pare kako bi se postigla

temperatura od 57°C. Ova je frakcija s ukupnim udjelom suhe komponente oko 10 - 15%, poznata pod nazivom mokra organska frakcija.

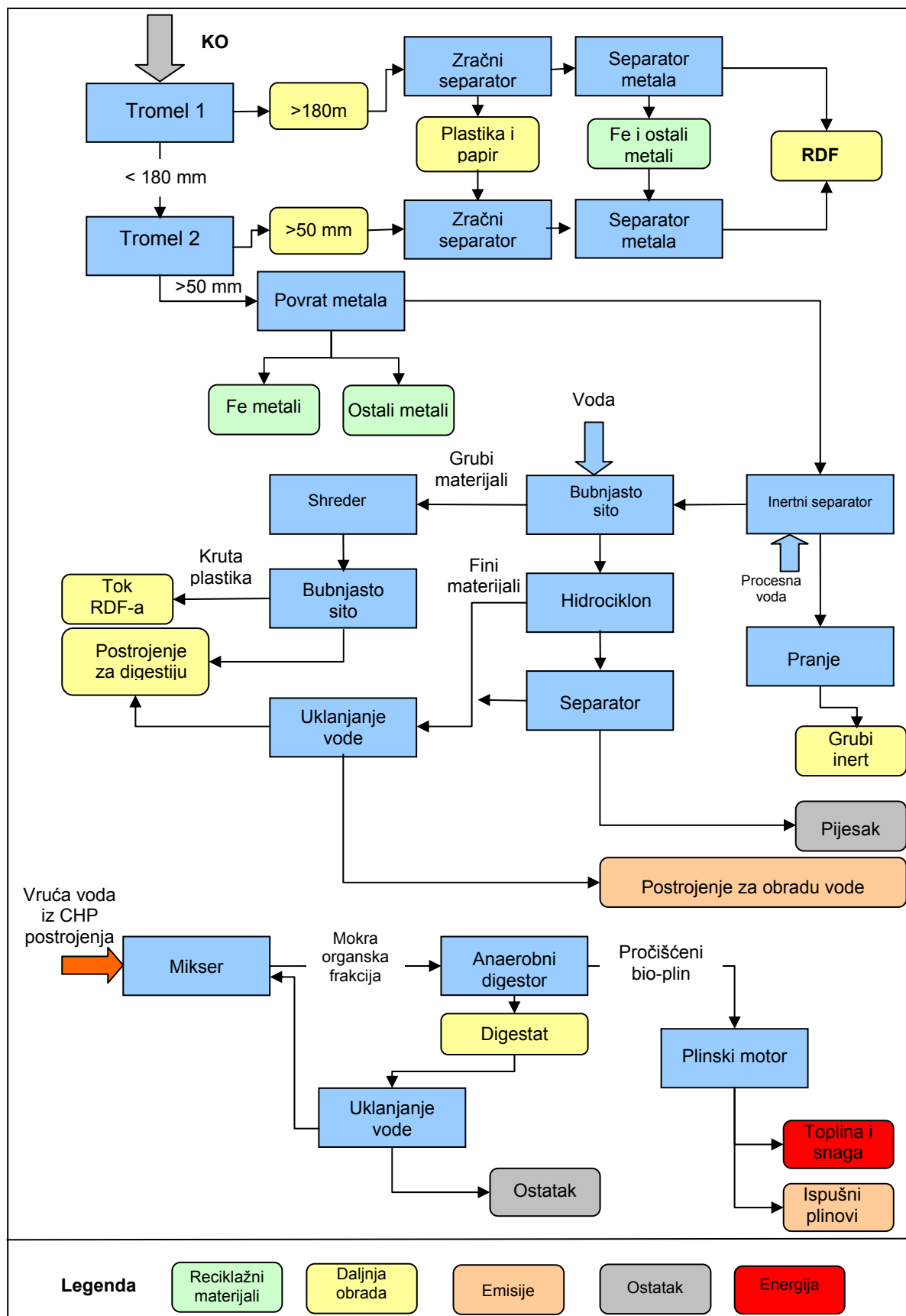
Fini materijali koji prolaze kroz sito, separiraju se u hidrociklonima. Suspenzija i gušći (teži) materijali s dna hidrociklona šalju se u separator u kojem se uklanja pijesak. Pijesak se zatim šalje u skladište, dok zaostala suspenzija ulazi u proces uklanjanja vode. Tako dobivena voda se miješa s parom s vrha hidrociklona i šalje u postrojenje u kojem se odvija digestija. Preostala tekućina se šalje u postrojenje za tretiranje otpadne vode, iz kojeg se jedan dio vode vraća natrag u proces.

