



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET



Dušica Pešević

UPRAVLJANJE OTPADOM



Banja Luka, 2022.

UNIVERZITET U BANJOJ LUCI
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Dušica Pešević

UPRAVLJANJE OTPADOM

Banja Luka, 2022.

Autor:

Prof. dr Dušica Pešević,
Prirodno-matematički fakultet,
Univerzitet u Banjoj Luci

Recenzenti:

Prof. dr Dejan Filipović, Geografski fakultet,
Univerzitet u Beogradu

Doc. dr Draženko Bjelić, Tehnološki fakultet,
Univerzitet u Banjoj Luci

Izdavač:

Univerzitet u Banjoj Luci
Prirodno-matematički fakultet

Za izdavača:

Prof. dr Goran Trbić

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Duško Jojić

Lektor:

Mr Dunja Ilić

Dizajn korice:

Jelena Ilić

Odlukom Senata Univerziteta u Banjoj Luci br. 02/04-3.1907-110/22 od 29.09.2022. godine i Naučno-nastavnog vijeća Prirodno-matematičkog fakulteta u Banjoj Luci br. 19/3.2071/22 od 14.09.2022. godine prihvaćene su pozitivne recenzije i odobreno je da se rukopis knjige pod nazivom “Upravljanje otpadom” objavi kao univerzitetska nastavna literatura – osnovni udžbenik.

ISBN 978-99976-86-08-4

PREDGOVOR

Otpad je jedan od ključnih problema moderne civilizacije i neizbježna posljedica savremenog načina života. Rast broja stanovnika, intenzivna urbanizacija i industrijalizacija, te rast životnog standarda, glavni su uzroci povećanja količine, ali i raznovrsnosti otpada. Čvrst otpad, a posebno opasan, predstavlja jedan od najozbiljnijih problema iz oblasti zaštite životne sredine savremenog svijeta. Pravilno postupanje s otpadom zahtijeva primjenu cjelokupnog sistema mjera koje treba sprovesti u cilju racionalnog i bezbjednog upravljanja i to od momenta nastajanja do konačnog zbrinjavanja otpada.

Cilj ove knjige je da upozna čitaoca sa porijeklom i osobinama čvrstog otpada, sa naglaskom na komunalnom otpadu, njegovim uticajem na životnu sredinu i zdravlje ljudi, kao i načinom organizovanja sistema upravljanja otpadom kako bi postao ekološki i ekonomski održiv. Naglašen je sveobuhvatan pristup, odnosno integralni sistem upravljanja otpadom kao važna tema ove knjige. Integralni pristup upravljanja otpadom bavi se svim vrstama i izvorima čvrstog otpada, koristeći niz mogućnosti za tretman i iskorišćavanje materijalnih i energetske vrijednosti otpada, u skladu sa lokalnim potrebama. Ne tvrdimo da je ova knjiga posljednja riječ o tome kako razviti ili unaprijediti sistem upravljanja čvrstim otpadom. Međutim, čini nam se da je pravi trenutak da se postavi logičan, holistički pristup upravljanju otpadom, zajedno sa kritičkim pregledom dostupnih ekoloških i ekonomskih podataka iz ove oblasti. Iskustvo nas uči da postoji potreba za stalnim poboljšanjem usvojenih znanja i vještina. Posebno je došla do izražaja potreba za usavršavanjem kadrova u oblasti upravljanja otpadom kroz inovirane nastavne planove i programe na različitim fakultetima, kao i otvaranje novih specijalističkih i master studija iz oblasti zaštite životne sredine, u cilju obrazovanja stručnjaka koji bi bili osposobljeni da zajednički učestvuju u procesu realizacije projekata integralnog upravljanja otpadom.

Knjiga je namijenjena studentima koji po svom nastavnom planu imaju predmet Upravljanje otpadom, ali i svim drugima koje interesuje problematika povezana sa oblašću zaštite životne sredine. Na Prirodno-matematičkom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci, na prvom ciklusu studija već duži niz godina se izučava predmet pod nazivom Upravljanje otpadom na studijskom programu Ekologija i zaštita životne sredine, kao i predmet Upravljanje čvrstim otpadom na studijskom programu Prostorno planiranje. Osim toga, uveden i predmet Integralno upravljanje

otpadom na drugom ciklusu studija studijskog programa Ekologija i zaštita životne sredine, smjer Zaštita životne sredine, na kojem će se studenti kroz ovu knjigu moći upoznati sa problematikom kojom se nisu bavili tokom svog osnovnog studija. Evidentan nedostatak literature koja prati nastavne planove pomenutih predmeta, kao i potreba da se sagledaju aktuelna dešavanja u smislu adekvatnog pristupa rješavanju problema upravljanja otpadom na efikasan i bezbjedan način, navela nas je na sakupljanje obimne literature i izvora iz ove oblasti koji su obrađeni u ovom udžbeniku. Cilj nam je da izložena materija u udžbeniku bude od koristi i studentima drugih fakulteta koji se kroz nastavne planove susreću sa problematikom upravljanja otpadom, ali i ljudima iz prakse koji će imati priliku da se upoznaju sa novim trendovima i tehnologijama za iskorišćavanje i zbrinjavanje otpada.

SADRŽAJ

UVOD	1
1. RAZVOJ SISTEMA UPRAVLJANJA ČVRSTIM OTPADOM	3
1.1. POJMOVNO ODREĐENJE OTPADA	3
1.2. ISTORIJSKI RAZVOJ	5
1.3. UPRAVLJANJE ČVRSTIM OTPADOM	6
1.4. FUNKCIONALNI ELEMENTI SISTEMA UPRAVLJANJA OTPADOM..	8
1.5. INTEGRALNI PRISTUP UPRAVLJANJU OTPADOM.....	9
1.5.1. <i>Hijerarhija upravljanja otpadom</i>	11
1.6. RAZVOJ KONCEPTA CIRKULARNE EKONOMIJE	13
1.7. KONCEPT PROCJENE ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCA).....	18
1.8. IZBOR PRISTUPA UPRAVLJANJA ČVRSTIM OTPADOM	19
2. ZAKONSKI OKVIR ZA UPRAVLJANJE OTPADOM	20
2.1. MEĐUNARODNI PROPISI O UPRAVLJANJU OTPADOM	21
2.2. ZAKONSKI OKVIR O OTPADU U EVROPSKOJ UNIJI	22
2.2.1. <i>Okvirni EU propisi o otpadu</i>	26
2.2.2. <i>Propisi o specijalnim kategorijama otpada</i>	30
2.2.3. <i>Propisi o transportu otpada</i>	37
2.2.4. <i>Novi zakonodavni „Paket o otpadu“ i cirkularnoj ekonomiji</i>	38
2.3. PRINCIP (NAČELA) ZA UPRAVLJANJE OTPADOM.....	40
2.4. ZAKONSKA REGULATIVA O OTPADU U BIH	42
3. NASTANAK I VRSTE ČVRSTOG OTPADA	47
3.1. KOMUNALNI OTPAD	49
3.2. POSEBNE KATEGORIJE OTPADA.....	50
3.3. MEDICINSKI OTPAD	52
3.3.1. <i>Kategorizacija medicinskog otpada</i>	53
3.3.2. <i>Razdvajanje, skladištenje i transport medicinskog otpada</i>	56
3.3.3. <i>Tehnologije zbrinjavanja opasnog medicinskog otpada</i>	58
3.4. POLJOPRIVREDNI OTPAD	62
3.4.1. <i>Otpad životinjskog porijekla</i>	63
3.5. OPASNI OTPAD	68
3.5.1. <i>Klasifikacija i osnovne karakteristike opasnog otpada</i>	68
3.5.2. <i>Generatori opasnog otpada</i>	75
3.5.3. <i>Sakupljanje i skladištenje opasnog otpada</i>	77

3.5.4. <i>Transport opasnog otpada</i>	78
3.5.5. <i>Reciklaža opasnog otpada</i>	79
3.5.6. <i>Tretman opasnog otpada</i>	79
3.5.7. <i>Finalno odlaganje opasnog otpada</i>	80
4. SASTAV I OSOBINE KOMUNALNOG OTPADA	82
4.1. KOLIČINA I SASTAV KOMUNALNOG OTPADA	83
4.1.1. <i>Određivanje morfološkog sastava</i>	88
4.1.2. <i>Određivanje količine otpada</i>	89
4.1.3. <i>Količine komunalnog otpada u svijetu</i>	91
4.2. FIZIČKE OSOBINE OTPADA	96
4.3. HEMIJSKE OSOBINE OTPADA I ENERGETSKI POTENCIJAL	100
4.4. BIOLOŠKE OSOBINE OTPADA	105
5. SAKUPLJANJE I TRANSPORT KOMUNALNOG OTPADA	107
5.1. SAKUPLJANJE OTPADA	107
5.1.1. <i>Mjesto sakupljanja</i>	110
5.1.2. <i>Metod sakupljanja</i>	121
5.1.3. <i>Vrste kanti i kontejnera za prikupljanje otpada</i>	125
5.1.4. <i>Učestalost (frekvencija) sakupljanja</i>	131
5.2. SORTIRANJE PRI SAKUPLJANJU OTPADA.....	131
5.2.1. <i>Sakupljanje neselektovanog (miješanog) otpada</i>	132
5.2.2. <i>Razdvojeno prikupljanje otpada</i>	134
5.3. TRANSPORT OTPADA	135
5.3.1. <i>Pretovarna (transfer) stanica</i>	137
6. RECIKLAŽA	141
6.1. OSNOVNI POJMOVI I KARAKTERISTIKE	141
6.2. FIZIČKO-MEHANIČKI TRETMAN OTPADA.....	144
6.2.1. <i>Sortiranje (selekcija) otpada</i>	144
6.2.2. <i>Mehanička redukcija veličine otpada</i>	149
6.2.3. <i>Mehanička redukcija volumena otpada (presovanje)</i>	149
6.3. RECIKLAŽA POJEDINIH KATEGORIJA OTPADA	150
6.3.1. <i>Reciklaža papira i kartona</i>	150
6.3.2. <i>Reciklaža stakla</i>	152
6.3.3. <i>Reciklaža plastike</i>	154
6.3.4. <i>Reciklaža gume</i>	160
6.3.5. <i>Reciklaža metala</i>	162
6.4. POZITIVNI EFEKTI RECIKLAŽE	164