Performanse procesa

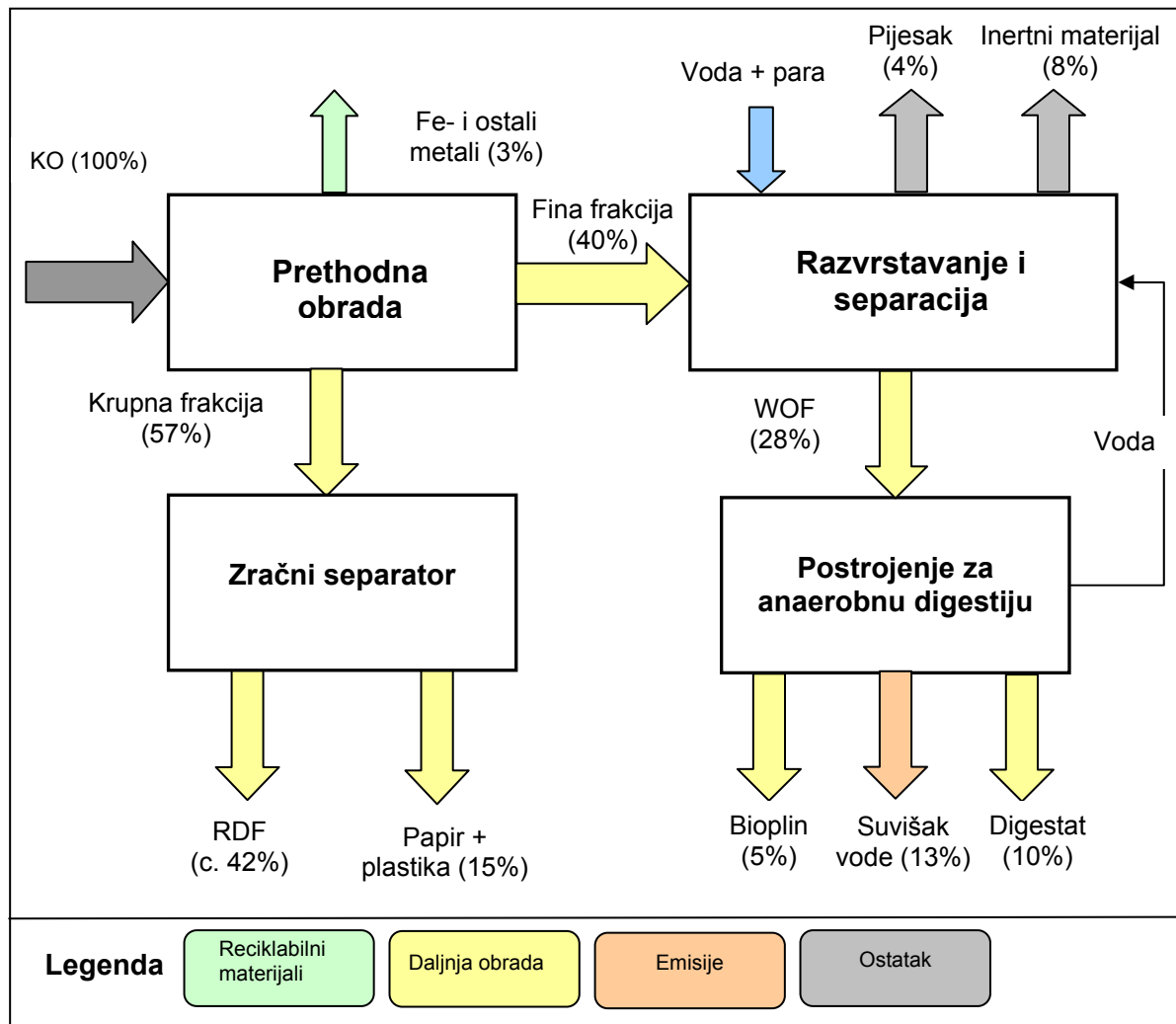
Masena bilanca „mokrog“ anaerobnog MBO procesa prikazana je na slici 17, dok su kvantitativni podaci o izlaznim materijalima koji nastaju u procesu, dani u tablici 6.