6.5. RECIKLAŽA U EVROPI	166
7. MEHANIČKO-BIOLOŠKI TRETMAN OTPADA.....	169
7.1. PROIZVODI MBT PROCESA U ZAVISNOSTI OD PRIMIJENJENIH TEHNOLOGIJA	174
7.2. BALIRANJE OTPADA	175
7.3. UTICAJ MBT TEHNOLOGIJE NA ŽIVOTNU SREDINU	177
8. BIOLOŠKI TRETMAN/OBRADA OTPADA.....	180
8.1. KOMPOSTIRANJE	182
8.1.1. Tehnologija kompostiranja	186
8.1.2. Faktori koji utiču na proces kompostiranja.....	188
8.1.3. Biohemijske reakcije – procesi razgradnje biootpada.....	194
8.1.4. Sistemi za kompostiranje.....	196
8.1.5. Upotreba i kvalitet komposta	212
8.1.6. Uticaj kompostiranja na životnu sredinu	215
8.1.7. Izbor lokacije za izgradnju velikih postojenja za kompostiranje.....	216
8.2. ANAEROBNA DIGESTIJA	217
8.2.1. Parametri koji utiču na proces anaerobne razgradnje.....	219
8.2.2. Sastav i korišćenje biogasa.....	221
8.2.3. Proizvodnja biogasa	222
8.2.4. Digestat	227
9. TERMIČKI TRETMAN	228
9.1. PRETVARANJE OTPADA U ENERGIJU	230
9.2. PREDNOSTI I NEDOSTACI TERMIČKOG TRETMANA.....	233
9.3. METODE TERMIČKOG TRETMANA.....	234
9.3.1. Spaljivanje (insineracija).....	237
9.4. NAPREDNE METODE TERMIČKOG TRETMANA	260
9.4.1. Piroliza.....	260
9.4.2. Gasifikacija	264
9.4.3. Plazma tehnologije.....	268
9.5. TEHNOLOŠKI RIZICI I OPERATIVNI IZAZOVI TERMIČKIH TRETMANA	272
9.5.1. Eksplozija u spalionici opasnog otpada u Leverkusenu (Njemačka)..	273
9.6. PRETHODNA ANALIZA KOLIČINA I VRSTA OTPADA.....	274
10. DEPONOVANJE	277
10.1. UTICAJ DEPONIJA NA ŽIVOTNU SREDINU	278

10.2. KLASIFIKACIJA DEPONIJA	280
10.3. METODE DEPONOVANJA	282
10.3.1. Biorektorska deponija	283
10.4. PROCESI NA DEPONIJAMA	289
10.4.1. Faze razgradnje otpada	290
10.5. DEPONIJSKI GAS	294
10.5.1. Faktori koji utiču na formiranje deponijskih gasova	294
10.5.2. Sastav i karakteristike deponijskih gasova	297
10.5.3. Upravljanje deponijskim gasovima	300
10.6. PROCJEDNE VODE NA DEPONJI	312
10.6.1. Faktori koji utiču na formiranje procjednih voda	312
10.6.2. Sastav procjednih voda (filtrata)	313
10.6.3. Količina procjednih voda	316
10.6.4. Sistemi sakupljanja i prečišćavanja procjednih voda	320
10.7. PLANIRANJE DEPONIJA	328
10.7.1. Izbor lokacije deponije	329
10.7.2. Sastavni dijelovi deponije i njihov razmještaj u prostoru	338
10.8. OPŠTI PRINCIPI SANITARNOG DEPONOVANJA	340
10.8.1. Odlaganje, rasprostiranje i zbijanje otpada	341
10.8.2. Sistem zaštite deponija	343
10.9. MONITORING DEPONIJE	351
10.10. SANACIJA DEPONIJE	354
LITERATURA	357

UVOD

Rast populacije praćen rastom proizvodnje, kako bi se zadovoljile potrebe sve većeg broja stanovnika, kao nus proizvod je donio i proizvodnju sve veće količine otpada, a time i potrebu za organizovanim pristupom ovom problemu. Sve intenzivnija urbanizacija naselja, praćena podizanjem životnog standarda stanovništva ima za posljedicu porast produkcije komunalnog otpada u urbanim sredinama, što predstavlja poseban problem sa aspekta zaštite i očuvanja životne sredine. Industrijalizacija i razvoj modernog društva su usloveli, kako proizvodnju novih sofisticiranijih proizvoda, tako i produkciju sve više vrsta opasnog otpada, čije osobine i karakteristike nisu bile do tada poznate. U početku ere svjetske industrijalizacije nisu odmah propoznati faktori rizika koje nosi produkcija različitih vrsta otpada, da bi se posljednjih decenija pristupilo ozbiljnije iznalaženju raznih rješenja za zbrinjavanje i iskorišćavanje nastalog otpada.

Upravljanje čvrstim komunalnim otpadom je aktivnost od velike važnosti za održivost urbanih sredina. To je jedna od osnovnih komunalnih aktivnosti koja se mora provoditi u svim urbanim sredinama kako bi se prostor naselja održao urednim i zdravim. Zadatak je složen i skup, te je u cilju dobrog i efikasnog upravljanja, pored dobre opremljenosti, nužno imati i potrebna znanja za upravljanje sistemom. Od posebnog je značaja uspostavljanje adekvatnog načina upravljanja otpadom, kako bi se postigao najbolji sveukupni rezultat za društvenu zajednicu i životnu sredinu. Svjetska iskustva pokazuju da najbolje rezultate u oblasti daje integralni i cijelovit koncept upravljanja otpadom uz uvažavanje liste prioriteta: izbjegavanje – smanjenje – reciklaža. Korišćenjem komunalnog otpada kao goriva u industriji i energetici, te proizvodnjom energije iz deponijskog gasa, mogu se ostvariti energetske, ekonomske i ekološke koristi. To je ujedno i mjera za postizanje nacionalnih ciljeva smanjenja emisije stakleničkih gasova. Najviše u oblasti upravljanja otpadom su postigle Švedska i Austrija u kojima se svega 5% komunalnog otpada odlaže na deponije.

Proizvodnja otpada ubrzano raste u poređenju sa globalnim rastom stanovništva. Prema izvještaju Svjetske banke (2018) trenutno se u svijetu godišnje proizvede oko 2,01 milijarde tona čvrstog komunalnog otpada, od čega se sa najmanje 33% ne upravlja pravilno i umjesto toga se baca ili spaljuje na otvorenom. Posljednjih decenija proizvodnja otpada širom svijeta je dramatično porasla i očigledno nema znakova usporavanja. Do 2050. godine proizvodnja otpada mogla bi se povećati za 70% (tj. do 3,4 milijarde tona), ako se trenutni uslovi nastave. Širom svijeta, otpad

koji se stvara po osobi dnevno u prosjeku iznosi 0,74 kilograma, ali se kreće u širokom rasponu, od 0,11 do 4,54 kilograma, u zavisnosti od ekonomske razvijenosti država (Kaza et al, 2018).

Neadekvatno postupanje sa otpadom predstavlja jedan od prioriternih problema u oblasti zaštite životne sredine u Bosni i Hercegovini, kao i u drugim zemljama u razvoju. Dok se prikupljanje komunalnog otpada organizovano sprovodi u urbanim sredinama, u ruralnim sredinama ono uglavnom izostaje i u njima se dio nastalog otpada spaljuje u dvorištima ili se odlaže na divlje deponije. U Bosni i Hercegovini ne postoje postrojenja za biološki tretman otpada, niti postoji efikasna organizacija odvojenog sakupljanja otpada za reciklažu iz domaćinstava. Ne postoji postrojenje za spaljivanje otpada niti centar za tretman opasnog otpada. Iz velikog broja opština javna komunalna preduzeća sakupljeni otpad često direktno transportuju na neadekvatne deponije (smetljišta) gdje se otpad baca na nekontrolisano način, bez minimalnih mjera zaštite zdravlja stanovništva i životne sredine.

Provođenje strategije održivog razvoja definiše otpad kao resurs, a ne kao „smeće“ kojeg se moramo riješiti. U skladu s tim su i relevantni propisi koji regulišu ovu problematiku sve zahtjevniji. Provođenje propisa zahtijeva sve više multidisciplinarnog znanja vezanog za očuvanje životne sredine, socijalna pitanja i ekonomsku efikasnost sistema.

1. RAZVOJ SISTEMA UPRAVLJANJA ČVRSTIM OTPADOM

1. 1. POJMOVNO ODREĐENJE OTPADA

Ljudsko društvo je od samih početaka svog nastanka proizvodilo otpad. Međutim sa industrijalizacijom i tehnološkim napretkom, kao i sa neracionalnim korišćenjem prirodnih resursa, društvo je suočeno sa sve većom količinom proizvedenog otpada. Brojne ljudske aktivnosti stvaraju otpadne materije koje se često odbacuju jer se smatraju beskorisnim. Prema Zakonu o upravljanju otpadom (Sl. glasnik RS, 111/13), kao i Direktivi EU 75/442/EEC o otpadu, se navodi slična definicija otpada koja glasi: „Otpad je, svaki predmet ili materija koji vlasnik odloži, namjerava da odloži ili je prinuđen da odloži, a koji je kategorisan prema utvrđenoj klasifikaciji otpada u Katalogu otpada”. Otpad se može definisati i kao odbačena materija, proizvod ili materijal koji se više ne koristi, nepotreban je i nije više upotrebljiv u svom prvobitnom obliku. Otpadom se smatra i svaki predmet i materija čije su sakupljanje, prevoz i zbrinjavanje neophodni u svrhu zaštite javnog interesa. Čvrsti otpad se često definiše kao „beskorisni“ i neželjeni proizvodi koji su rezultat ljudskih aktivnosti kao što su proizvodni procesi, aktivnosti u domaćinstvu ili komercijalnom sektoru, a koji se nakon upotrebe odbacuju. Ova definicija obuhvata proizvode koje jedna strana odbacuje, ali oni mogu imati vrijednost za nekoga drugoga. Otpad se takođe može definisati kao resurs koji odbacujemo, jer mnogo tih otpadnih materijala može se ponovo koristiti kao resurs za industrijsku proizvodnju ili proizvodnju energije, ako se pravilno njima upravlja.

Upravljanje otpadom postalo je jedan od najznačajnijih problema našeg vremena, jer savremeni način života stvara ogromne količine otpada, a većina ljudi želi sačuvati svoj životni stil, istovremeno štiteći životnu sredinu i javno zdravlje. U praksi se može naći još niz definicija, koje vrlo slikovito određuju pojam otpada:

- 1) Otpad je zbir proizvodnih i potrošačkih ostataka.
- 2) Otpad je jasan otisak materijalnog života ljudi.
- 3) Otpad je još nedovoljno otkriven izvor sirovina i energije.
- 4) Otpad je promjenjivi zbir različitih materija i energije.