Tablica 6. Produkti bazirani na bilanci tipičnog MBO postrojenja s „mokrom“ AD

Produkti	TPa	Primjena
RDF	96,600	koristi se kao gorivo u cementnim pećima
Bioplin	11,500	koristi se kao gorivo za plinske motore
Metali	6,900	reciklaža
Grubi inertni mat.	18,400	može se reciklirati ili deponirati
Fini inertni mat.	9,200	može se reciklirati ili deponirati
Papir i laka plastika	34,500	koristi se kao gorivo u cementnim pećima
Digestat	23,000	odlaganje
Otpadna voda	29,900	šalje se u postrojenje za obradu otpadne vode



Slika 17. Shema tipične izvedbe MBO procesa s mokrom anaerobnom digestijom



Slika 18. Masena bilanca MBO procesa s mokrom anaerobnom digestijom

6. PRIJEDLOG ODABIRA TEHNOLOŠKOG POSTUPKA MBO OBRADE OTPADA

6.1. Razmatrane tehnologije obrade komunalnog otpada

Za potrebe idejnog projekta CGO „Kaštijun“ predviđena je obrada komunalnog otpada MBO tehnologijom. Analizirana su tri tipična koncepta izvedbe ove tehnologije i promatrane prednosti i nedostaci svakog od konceptata.

Osim troškovnih i investicijskih aspekata, prilikom usporedbe kao kriterij je uzeta i kakvoća goriva iz otpada (GIO) proizvedenog u postrojenju. Naime, za zbrinjavanje gorive frakcije otpada interes je pokazala tvornica cementa „Koromačno“ koja će vjerovatno, kao i svaka cementna industrija imati zahtjeve za definiranom kakvoćom i kaloričnom vrijednošću GIO-a.

Promatrane izvedbe MBO postrojenja

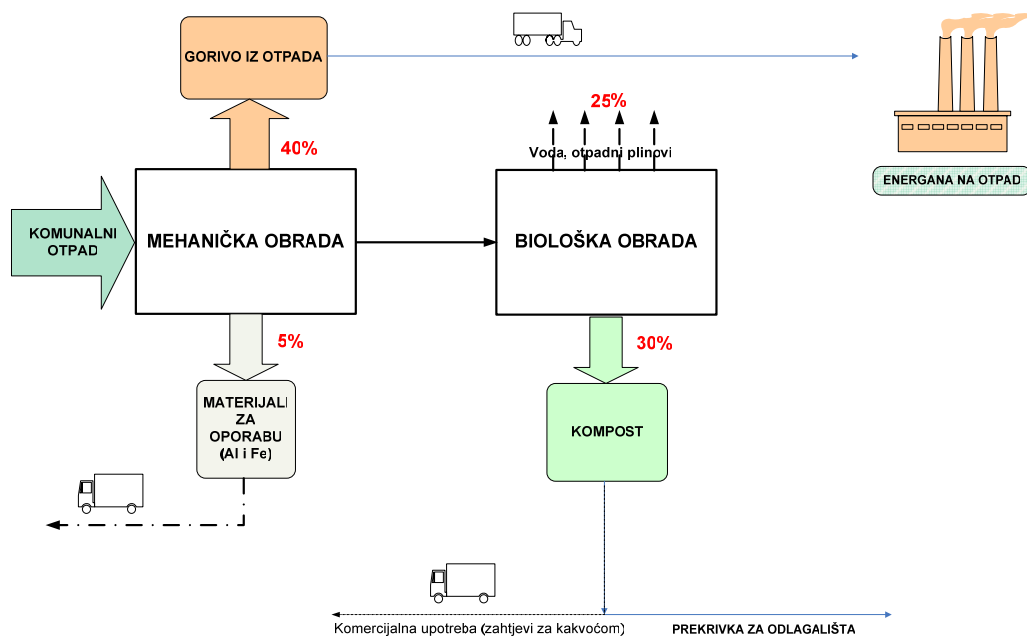
Analizirana su tri osnovna koncepta izvedbe MBO tehnologije:

1. MBO s aerobnom obradom biorazgradivog dijela komunalnog otpada (kompostiranje);
2. MBO s anaerobnom obradom biorazgradivog dijela (AD proces) te
3. MBO s biosušenjem i obradom ostatnog biorazgradivog dijela u odlagalištu.

Tri promatrana koncepta shematski su prikazana na slikama 19., 20. i 21. u nastavku, uz okvirne vrijednosti ulaznih i izlaznih tokova (dane u udjelima s obzirom na količinu komunalnog otpada na ulazu u postrojenje).

6.2. MBO s aerobnom obradom biorazgradivog dijela otpada (kompostiranje)

Prvi korak obrade u postrojenjima ovakvog tipa je odvajanje gorivog dijela otpada od biorazgradivog (usitnjavanje, prosijavanje, odvajanje metala). Nakon toga se biorazgradivi dio obrađuje aerobno (kompostiranje).



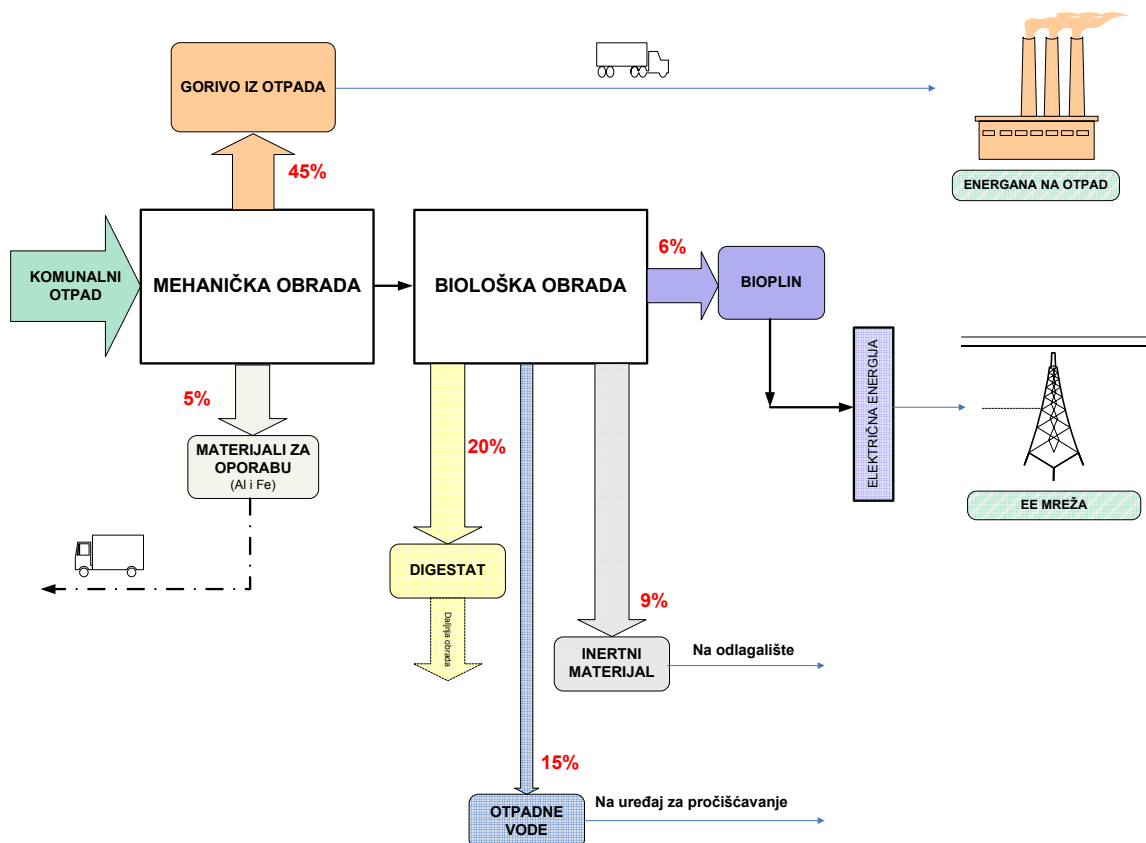
Slika 19. Shematski prikaz koncepta MBO s aerobnom obradom biorazgradive frakcije