Jedna od definicija koja slikovito određuju pojam otpada glasi: „Otpad nije smeće”. Iako u svakodnevnom govoru se često poistovjećuju pojmovi otpada i smeća, posljednjih godina sve više raste svijest o potrebi promjene pristupa ovoj problematici. Iz prethodnih definicija slijedi da otpad sigurno nije gomila nekorisnih predmeta i materijala i ne mora postati smeće ako se s otpadom postupa na adekvatan način. U tom smislu, može se reći da otpad postaje smeće samo u slučaju neodgovornog ponašanja ljudi prema vlastitom otpadu. Otpad je vrlo značajan javno-zdravstveni problem jer može poslužiti kao mjesto zadržavanja vektora, kao izvor zagađenja zaliha podzemnih voda i površinskih vodotoka, kao faktor koji narušava kvalitet vazduha i zemljišta i mjesto mogućeg nastanka eksplozije metana ili požara. Otpad je nusproizvod ljudske aktivnosti koji sadrži iste materijale koji se nalaze u korisnim proizvodima. Koncentracija nekih korisnih materijala može biti veća na deponijama nego u prvobitnim sirovinskim rudama. Zbog toga je od posebne važnosti pronalazak adekvatnog načina upravljanja otpadom, kako bi se postigao najbolji sveukupni rezultat za društvenu zajednicu i životnu sredinu.

Prestanak statusa otpada

U momentu kada se otpad podvrgne postupku prerade (tretmana), te zadovoljava odgovarajuće kriterijume propisane zakonom, on prestaje biti otpad. Pojedine vrste otpada prestaju da budu otpad ako su bile podvrgnute operacijama ponovnog iskorišćenja, uključujući i reciklažu, pod sljedećim uslovima:

- 1) Da se materija ili predmet obično koristi za posebne namjene.
- 2) Da postoji tržište ili potražnja za takvim materijama ili predmetima.
- 3) Da materija ili predmet ispunjava tehničke uslove za posebne namjene i uslove propisane zakonom i standardima koji se primenjuju na te proizvode.
- 4) Da upotreba materije ili predmeta neće dovesti do ukupnog štetnog uticaja na životnu sredinu ili zdravlje ljudi.

Koncept ukidanja statusa otpada (engl. *End of Waste*) je koncept koji sadrži skup uslova koje materijal iz otpada mora ispuniti, a koji garantuju takav kvalitet materijala da on neće biti odbačen niti će imati negativan uticaj na zdravlje ljudi i životnu sredinu. Njime se podstiče proizvodnja sekundarnih sirovina boljeg kvaliteta definisanjem tehničkih i ekoloških minimuma, koje proizvod mora ispuniti. Provođenje ovog koncepta dovodi do povećanja potražnje i pozitivnog uticaja na stope reciklaže.

1.2. ISTORIJSKI RAZVOJ

Tokom istorije, razvoj civilizacije i ljudski napredak je bio povezan s razvojem i napretkom pravilnog upravljanja otpadom. U ranim predindustrijskim vremenima, otpad se uglavnom sastojao od pepela, drveta, kostiju te otpada biljnog porijekla i ekskreta čovjeka, a odlagao se na zemljište, gdje je služio kao kompost za poboljšanje njegovog kvaliteta.

Prva poznata organizovana deponija otpada bila je izgrađena u gradu Knososu na Kritu još 3000. godina p.n.e. Po uzoru na Knosos, 2500 godina p.n.e. gradi se prva gradska deponija za Atinu, udaljena 2 km od gradskih zidina, te se organizuje sistem prikupljanja i odvoza otpada na deponiju. Posebna pažnja organizaciji čistoće i higijene grada u antičkom periodu posvećivana je i u gradovima Rimskog carstva, kao i u Idiji, Kini i Jerusalimu.

Nagla urbanizacija je sa sobom donijela i negativne posljedice pa tako u pogledu upravljanja otpadom nastaju prvi problemi. U srednjem vijeku nivo komunalne higijene značajno opada, a najčešće zajedničko mjesto za odlaganje otpada bile su ulice, i to ne samo za odlaganje komunalnog otpada već i uginulih životinja, fekalija i dr. Ovakav način postupanja s otpadom svih vrsta imao je štetan uticaj na životnu sredinu i zdravlje čovjeka, te je rezultirao epidemijama različitih zaraznih bolesti, posebno u velikim gradovima. Iz tog razloga, u 14. vijeku, engleski parlament uvodi zabranu odlaganja otpada na ulice, u gradske kanale i jarkove, te se propisuje obaveza uređenja dvorišta.

U 18. vijeku, tokom industrijske revolucije koja je uzrokovala masovne migracije ljudi iz ruralnih područja u industrijske gradove, dolazi do povećanja industrijskog i komunalnog otpada, što je predstavljalo opasnost za zdravlje ljudi i životnu sredinu. Krajem 19. vijeka, pod prijetnjom kolere i drugih bolesti čiji su uzročnici bile bakterije, napravljen je zaokret u zbrinjavanju otpada, primjenom spaljivanja otpada. Prve spalionice otpada se grade u Notingemu u Engleskoj 1874. godine i 1885. godine u Njujorku, a kasnije i u drugim zemljama poput Njemačke, Francuske i Kanade. I pored toga, tokom 20. vijeka deponovanje ostaje najpopularnija metoda za postupanje sa otpadom, a tek 1959. godine je objavljeno prvo uputstvo za sanitarno deponovanje otpada.

Nakon Drugog svjetskog rata raste svijest stanovništva o značaju zaštite životne sredine i počinje se razmišljati o iscrpivosti resursa i štetnosti odlaganja otpada. Još od pojavljivanja prvog izvještaja Rimskog kluba, objavljenog u svjetski poznatoj knjizi pod nazivom „Granice rasta” (Meadows et al, 1972), postoje brojne tvrdnje

da se stope upotrebe finalnih materijala i energetskih resursa Zemlje ne mogu nastaviti povećavati neograničeno. Naime, sirovine se koriste brže nego što se zamjenjuju, ili se pronalaze alternative. Kao rezultat takvih izvještaja postaje jasno da budućnost planete leži u konceptu održivog razvoja, koji je prvi put definisan u izvještaju Brundtland komisije, pod nazivom „Naša zajednička budućnost” (Brundtland Report, 1987), kao „razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje vlastite potrebe”. Održivost životne sredine, sa aspekta upravljanja otpadom, može se definisati kao sistem upravljanja otpadom, koji smanjuje ukupni (negativni) uticaj upravljanja otpadom na životnu sredinu, uključujući potrošnju energije, zagađenja zemljišta, vazduha i vode, gdje su ukupni troškovi sistema upravljanja otpadom prihvatljivi za sve članove društvene zajednice, uključujući i domaćinstva, privredu, institucije i vladu (White i dr, 1995; Warmer Bilten 49, 1996).

Tokom sedamdesetih i osamdesetih godina dvadesetog vijeka pojavljuju se brojni problemi u postupanju s otpadom, što je bio povod za donošenje različitih regulativa koje su se odnosile na ovu oblast: Okvirna direktiva o otpadu i Direktiva o opasnom otpadu (usvojene 1975. godine), Direktiva o deponijama otpada (1999. godine) i Direktiva o spaljivanju (iz 2000. godine). Krajem prošlog vijeka vlade zemalja sa visokim prihodima počele su da se fokusiraju na formiranje sistema integralnog upravljanja čvrstim otpadom, uzimajući u obzir ne samo tehnička rješenja, već i socijalne, ekonomske, kulturne i političke aspekte.

1.3. UPRAVLJANJE ČVRSTIM OTPADOM

Upravljanje čvrstim otpadom je postalo jedno od najznačajnijih pitanja iz oblasti zaštite životne sredine, posebno u zemljama u razvoju. Upravljanje otpadom je skup procesa, aktivnosti i postupaka vezanih uz otpad od njegovog nastanka do trenutka kada prestaje biti otpad. Uključuje planiranje, proizvodnju, sakupljanje, transport, preradu (tretman) i odlaganje otpada¹. Ciljevi upravljanja otpadom uključuju izbjegavanje i smanjivanje nastanka otpada kao i smanjivanje opasnih osobina otpada (razvoj čistih tehnologija, razvoj metoda za zbrinjavanje opasnih materija, ponovo korišćenje materijala reciklažom, energetsko iskorišćavanje otpada, deponovanje otpada na zakonom propisan način i sanacija otpadom

¹ Zakon o upravljanju otpadom („Sl. glasnik RS“, 111/13) definiše upravljanje otpadom kao djelatnost od opšteg interesa, što podrazumijeva sprovođenje propisanih mjera za postupanje sa otpadom u okviru sakupljanja, transporta, skladištenja, tretmana i odlaganja otpada, uključujući i nadzor nad tim aktivnostima i brigu o postrojenjima za upravljanje otpadom poslije zatvaranja.

zagađenih prostora). Pravilno upravljanje otpadom postalo je imperativ savremenog društva. Načine upravljanja otpadom treba birati nakon pažljivog razmatranja svih troškova i koristi, bilo da su finansijske, ekološke ili društvene prirode.

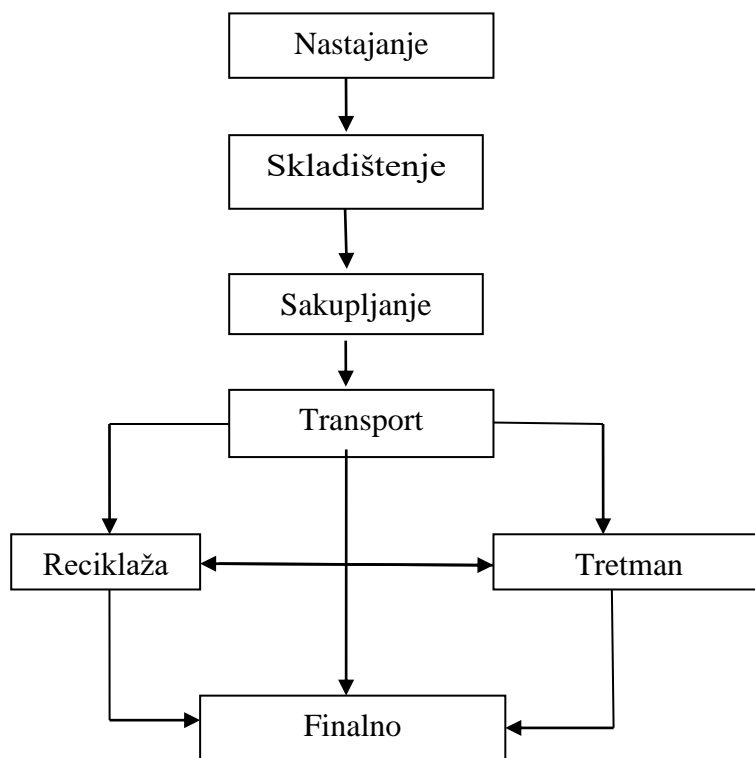
Svi ovi procesi moraju se sprovesti u okviru postojećih zakonskih i socijalnih smjernica koje štite javno zdravlje i životnu sredinu i estetski su i ekološki prihvatljivi. Da bi postupak zbrinjavanja otpada bio u skladu sa stavovima javnosti, moraju biti uzete u obzir različite discipline kao što su administrativne, finansijske, pravne, arhitektonske, planske i inženjerske. Sve ove discipline moraju komunicirati jedne s drugima u pozitivnom interdisciplinarnom odnosu da bi plan upravljanja čvrstim otpadom bio uspješan. Rješenje često podrazumijeva složen multidisciplinarni odnos između oblasti kao što su politika, prostorno planiranje, geografski i ekonomski faktori, zdravstvo, demografski uslovi, saobraćaj, inženjerstvo i nauka o materijalima.

Upravljanje čvrstim otpadom i zaštita životne sredine je složen proces i zavisi od niza faktora. Rast količina i vrsta čvrstog otpada, troškovi tretmana i odlaganja otpada, zaštita životne sredine i zdravlja, samo su dio faktora, koji imaju uticaj na funkcionisanje i poboljšanje sistema upravljanja čvrstim otpadom. Razvojem industrije, došlo je do intenzivne produkcije različitih vrsta opasnog otpada, koji svojim karakteristikama značajno i dugoročno mogu uticati na zdravlje ljudi, žive organizme i ekosistem u cjelini.

Upravljanje čvrstim otpadom jedna je od najvažnih funkcija bilo koje gradske lokalne vlasti. Obuhvata sve aktivnosti koje se odnose na kontrolu, prikupljanje, transport, obradu i odlaganje otpada u skladu sa najboljim principima javnog zdravlja, ekonomije, inženjerstva, očuvanja životne sredine, estetike i drugih aspekata. Osnovni cilj upravljanja čvrstim otpadom je zaštita zdravlja stanovništva, promovisanje kvaliteta životne sredine, razvoj održivosti i podrška ekonomskoj produktivnosti korišćenjem otpada kao resursa.

1.4. FUNKCIONALNI ELEMENTI SISTEMA UPRAVLJANJA OTPADOM

Sistem upravljanja otpadom se sastoji iz više funkcionalnih elemenata ili podsistema: nastajanje otpada, sakupljanje, transport, reciklaža, tretman (prerada) i finalno odlaganje otpada. Međusobni odnos elemenata prikazan je na slici 1.1.



Slika 1.1. Elementi sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom

Nastajanje (proizvodnja) otpada obuhvata aktivnosti u kojima su materijali identifikovani kao nekorisni i zbog toga su odbačeni. Proizvodnja otpada je u prethodnom periodu bila aktivnost koja nije mnogo kontrolisana, a sada se sve više posvećuje pažnja smanjenju otpada na izvoru, kao metode ograničavanja količine nastalog otpada.

Privremeno skladištenje je faza odbacivanja nastalog otpada na mjesta sa kojih preuzima komunalno preduzeće ili neka druga organizacija (odbacivanje miješanog otpada u kontejnere za miješani otpad ili sortiranje otpada u posebne kontejnere, reciklažna dvorišta i slično). Najbolje mjesto za odvajanje otpadnih materija za

ponovnu upotrebu i recikliranje je mjesto nastajanja. Prerada otpada na izvoru uključuje aktivnosti kao što je kompostiranje biootpada u dvorištu.

Sakupljanje je proces u kojem nadležne službe (komunalna preduzeća) ili sami građani odnose privremeno odloženi otpad na dalju preradu ili konačno odlaganje.

Transport otpada predstavlja kretanje sakupljenog otpada od mjesta sakupljanja otpada do mjesta istovara otpada, kao npr. postrojenje za preradu materijala, transfer (pretovarna) stanica ili deponija otpada.

Konačno odlaganje je poslednja faza sistema upravljanja otpadom, pri čemu se može odlagati ostatak od prerade ili početni nastali otpad. Odlaganje se izvodi na sanitarnim deponijama koje podrazumijevaju provođenje neophodnih procesa i mjera za sprečavanje negativnog uticaja odloženog otpada na životnu sredinu i zdravlje ljudi.

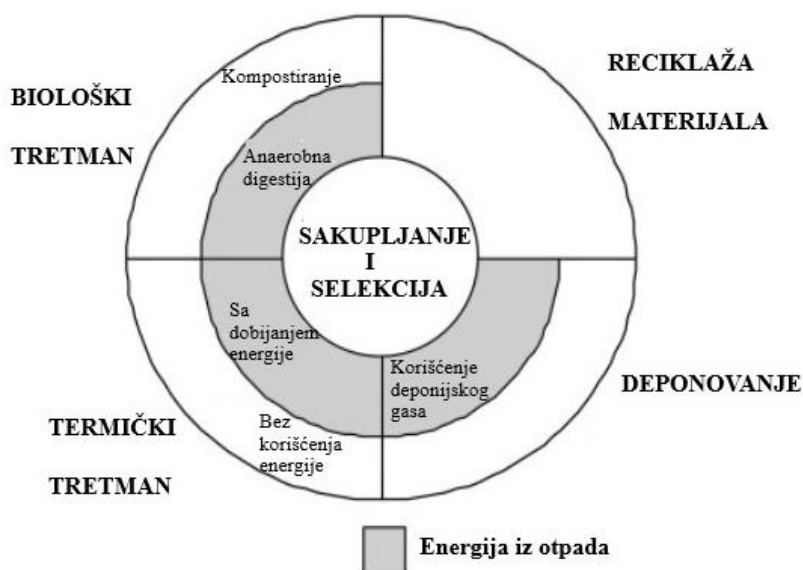
1.5. INTEGRALNI PRISTUP UPRAVLJANJU OTPADOM

Procesi upravljanja otpadom obično uključuju brojne tehničke, ekološke, demografske, socio-ekonomske i zakonske parametre. Takvi složeni nelinearni procesi su izazovni za upravljanje, predviđanje i optimizaciju procesa. Integralni sistem podrazumijeva pravilan izbor i primjenu optimalnih tehnologija kojima se ostvaruju posebni ciljevi upravljanja otpadom uz definisanje adekvatne zakonske regulative. U kontekstu menadžmenta integralno upravljanje, u opštem smislu, se definiše kao: „Obuhvatanje efektivnog pravca svakog aspekta organizacije tako da potrebe i očekivanja svih učesnika (*stakeholders*) budu u jednakoj mjeri zadovoljena najboljom upotrebom resursa”. Sa tog aspekta, integralni pristup upravljanju otpadom se može definisati kao skup aktivnosti, odluka i mjera koje se odvijaju po definisanoj hijerarhiji: sprečavanje nastanka otpada, pripreme za ponovnu upotrebu, reciklažu, energetsko iskorišćavanje i odlaganje otpada. U praksi to podrazumijeva da se integralan koncept upravljanja otpadom sastoji od: različitih modela prevencije i sakupljanja; izdvajanja (selekcije) radi proizvodnje reciklabilnih materijala; različitih oblika tretmana korišćenjem biološke i termičke tehnologije (sa ili bez korišćenja energije), kao i različitih tipova deponija (slika 1.2). Umesto hijerarhije preferiranih opcija upravljanja otpadom (kao na slici 1.3), integralni pristup je holistički, koji prepoznaje da sve opcije mogu imati ulogu u upravljanju otpadom, zavisno od lokalne situacije (McDougall, et al. 2008). Postojeće razlike u geoprostoru mogu se ogledati u dostupnosti nekih opcija za upravljanje otpadom (kao što su deponije), kao i u veličini tržišta za proizvode

dobijene upravljanjem otpadom (kao što su reciklirani materijali, kompost i energija).

Možemo reći da je integralni sistem upravljanja otpadom ekonomski i ekološki razumno upravljanje otpadom od nastanka, sakupljanja, prevoza, iskorišćavanja i prerade do finalnog odlaganja, uz zakonsku odgovornost i obavezu smanjivanja otpada.

U članicama Evropske unije integralni sistem upravljanja otpadom naziva se i privreda otpada, koja predstavlja zbir svih političkih, tehničkih, ekonomskih i ostalih mjera kojima se ostvaruje smanjenje otpada, iskorišćavanje otpada i sigurno odlaganje ostatka otpada uz zadržavanje postojeće proizvodnje i potrošnje. Industrija ima ulogu u tome razvijajući proizvode koji zadovoljavaju potrebe svjetskog stanovništva koristeći manje prirodnih resursa, uključujući energiju i stvarajući manje otpada.



Slika 1.2. Elementi integralnog upravljanja otpadom (prema McDougall et al. 2008)

Na osnovu svega navedenog možemo zaključiti da je upravljanje otpadom vrlo složena djelatnost koja zahvata sve grane privrede, proizvodnje i potrošnje, a sadrži čitav niz postupaka i tehnologija od kojih se veliki dio primjenjuje u **različitim oblicima**.

U nastavku ovog poglavlja će ukratko biti analizirani neki od najčešće primjenjivanih koncepata čija je dodirna tačka upravljanje otpadom, iako su neki od njih mnogo kompleksniji i obuhvataju šire uticaje na životnu sredinu. Zajednički cilj dolje pomenutih koncepata je da se minimizuje proizvodnja otpada, iako ovi pristupi imaju veoma različit sistem dostizanja cilja.

1.5.1. Hijerarhija upravljanja otpadom

Hijerarhija upravljanja otpadom predstavlja opšteprihvaćen i preporučen redoslijed prioriternih aktivnosti, odnosno rangiranje aktivnosti po stepenu važnosti, kojim se provodi upravljanje otpadom (slika 1.3). Hijerarhija upravljanja otpadom je predstavljena u obliku obrnute piramide gdje je sprečavanje nastajanja (smanjenje količine) otpada najpoželjnija opcija, zatim njegovo ponovno korišćenje, reciklaža (3R – *Reduce, Reuse, Recycle*)², zatim regeneracija, te na kraju njegovo deponovanje kao najmanje poželjna aktivnost u upravljanja otpadom. Principom hijerarhije navedenih procesa u upravljanju otpadom promovise se ušteda i održivo korišćenje neobnovljivih resursa, kao i veća upotreba obnovljivih resursa.

- 1) **Prevenција stvaranja otpada i redukcija**, odnosi se na minimizaciju korišćenja resursa i smanjenje količina kao i opasnih karakteristika otpada. Predstavlja prvi i najvažniji korak u hijerarhiji, jer podrazumijeva smanjenje troškova za njegovo upravljanje, kao i smanjenje uticaja na životnu sredinu. Postiže se primjenom savremenije proizvodnje kao i promjenama potrošačkih navika i pakovanja.
- 2) **Ponovna upotreba**, odnosno ponovno korišćenje proizvoda za istu ili drugu namjenu. Ponovnim korišćenjem proizvoda produžavamo njegovo trajanje prije nego što postane otpad³ i obezbijedujemo uštede u korišćenju resursa.