Jedan od nedostataka ovakve obrade je niska kvaliteta proizvedene gorive frakcije – goriva iz otpada. Razlog leži u tretmanu predobrade koji, da bi mogao odvojiti suhi od biorazgradivog dijela otpada, mora kompletan otpad usitniti, pa prilikom usitnjavanja miješa suhi i biorazgradivi dio, te suhi dio postaje vlažan (kalorična moć < 15.000 MJ/kg i vlaga > 30%). Da bi se tako proizveden GIO mogao koristiti kao zamjensko gorivo u cementnim pećima (minimalna zahtjevana kalorična moć > 18.000 MJ/kg – vlaga < 15 %) potrebno ga je sušiti, što je energetska, a onda i financijski vrlo zahtjevno (cca. 40 €/t).

S druge strane kompost dobiven aerobnom biološkom obradom vrlo teško zadovoljava zahtjeve kakvoće da bi se mogao koristiti u poljoprivredi, pa se najčešće koristi kao prekrivka za odlagališta.

6.3. MBO anaerobne izvedbe

Obrada u postrojenjima ovakvog tipa započinje kao i u prethodnoj izvedbi mehaničkom obradom u kojoj se razdvaja gorivi dio otpada od biorazgradivog dijela. Nakon toga biorazgradivi dio obrađuje se anaerobno u reaktorima, pri čemu se dobiva bioplin iz kojeg se u konačnici proizvodi električna energija.