² U praksi se hijerarhija upravljanja otpadom često sagledava kroz prizmu 3R modela koji podrazumijeva:

- 1) Reduce – smanjiti ili redukovati nastanak proizvoda, a time i otpada.
- 2) Reuse – ponovo iskoristiti proizvode odnosno produžiti im što je moguće duže životni vijek.
- 3) Recycle – reciklirati, odnosno otpad upotrebljavati kao sekundarnu sirovinu za proizvodnju novih proizvoda.

Ova tri postupka nisu ravnopravna, već su u hijerarhijskom odnosu, jer je najpoželjnija praksa ona koja se odnosi na smanjenje nastanka otpada, a najmanje poželjna ona koja se odnosi na reciklažu otpada.

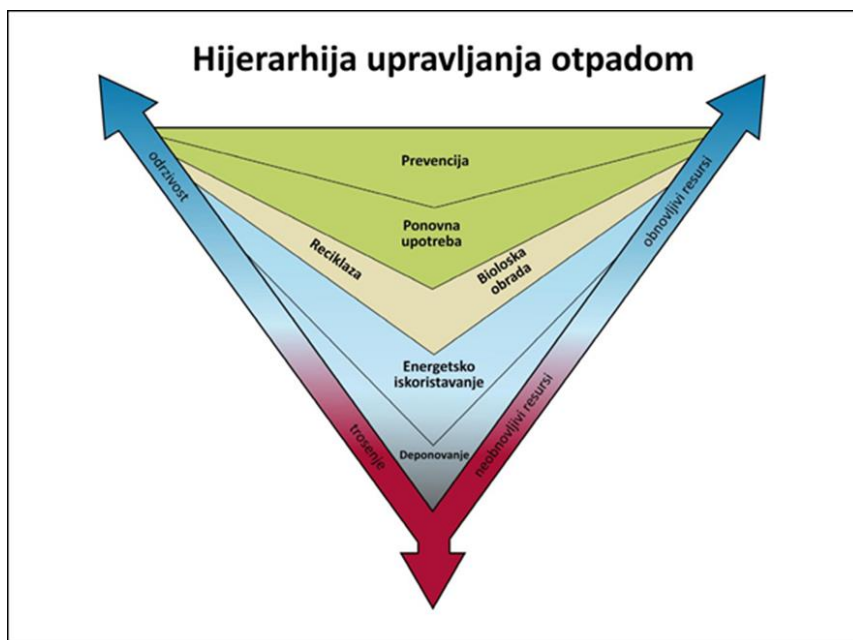
³ Primjeri prevencije nastanka komunalnog otpada:

- 1) Birajte namirnice u povratnoj (staklenoj) ambalaži jer se staklo može koristiti ponovo te se u potpunosti može reciklirati. Iskorišćene staklenke možemo koristiti skoro

- 3) **Reciklaža otpada**, odnosi se na preradu otpada radi korišćenja proizvoda kao sirovine u proizvodnji istog ili različitog proizvoda. Ovaj postupak omogućuje ponovnu upotrebu otpadnih materijala primjenom različitih fizičkih i/ili hemijskih metoda obrade. Zauzima centralno mjesto u hijerarhijskom nizu, te se predstavlja kao preporuka kojoj se posvećuje maksimalna pažnja. Reciklaža je važan faktor koji pomaže da se smanji potražnja za resursima i količina otpada koji zahtijeva odlaganje deponovanjem. Kad jednom iskoristimo proizvod i odbacimo ga te on završi na deponiji otpada, resursi korišćeni za njegovu proizvodnju ostaju neiskorišćeni.
- 4) **Regeneracija (obnavljanje) ili iskorišćenje (*Recovery*)** je svaki postupak kojim se postiže njegovo korišćenje u materijalne ili energetske svrhe. Postupkom regeneracije otpad se koristi kao zamjena za drugi materijali i na taj način čuvaju prirodni resursi (npr. korišćenje otpada kao goriva u procesu insineracije za dobijanje električne energije ili toplote).
- 5) **Odlaganje otpada** – predstavlja najmanje poželjnu aktivnost u hijerarhiji upravljanja otpadom (pored spaljivanja bez iskorišćenja energije), zbog trajnog odbacivanja materijalnih i energetskih vrijednosti otpada. U skladu sa načelom hijerarhije upravljanja otpadom odlaganje otpada na deponiju vrši se samo ako ne postoji drugo odgovarajuće rješenje, odnosno samo onaj otpad za koji ne postoji mogućnost neke druge prerade ili iskorišćavanja. Otpad se odlaže na uređenu, tj. sanitarnu deponiju koja ispunjava tehničke, tehnološke i druge uslove i zahtjeve koji obezbijavaju sprečavanje negativnog uticaja deponije na elemente životne sredine i zdravlje ljudi.

neograničeno, za zimmicu ili skladištenje suve hrane. Nosite uvijek platnenu vrećicu sa sobom kako biste izbjegli plastičan otpad i uštediti novac.

- 2) Nemojte koristiti jednokratne plastične proizvode (vrećice, tanjire, pribor za jelo, slamke).
- 3) Radije kupite jedan kvalitetan proizvod koji će vam dugo trajati nego više nekvalitetnih koje ćete brzo odbaciti.
- 4) Odjeću koja vam ne treba donirajte ili odložite na recikliranje (ili jednostavno koristite kao krpe za čišćenje).



Slika 1.3. Hijerarhija upravljanja otpadom (Topić i dr., 2013).

Princip hijerarhije otpada je uključen u Okvirnu direktivu o otpadu 2008/98/EC i naknadno je transponovan u nacionalno zakonodavstvo država članica Evropske unije (EU), ali i u zakone o upravljanju otpadom na prostoru BiH. Cilj direktiva Evropske unije o upravljanju otpadom je da promoviše prevenciju otpada i primjenu principa hijerarhije upravljanja otpadom, odnosno davanja prioriteta smanjenju, ponovnoj upotrebi i reciklaži otpada u odnosu na tretman ili odlaganje. Smanjenje nastanka otpada zahtijeva koncept ekološki održivog razvoja i efikasnu upotrebu resursa koji podrazumijeva mijenjanje proizvodnih i potrošačkih navika i aktivnosti postupanja sa otpadom, kako bi se akumuliralo manje otpada i kako bi se ponovna upotreba i reciklaža otpada podigla na viši nivo.

1.6. RAZVOJ KONCEPTA CIRKULARNE EKONOMIJE

Cirkularna ili kružna ekonomija odnosi se na model proizvodnje i potrošnje koji zamjenjuje donedavno najpopularniji linearni model. Koncept linearne ekonomije je vođen principima: „Uzmi iz prirode, napravi, konzumiraj i baci“. Dosadašnji linearni model razvoja, koji je neminovno vodio iscrpljivanju resursa i nagomilavanju otpada, pokazao se neodrživim. Nasuprot tome, cirkularna ekonomija je pokret prema održivom razvoju koji predlaže zatvoreni sistem u kojem se ponovno koristi i reciklira te time smanjuje potreba za novim

materijalima, poboljšava mogućnost budućih generacija da zadovolje potrebe za prirodnim resursima. Cirkularna ekonomija predstavlja pristup korišćenju sirovina tako da se resursi zadržavaju u privredi nakon završetka vijeka trajanja proizvoda, u cilju stvaranja nove vrijednosti i novih poslovnih mogućnosti, da bi otpad jedne industrije postao sirovina za drugu industriju, uz ostvarivanje finansijskih ušteda (slika 1.4). Time se produžava životni vijek proizvoda, postiže efikasno korišćenje materijalnih resursa, smanjuje količina otpada i pritisak na životnu sredinu, te povećava sigurnost snabdijevanja sirovinama.



Slika 1.4. Usporedni prikaz koncepta linearne i cirkularne ekonomije (NALED, 2020)

Evropa se sve više okreće „cirkularnoj ekonomiji“, odnosno privredi sa zatvorenim tokom otpada. Daleki cilj je „Evropa bez otpada“ (*zero waste*), što znači upotreba otpada, kad god je to moguće, kao sirovine. Evropska unija je usvojila paket mjera tranzicije ka cirkularnoj ekonomiji kao konceptu koji naglašava prednosti recikliranja otpadnih materijala i nusproizvoda, promovise minimiziranje upotrebe resursa (materijala i energije) kroz usvajanje čistih tehnologija i sistemskog pristupa. To u praksi znači da otpad iz neke fabrike postaje vrijedna sirovina u nekom drugom proizvodnom procesu. Razvoj cirkularne ekonomije, između ostalog podrazumijeva, i ponovno korišćenje otpada nastalog u procesu proizvodnje ili nakon upotrebe proizvoda. Proizvodi bi trebalo da budu dizajnirani da traju duže, da se lakše popravljaju i da sadrže više recikliranih materijala, umjesto da budu odbačeni. Prema tome, cirkularna ekonomija predstavlja drugačiji

privredni model koji teži da produži „životni vijek” proizvoda i vrati sav otpadni materijal u proces proizvodnje. Prema pravilima Evropske unije treba garantovati da reciklaža materijala ne dovodi do nastavka korišćenja opasnih materija koje bi predstavljale rizik za ljudsko zdravlje ili životnu sredinu.



Slika 1.5. Cirkularna ekonomija: model kruženja sirovina i njihove ponovne upotrebe

Po ugledu na krug, ekonomija predstavlja zatvoren sistem, predviđen da ne utiče na životnu sredinu, pošto se suština modela cirkularne ekonomije svodi na „kruženje materijala i njegovu ponovnu upotrebu”, (slika 1.5) uz minimalno korišćenje energije i vode (OEBS, 2019).

Dobijanje sekundarnih sirovina iz otpada u kružnom reciklažnom ciklusu može se ostvariti na tri različita načina:

- 1) Ponovnim korišćenjem: npr. protektovanjem istrošenih automobilskih guma, korišćenjem boca za višekratnu upotrebu i sl.
- 2) Dalju upotrebu za proizvodnju istog proizvoda: npr. korišćenje starog staklenog krša za proizvodnju novih staklenih proizvoda, starog papira i kartona za proizvodnju novog i sl.
- 3) Iskorišćavanjem u druge namjene: npr. kućnog organskog otpada za proizvodnju komposta.

Materijal koji se koristi u postupku recikliranja ili ponovne upotrebe mora biti odgovarajuće čistoće, odnosno kvaliteta, što pred procese mehaničkog tretmana postavlja složene zadatke. Samo adekvatno pripremljeni materijali mogu se vratiti u proizvodnju i ući u zatvoreni krug cirkularne ekonomije (Milanović, Sinčić, 2018).

Usvajanjem EU akcionog plana za cirkularnu ekonomiju, 2015. godine, Evropska unija je odlučila da usvoji koncept cirkularnosti kao vodeći princip, čime bi se širom Evrope podstaklo efikasno upravljanje resursima, industrijski rast, održiva potrošnja i proizvodnja. U Evropi, cirkularna ekonomija se zasniva na 4 principa:

- 1) Promjena obrazaca proizvodnje i potrošnje;
- 2) Unapređenje upravljanja otpadom;
- 3) Postavljanje sekundarnog tržišta sirovina;
- 4) Podsticanje ekonomije i otvaranje novih radnih mjesta.

U skladu s ciljem klimatske neutralnosti Evropske unije do 2050. godine, u okviru Zelenog plana Evropska komisija predložila je u martu 2020. godine Akcioni plan za cirkularnu ekonomiju s naglaskom na sprečavanju nastanka otpada i upravljanju otpadom, s ciljem podsticanja rasta, konkurentnosti i globalnog vođstva Evropske unije u tom području. Akcioni plan je postavio 35 inicijativa za smanjenje potrošnje u Evropi i udvostručenje količine materijala koje će zemlje članice ponovno upotrijebiti u narednoj deceniji. Komisija je u martu 2022. godine predstavila najnoviji paket prijedloga Evropskog zelenog dogovora kako bi održivi proizvodi postali norma u EU, podstakli kružne poslovne modele i osnažili potrošače za zelenu tranziciju. U nekim oblastima privrede, potrebna je hitnija transformacija, kao na primjer u oblasti elektronike, baterija, vozila, ambalaže, plastike, tekstila, građevinarstva i hrane. Tekstilna industrija je jedan od sektora koji najviše zagađuju, rasipaju i eksploatišu materijale, tako da će za nju među prvima biti uvedeni novi propisi o ekodizajnu. Komisija je predstavila novu strategiju da se tekstil učini trajnijim, višekratnim i reciklažnim, kako bi se uhvatila u koštac sa brzom modom, tekstilnim otpadom i uništavanjem neprodatog tekstila, te osigurala da se njihova proizvodnja odvija uz puno poštovanje socijalnih prava. Tekstil koji se plasira na tržište EU moraće da bude izdržljiv, napravljen većinom od recikliranih vlakana i bez opasnih supstanci.

Iz dijapazona znanja o cirkularnoj ekonomiji su razvijeni različiti koncepti koji se u praksi ponekad preklapaju, kao što su koncept Nula otpada (*Zero Waste*), koncept „upravljanja i procjene životnog ciklusa“ (*Life Cycle Management and*

Assessment), koncept „hijerarhije čvrstog otpada“ (*Solid Waste Hierarchy*), koncept „EASE WASTE“ i dr.

O konceptu hijerarhije čvrstog otpada je već bilo riječi kao jednom od najvažnijih principa upravljanja otpadom. Danas hijerarhija upravljanja otpadom trpi određene kritike, a jedni od najglasnijih kritičara takvog modela su zagovornici „Zero Waste“ (ZW) modela. Primjera radi, jedna od najpoznatijih evropskih ZW grupa („Zero Waste“ evropska mreža) smatra da je koncept hijerarhije otpada dobar, ali nedovoljan, s obzirom da se fokusira isključivo na reperkusije upravljanja otpadom na životnu sredinu, dok zanemaruje društvene, ekonomske i logističke faktore (zerowasteurope.eu, 2019).

Koncept nula otpada (*Zero Waste*) proizlazi iz koncepta cirkularne ekonomije, čija je ideja, među ostalim, zadržavanje postojećih resursa i dobijenih proizvoda u stalnoj cirkulaciji putem recikliranja i drugih metoda. „Zero Waste“ model se u prvom redu fokusira na smanjenje zapremine i toksičnosti otpada, posebno ako postoje, ili će se razviti, sigurnije alternative kojima će se olakšati recikliranje. U praksi smanjenje (prevencija) nastanka otpada podrazumijeva da se već pri kupovini proizvoda građani mogu uticati na smanjenje nastanka i štetnosti otpada. Na primjer, kupovinom višenamjenskih proizvoda, proizvoda koji sadrže manju količinu štetnih sastojaka, kupovinom manjih količina proizvoda (a ne stvaranjem zaliha koje se mogu pokvariti) može se značajno smanjiti nastajanje novog otpada. Koncept nula otpada se može definisati kao model koji teži očuvanju svih resursa odgovornom proizvodnjom, potrošnjom, ponovnom upotrebom i regeneracijom proizvoda, ambalaže i materijala, bez spaljivanja i deponovanja kao postupaka koji ugrožavaju životnu sredinu ili zdravlje ljudi. Kad se količina sirovina smanji i kad se ponovo upotrijebe do stepena u kome je to moguće, onda princip nula otpada predlaže da se sav preostali materijal reciklira i kompostira, na način koji će donijeti najviše koristi. U sistemu nula otpada, svaki materijal čija se količina ne može ponovo koristiti, reciklirati ili kompostirati, vraća se proizvođaču ili direktno ili putem maloprodajnih kanala. Dakle, cilj koncepta je maksimalna produktivnost resursa i povećanje eko-efikasnosti uz istovremenu eliminaciju otpada ili zagađenja. Unutar Evropske unije sistem nulta otpada sve više biva prepoznat kao glavno sredstvo za prevođenje koncepta cirkularne ekonomije u praktična rješenja. Sa preko 400 opština širom Evrope koje su se već obavezale na strategije ka nultom otpadu, ovaj sistem se pokazuje kao savršeno rješenje za cirkularnost na lokalnom nivou.

1.7. KONCEPT PROCJENE ŽIVOTNOG CIKLUSA (LCA)

Koncept procjene životnog ciklusa (LCA) je relativno nov koncept, a zasniva se na kvantifikaciji svih uticaja na životnu sredinu nekog proizvoda, procesa, usluge ili sistema uzimajući u obzir svaki korak u životnom ciklusu tog proizvoda. LCA primjenjuje holistički pristup u odnosu na sistem koji proučava i u odnosu na uticaje obuhvaćene u okviru parametara koji se procjenjuju. U principu, LCA uzima u obzir sve uticaje na ovim „područjima zaštite“, od promjene klime kao posljedice emisije gasova sa efektom staklene bašte, do uticaja na ljudsko zdravlje povezanih sa ispuštanjem toksičnih supstanci ili ekoloških uticaja izazvanih fizičkim promjenama zemljišta. Ovaj koncept je našao široku primjenu u industriji u cilju smanjenja pritisaka na životnu sredinu izazvanih proizvodnjom, upotrebom i odlaganjem proizvoda. Koncept LCA je alat koji se može uspješno primijeniti i na sistem upravljanja komunalnim otpadom u svrhu identifikacije opterećenja životne sredine i procjene uticaja na životnu sredinu (npr. iskorišćavanje resursa te posljedice ispuštanja otpada za životnu sredinu). Donošenjem odluka tokom procesa projektovanja i promovisanjem prevencije otpada u sistemima upravljanja nastoji se smanjiti potencijalni uticaj nekog proizvoda i usluga ili sistema na životnu sredinu, od ekstrakcije sirovina, kroz proizvodnju, korišćenje i odlaganje, zbog čega je ovaj pristup nazvan „od kolijevke do groba“.

Ekološka procjena sistema i tehnologija čvrstog otpada – EASEWASTE (*engl. Environmental Assessment of Solid Waste Systems and Technologies*) je novi model za procjenu ukupne potrošnje resursa i ekoloških uticaja sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom korišćenjem procjene životnog ciklusa. Ovaj model može uporediti različite strategije upravljanja otpadom, metode tretmana otpada i tehnologije obrade otpada. Za razliku od principa hijerarhije u upravljanju otpadom čije rangiranje pristupa rukovanju možda nije uvijek ekološki najprihvatljivije, model EASEWASTE pokušava identifikovati ekološki najodrživije rješenje, koje se može razlikovati među otpadnim materijalima i regijama i može dodati vrijedne informacije o ekološkim dostignućima iz svakog procesa u sistemu upravljanja čvrstim otpadom. Model kao što je EASEWASTE mogu koristiti planeri otpada za optimizaciju postojećih sistema upravljanja otpadom s obzirom na ekološka dostignuća, a vlasti za postavljanje smjernica i propisa i procjenu različitih strategija za rukovanje otpadom. Iz dosadašnje primjene modela može se zaključiti da EASEWASTE model može biti od velike pomoći za istraživanje i optimizaciju sistema upravljanja otpadom, a naročito u zemljama koje nemaju razvijene tehnologije za upravljanje komunalnim otpadom.

1.8. IZBOR PRISTUPA UPRAVLJANJA ČVRSTIM OTPADOM

Glavni cilj svih navedenih pristupa upravljanja otpadom je zaštita životne sredine i očuvanje resursa. Ne postoji univerzalan optimalan sistem za upravljanje otpadom zbog razlika u karakteristikama otpada, izvorima energije, dostupnosti nekih opcija odlaganja i veličine tržišta za proizvode dobijene upravljanjem otpadom. Da bi sistem upravljanja otpadom bio održiv, mora biti ekološki efikasan, ekonomski pristupačan i društveno prihvatljiv. Za adekvatan pristup rješavanja problema upravljanja otpadom potrebno je sagledati različite aspekte i raspolagati nizom ulaznih podataka (o količinama i vrstama otpada, načinu zbrinjavanja, raspoloživim tehnologijama, stanju na postojećim deponijama) kako bi se pronašli optimalni strateški pravci za zbrinjavanje različitih kategorija otpada. Strategijom se razmatraju potrebe za institucionalnim jačanjem, uspostavljanjem zakonskih i podzakonskih akata, provođenjem propisa na svim nivoima, edukacijom i razvijanjem javne svijesti i drugim aktivnostima. Upravljanje otpadom zahtijeva posebnu vrstu pristupa različitim izazovima koji će dati specifična rješenja za lokalne probleme. Za optimalan izbor sistema i tehnologija upravljanja čvrstim otpadom polazi se od definisanja: (1) tokova produkcije otpada (komunalni, industrijski, medicinski i drugi); (2) izbora sistema prikupljanja otpada, separacije i skladištenja na mjestu nastajanja otpada, (3) transporta otpada; (4) načina procesa prerade i transformacije čvrstog otpada u sirovinu ili energiju i (5) metode konačnog odlaganja otpada. Optimalan sistem upravljanja čvrstim otpadom za bilo koji region treba odrediti lokalno kako bi se postigla ekonomska efikasnost i smanjio uticaj na životnu sredinu, čime će doprinijeti zdravlju ljudi i ekonomskom razvoju, a u isto vrijeme će se obezbijediti zadovoljenje potreba sadašnjih i budućih generacija.