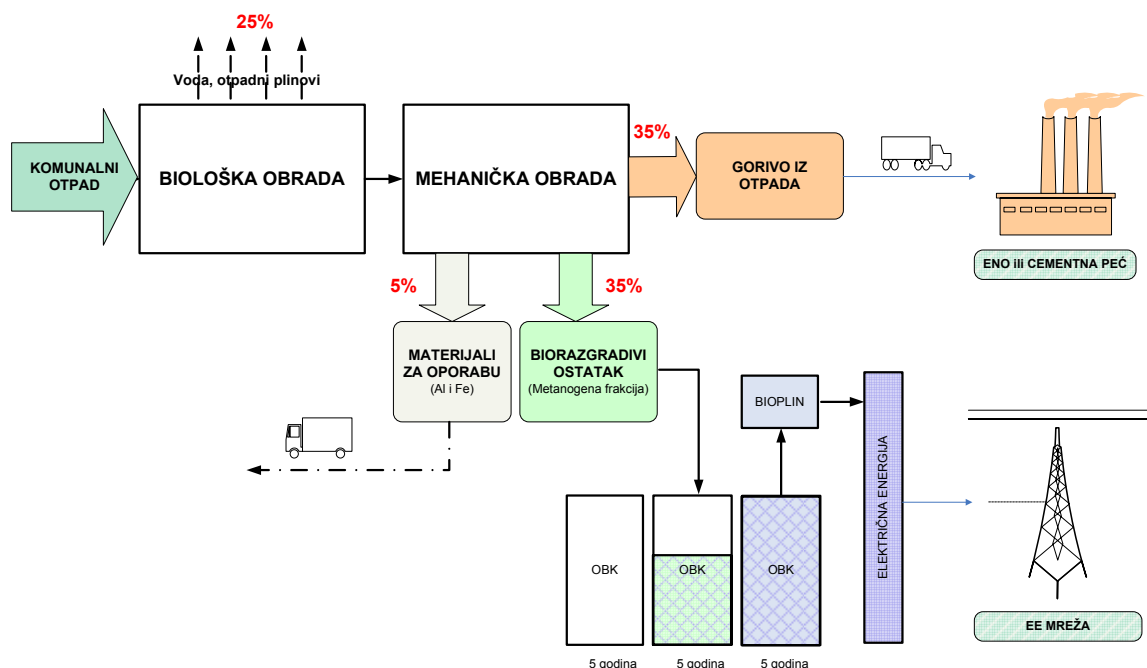


Slika 20. Shematski prikaz koncepta MBO s anaerobnom obradom biorazgradive frakcije

GIO dobiven ovakvom obradom također ima kaloričnu vrijednost manju od 18.000 MJ/kg. Ova varijanta biološke obrade (anaerobna) ima svoje prednosti jer se iz biorazgradivog dijela otpada iskorištava bioplin, odnosno proizvodi električna energija, no glavni nedostatak ovakvih postrojenja je relativno visoka cijena obrade i visoka početna investicija u postrojenje.

6.4. MBO s biosušenjem i obradom ostatnog biorazgradivog dijela u odlagalištima

Kod ove izvedbe otpad se prvo biološki obrađuje (biosušenjem), a zatim prolazi proces mehaničke obrade. Pri tome se dobivaju goriva frakcija i biorazgradivi dio koji se dalje tretira anaerobnim procesom obrade u za to predviđenim odlagalištima. U konačnici se dobiva bioplin iz kojeg se proizvodi električna energija.



Slika 21. Shematski prikaz koncepta MBO s bioreaktorskim odlagalištem

Prednosti ovog koncepta obrade odnose se na postizanje visoke kalorične vrijednosti GIO (kalorična vrijednost > 18.000 MJ/kg, vlaga < 15%) zahvaljujući sušenju gorivog dijela otpada prilikom samog procesa biostabilizacije. Mehanička obrada (odvajanje) različitih frakcija otpada je onda puno učinkovitija jer se provodi sa suhim otpadom.

Ostatna frakcija je biorazgradiva pa postoji mogućnost njene daljnje obrade (anaerobna obrada) pri čemu se dobiva bioplin odnosno el.energija, što daje dodatni benefit ovom konceptu.

6.5. Zaključak

Kao najprikladniji koncept odabran je treći, MBO s biosušenjem i obradom ostatne biorazgradive frakcije u odlagalištima. Razlozi za preferiranje ovog koncepta su:

1. Dobivanje kvalitetnog zamjenskog goriva visoke energetske vrijednosti koje je pogodno za upotrebu u cementarama (TC „Koromačno“)
2. Proizvodnju električne energije iz bioplina – ostatne metanogene frakcije (posebno tarifirana i tretira se kao energija iz obnovljivih izvora)
3. Relativno prihvatljiv iznos početne investicije u postrojenje
4. Prihvatljiva cijena obrade komunalnog otpada, s obzirom da se sve izlazne frakcije iskorištavaju maksimalno.

Ako se tri promatrana koncepta međusobno uspoređuju troškovno, prvom konceptu je nedostatak mali povrat troškova u obradi (kompost-neatraktivan proizvod ako ne zadovoljava uvjete kakvoće), drugome pak visoki početni investicijski troškovi i troškovi obrade komunalnog otpada u postrojenju.