2. ZAKONSKI OKVIR ZA UPRAVLJANJE OTPADOM

Prije razmatranja zakonskog okvira za upravljanje otpadom u inostranstvu i našoj zemlji, nije na odmet podsjetiti se idejnih osnova iz kojih je proistekla bogata zakonska regulativa u oblasti zaštite životne sredine i upravljanja čvrstim otpadom. Intenzivnim razvojem nauke i tehnologije, proizvodnjom sve više proizvoda različitih karakteristika, kao nusproizvod je nastala i proizvodnja sve veće količine otpada, od čega veliku količinu i opasnog otpada, čije osobine i uticaji na zdravlje i životnu sredinu do tada nisu bili poznati. Svi ovi faktori su uticali na to da zakonodavstva svih zemalja razmatraju problematiku zaštite životne sredine, pri čemu upravljanje otpadom čini nezaobilazan dio ovih zakona i podzakonskih akata. Pored opštih stavova koji na jedan načelan način ukazuju kako na pravo ljudi na zdravu životnu sredinu, tako i na obavezu društvene zajednice da obezbijeduje uslove za ostvarenje tog prava, postoji i čitav niz pravnih propisa koji se bave zaštitom životne sredine uopšte, pa samim tim i jednog njenog posebnog segmenta koji se odnosi na upravljanje otpadom. Pri tome, pored osnovnih ciljeva, koji su u funkciji zaštite zdrave životne sredine, upravljanje otpadom ima poseban zadatak koji se sastoji u tome da taj ogromni materijal koji se svakodnevno stvara, iskoristi na pogodan i koristan način. Drugim riječima, čovjekov napor se usredsređuje ne samo na zaštitu sebe i svoje životne sredine od opasnosti koje može da izazove otpad, nego i na ostvarenje koristi od otpada koji može ponovo da se koristi na različite načine, od iste ili slične namjene do korišćenja njegove materijalne ili energetske vrijednosti. To znači da je upravljanje otpadom jedan širi proces koji sadrži u sebi osnovne ciljeve, principe i opcije koje će na optimalan način omogućiti da se šteta od nastanka i korišćenja otpada svede na najmanju moguću mjeru, a korist od njega dovede do optimalnog nivoa.

Globalni problemi životne sredine s kojima smo danas suočeni, kao što su klimatske promjene, uništavanje ozonskog omotača, iscrpljivanje neobnovljivih prirodnih resursa i energetska kriza, nuklearni incidenti, neadekvatno upravljanje otpadom, te mnogi drugi, su sistemskog karaktera i ne mogu se rješavati izolovano, nego zahtijevaju adekvatna rješenja koja se ne mogu provesti samo na nacionalnom nivou, već na cijelom regionalnom, evropskom, pa i globalnom prostoru. Cilj je da se obezbijedi održivi razvoj i da se kvalitet životne sredine očuva na nivou koji je neophodan za opstanak sadašnjih i svih budućih generacija na planeti. Neophodno je da države sarađuju međusobno na usvajanju nadnacionalnih mjera politike, na

razvijanju međunarodne regulative, međunarodnih strategija, programa i planova sa ciljem da koordiniraju akcije za zaštitu životne sredine i održivo korišćenje resursa.

2.1. MEĐUNARODNI PROPISI O UPRAVLJANJU OTPADOM

U stvaranju međunarodnog poretka danas učestvuje gotovo dvije stotine država i brojne međunarodne organizacije. Karakter međunarodnog prava je takav da ono predstavlja sredstvo koordinacije, odnosno usklađivanje odnosa. Pri tome se vodi računa da se putem tih kompromisa ne negiraju nacionalne i druge posebnosti pojedinih država, što se izražava postojanjem principa nemiješanja u unutrašnje stvari država kao jednim od vrhovnih načela međunarodnog prava (Prlja i drugi, 2012).

Normativni izraz tog zajedništva ispoljava se i realizuje kroz formiranje određenih međunarodnih organizacija i društava na globalnom planu. Tu se u prvom redu misli na Ujedinjene nacije kao opštepriznat međunarodni pravni poredak na globalnom nivou. Povelja UN ničim ne isključuje postojanje regionalnih sporazuma ili ustanova, koje mogu funkcionisati pod uslovom da su njihovi pravni akti i njihovo djelovanje u skladu sa načelima UN-a. Smatra se da je savremena međunarodna diplomatija u oblasti životne sredine začeta 1972. godine na Prvoj konferenciji Ujedinjenih nacija o životnoj sredini, koja je održana u Stokholmu. Konferencija u Stokholmu, iako na njoj nije usvojen međunarodni ugovor, uspjela je stvoriti novu kolektivnu atmosferu saradnje između država i bila prvi ozbiljan korak u izgradnji međunarodnog prava životne sredine. Međutim, većina međunarodnih ugovora koji su zaključeni nakon Stokholmske konferencije bila je regionalnog karaktera. Dvadeset godina kasnije, 1992. godine održana je Konferencija Ujedinjenih nacija o životnoj sredini i razvoju – Samit u Riju, koja predstavlja drugu bitnu odrednicu u međunarodnom pokušaju da dođe do smanjenja uticaja društveno-ekonomskih aktivnosti na životnu sredinu. Na ovom svjetskom samitu su utvrđene smjernice za društveno-ekonomske promjene koje bi trebalo da povedu ka održivom razvoju. Međutim, neodrživa proizvodnja i potrošnja u industrijskim zemljama ostala je praktičko i najvećim dijelom neizmijenjena, a politička predanost ideji održivog razvoja sve slabija. Iz tog razloga, deset godina nakon Samita u Riju, odnosno 2002. godine, u Johanesburgu je održan Svjetski samit o održivom razvoju koji je reafirmisao održivi razvoj kao pravac razvoja na međunarodnom nivou i dao dodatni podsticaj svjetskim naporima u borbi protiv siromaštva i naporima za zaštitu životne sredine. Na ovom samitu učestvovali su predstavnici vlada, nevladinih organizacija i drugih zainteresovanih grupa.

U oblasti zaštite, unapređenja i očuvanja životne sredine traži se da saradnja među državama bude efikasna i da u toj oblasti postoji stalna koordinacija. Svi oblici saradnje koji važe u međunarodnim odnosima uopšte, prisutni su i u sferi zaštite životne sredine, kao i u upravljanju otpadom. U tom smislu, posebno su aktuelni međunarodni dokumenti koji na globalnom, kontinentalnom ili regionalnom nivou samostalno uređuju ovu materiju, ili u čijim se okvirima, pored ostalih pitanja, tretiraju i problemi vezani za djelatnost upravljanja otpadom.

Bazelska konvencija o kontroli prekograničnog kretanja opasnog otpada i njegovom zbrinjavanju je jedan od najvažnijih međunarodnih ugovora iz područja upravljanja otpadom. Ovaj multilateralni ugovor sačinjen je u Bazelu (Švajcarska) 1989. godine. Konvencijom se regulišu norme postupanja, odnosno kriterijumi za upravljanje otpadom na način usaglašen sa zahtjevima zaštite i unapređenja zaštite životne sredine, kao i postupci prekograničnog kretanja opasnog i drugog otpada. Konvencija priznaje pravo svake države da zabrani ulazak i odlaganje opasnog otpada na svojoj teritoriji. Osim toga, Konvencija određuje da se nezakoniti promet opasnog otpada smatra kaznenim djelom i obavezuje države stranke da osiguraju njegovo kažnjavanje.

2.2. ZAKONSKI OKVIR O OTPADU U EVROPSKOJ UNIJI

Evropska unija (EU) predstavlja zajednicu evropskih zemalja čije se postojanje temelji na poštovanju principa demokratije, ljudskih prava, vladavine zakona i tržišne ekonomije. Od samog svog nastanka i osnivanja, Evropska unija je funkcionisala i rasla kroz širok spektar institucionalnih mehanizama, legislativa, institucija, sistema primjene obaveza i praćenja istih. Značajan korak u razvoju evropskog ekološkog prava učinjen je usvajanjem Ugovora o Evropskoj uniji 1991. godine, kojim je jasno utvrđena zaštita životne sredine kao jedna od osnovnih oblasti djelovanja Evropske unije. Ovim Ugovorom su dodati novi ciljevi osnivanja Zajednice, a to su „skladan, uravnotežen i trajan privredni razvoj“, kao i „održiv i neinflatorni rast poštujući životnu sredinu“. Razmjere u kojima se resursi trenutno iskorišćavaju dovode u pitanje mogućnost pristupa budućih naraštaja i zemalja u razvoju svome udjelu u oskudnim resursima. Razvojna politika Evropske unije zasniva se na principima održivog razvoja. Načela održivog razvoja predstavljaju uzajamne odnose između ekološkog, ekonomskog, kulturnog i institucionalnog razvoja koji se moraju zajedno razvijati i obezbijediti održivost sistema. U narednim Ugovorima (iz Amsterdama, Nice i Lisabona) važno mjesto zauzimaju i različiti mehanizmi saradnje, mogućnosti za učešće građana u donošenju odluka, kao i uvođenje novih oblasti djelovanja koje su u vezi sa

životnom sredinom (energetika i civilna zaštita). Šesti akcioni plan Evropske unije „Zaštita životne sredine 2010: naša budućnost, naš izbor“, usvojen 2001. godine, definiše prevenciju i upravljanje otpadom kao jedan od četiri glavna prioriteta s primarnim ciljem razdvajanja nastajanja otpada od privrednih aktivnosti. Strategija o sprečavanju nastajanja otpada i reciklaži, usvojena 2005. godine, definiše dugoročni cilj da EU postane društvo koje pokušava da izbjegne stvaranje otpada, koje reciklira i otpad koristi kao resurs. Tek kao posljednja opcija, ukoliko ništa od prethodnog nije ostvarljivo, otpad treba bezbiježno deponovati na uređenim sanitarnim deponijama ili spaliti bez iskorišćenja energije.

Za uspješan, stabilan i održiv razvoj društva potrebna je dobra pravna regulativa. U okviru Evropske unije zakonodavstvo priznaje više oblika zakonskih instrumenata, od kojih svaki ima drugačiju zakonsku snagu i odnosi se na različite ciljne institucije. Oblast upravljanja otpadom regulisana je kroz specifične oblike akata kao što su: direktive, uredbe, odluke, preporuke i sl. *Propisi* su pravne norme koje se primjenjuju direktno u zemljama članicama i imaju prednost nad nacionalnim zakonodavstvom. *Direktive* su obavezujuće za zemlje članice i obuhvataju njihove obaveze da određene odredbe integrišu u nacionalno zakonodavstvo u određenom roku. *Odluke* se odnose na specifična pitanja i pravno su obavezujuće za one institucije na koje su naslovljene. *Preporuke i mišljenja* su pravno neobavezujući tekstovi koji služe kao smjernice za institucije i članice EU. Takav pristup je višestruko koristan, a za rezultat ima veći stepen harmonizacije ovih propisa, pa samim tim i veći stepen obaveznosti pri njihovoj implementaciji.

Većina propisa u oblasti životne sredine u EU je usvojena u formi direktiva. Direktive su uglavnom okvirne, što ostavlja prostor državama članicama da ih pravilno unesu u nacionalno pravo i da ih primijene. Ujedno državama članicama, pored same forme akta, ostavlja se i sloboda u izboru metoda i načina primjene direktive, kao i određeni rok za unošenje propisa u nacionalno pravo. Sljedeći korak je praktična primjena donesenih propisa na nacionalnom nivou. Direktive podliježu čestim izmjenama koje su rezultat tehničkog napretka ili novih naučnih saznanja.

Uredbe su direktno primjenljive i ne zahtijevaju donošenje nacionalnog propisa za njihovu primjenu. Broj uredbi kojima se regulišu pitanja iz oblasti životne sredine nije veliki. Uredbe se, uglavnom, koriste za utvrđivanje nekih administrativnih i finansijskih mehanizama i organa. Tako je uredbom osnovana Evropska agencija

za životnu sredinu⁴, registar zagađivača⁵, a poznate su i Uredba o primjeni Arhuske konvencije⁶, Uredba o supstancama koje uništavaju ozon⁷ i Uredba o prevozu otpada.⁸

Odluke se obično koriste kao izvor prava kojim se dalje razrađuju odredbe donijetih uredbi i direktiva. Tako je, na primjer, donijeta Odluka o kriterijumima i postupcima za prijem otpada na deponije kojom se razrađuje Direktiva o deponijama otpadnih materija. Preporuke i mišljenja nisu pravno obavezujući izvori prava, što je jedan od razloga zašto nisu korišćeni u velikoj mjeri u ovoj oblasti⁹.

Direktive EU za područje upravljanja otpadom organizovane su u četiri grupe direktiva, u zavisnosti od toga da li propisuju:

- 1) Okvir upravljanja otpadom (Okvirna direktiva o otpadu i Direktiva o opasnom otpadu).
- 2) Posebne tokove otpada (Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu, Direktiva o zbrinjavanju otpadnih ulja, Direktiva o otpadu iz industrije u kojoj se koristi titan-dioksid, Direktiva o otpadnim vozilima, Direktiva o mulju iz uređaja za prečišćavanje otpadnih voda, Direktiva o otpadnoj električnoj i elektronskoj opremi, Direktiva o baterijama i akumulatorima koji sadrže određene opasne materije, Direktiva o zbrinjavanju polihlorovanih bifenila i polihlorovanih terfenila).
- 3) Izvještavanje zemalja članica u vezi sa sistemom upravljanja otpadom i prometom otpada (Direktiva o standardizaciji i racionalizaciji izvještaja o

⁴ Regulation (EC) No 401/2009 of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the European Environment Agency and the European Environment Information and Observation Network (Codified version), Official Journal L 126, 21/05/2009 P. 0013–0022.

⁵ Regulation (EC) No 166/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 January 2006 concerning the establishment of a European Pollutant Release and Transfer Register and amending Council Directives 91/689/EEC and 96/61/EC Text with EEA relevance, Official Journal L 033, 04/02/2006 P. 0001–0017.

⁶ Regulation (EC) No 1367/2006 of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on the application of the provisions of the Aarhus Convention on Access to Information, Public Participation in Decision-making and Access to Justice in Environmental Matters to Community institutions and bodies, Official Journal L 264, 25/09/2006 P. 0013–0019.

⁷ Regulation (EC) No 2037/2000 of the European Parliament and of the Council of 29 June 2000 on substances that deplete the ozone layer, Official Journal L 244, 29/09/2000 P. 0001–0024.

⁸ Regulation (EC) No 1013/2006 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2006 on shipments of waste, Official Journal L 190, 12/07/2006 P. 0001–0098.

⁹ Kao primjer možemo navesti Preporuku o ponovnoj upotrebi i reciklaži papira (81/972/EEC: Council Recommendation of 3 December 1981 concerning the re-use of waste paper and the use of recycled paper, Official Journal L 355, 10/12/1981 P. 0056–0057).

otpadu (91/662/EC), Uredba o kontroli kretanja otpada unutar područja, na području i s područja Evropske Unije).

- 4) Objekte za obradu i odlaganje otpada (Direktiva o deponijama, Direktiva o spaljivanju otpada, Direktiva o integralnoj prevenciji i kontroli zagađivanja).

Opšti cilj strategije EU u postupanju s otpadom je racionalno i ekološki prihvatljivo iskorišćavanje, odnosno upravljanje otpadom u cilju smanjenja količine otpada koja se odlaže u životnu sredinu. Ovaj cilj se realizuje kroz tri ključna evropska principa:

- 1) Prevencija nastajanja otpada (zatvaranjem proizvodnih ciklusa).
- 2) Reciklaža i ponovna upotreba (korišćenje sirovina i otpadnih materijala).
- 3) Poboljšanje konačnog zbrinjavanja otpada koje nije moguće reciklirati ili ponovo upotrijebiti.

Strategija EU o otpadu, ima za cilj sprečavanje nastajanja otpada, kao i korišćenje otpada kao resursa, prije svega za dobijanje sekundarnih sirovina i energije. Sa druge strane, upozorava se da interno tržište mora olakšati aktivnosti reciklaže i ponovne upotrebe uz postavljanje visokih standarda zaštite životne sredine. Kao preduslov dostizanja navedenih ciljeva, potrebno je modernizovati postojeći regulatorni okvir koji se ogleda kroz uvođenje analize životnog ciklusa u politiku upravljanja i pojednostavljenje i pojašnjenje zakonodavstva o otpadu EU. U okviru regulative i planskih dokumenata EU sve više se promovise smanjenje nastajanja otpada, što bi smanjilo problem otpada na samom izvoru.

Kao što je već pomenuto, većina zakona o otpadu u EU su direktive koje predstavljaju tačno definisani okvir organizovanja i regulisanja sistema upravljanja otpadom u zemljama članicama, ali istovremeno služe kao preporuke za prilagođavanje zakonodavstva zemljama koje su u procesu pridruživanja. Okvirne direktive postavljaju opšte principe, procedure i legislativne zahtjeve u različitim sektorima. Druge subdirektive u svakom sektoru moraju odgovarati opštim zahtjevima okvirne direktive. Direktive imaju obavezujuću snagu, s tim da su države slobodne da same odaberu formu i način njihove realizacije. Ukoliko država ne ispoštuje ostavljeni rok za transponovanje direktive u svoje nacionalno zakonodavstvo, direktiva će biti direktno primijenjena, a državi će biti određena kazna. Zakoni o otpadu EZ predstavljaju okvir za regulisanje upravljanja otpada

unutar zemalja članica. Zakonodavstvo Evropske unije u oblasti upravljanja otpadom se zasniva na strategiji za upravljanje čvrstim otpadom koja je data u tada važećoj okvirnoj Direktivi o otpadu (75/442/EEC) i Direktivi o opasnom otpadu (91/689/EEC). Posebno su regulisane specifične vrste otpada (otpadna ulja, otpad od ambalaže, PCBs, kanalizacioni mulj, akumulatori, itd.), kao i različiti načini odlaganja i povrata komponenti kao i prekogranični promet otpada. Osim toga, nekoliko vrsta otpada, kojima se pridaje prioritarna važnost, regulišu se odvojeno, kao što je ambalažni otpad (Direktiva o ambalaži 94/62/EC), biorazgradivi komunalni otpad (Direktiva o deponijama 1999/31/EC) i otpadna električna i elektronska oprema (Direktiva o e-otpadu 2002/96/EC i 2012/19/EU).

2.2.1. Okvirni EU propisi o otpadu

Okvirna direktiva o otpadu – EU Direktiva o otpadu evropskog parlamenta predstavlja osnovni pravni okvir za upravljanje otpadom u zemljama Evropske unije, kao i njegovu hijerarhiju. Okvirna direktiva o otpadu ([2008/98/EZ](#)) nastavlja se na Tematsku strategiju o sprečavanju nastajanja i recikliranju otpada ([COM\(2005\)0666](#)), stavljajući izvan snage prethodnu Okvirnu direktivu o otpadu (75/442/EEZ, kodifikovana Direktivom 2006/12/EZ), Direktivu o opasnom otpadu (91/689/EEZ) i Direktivu o odlaganju otpadnih ulja (75/439/EEZ). Direktiva predstavlja osnovne koncepte i definicije u vezi s upravljanjem otpadom i uspostavlja glavne principe koji predstavljaju obavezu da upravljanje otpadom ne smije da ima negativan uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi, zatim poštovanje principa hijerarhije u skladu sa principom „zagađivač plaća“ i uslov da troškove deponovanja otpada moraju da snose vlasnik otpada, prethodni vlasnik otpada ili proizvođač proizvoda od koga je otpad nastao.

Stupanjem na snagu ove direktive u decembru 2008. godine, ovom Direktivom uvode se osnovni zahtjevi za upravljanje otpadom, posebno obaveza da ustanova ili preduzeće koje obavljaju postupke upravljanja otpadom moraju za to imati dozvolu ili biti registrovani, te obaveza izrade planova upravljanja otpadom u cilju smanjenja otpada koji se odlaže na deponije. Pored toga, zemlje članice dužne su da izrade planove za upravljanje otpadom, pridržavajući se posebno kriterijuma o vrstama, količinama i porijeklu otpada. Direktiva je usmjerena na prevenciju stvaranja otpada i postavlja nove ciljeve koji će pomoći EU na putu ka svom krajnjem cilju, društvu koje reciklira. Zemljama članicama EU je postavila cilj da recikliraju i iskoriste 50% sakupljenog komunalnog otpada i 70% ostalog neopasnog otpada do 2020. godine. Direktiva (EU) [2018/852](#) je uvela ambicioznije ciljeve u stupi reciklaže komunalnog otpada, ali i ukupnog ambalažnog otpada te

specifičnih materijala u ambalaži. Zajednički cilj Evropske unije je reciklirati najmanje 55% komunalnog otpada do 2025. godine (cilj se povećava na 60% do 2030. godine, te na 65% do 2035. godine).

Direktiva uvodi i petostepenu hijerarhiju u oblasti otpada, gdje prevencija predstavlja najpoželjniju opciju, zatim slijedi ponovna upotreba, recikliranje i drugi oblici tretmana (npr. energetski tretman), a odlaganje u deponijama predstavlja najmanje poželjnu opciju. Direktiva zahtijeva od proizvođača i/ili posjednika otpada da plate troškove upravljanja otpadom, u skladu sa principom „zagađivač plaća“. Direktiva postavlja različite zahtjeve zemljama članicama – da „poduzmu neophodne mjere da osiguraju da se otpad obnovi ili odloži na način koji ne ugrožava zdravlje ljudi i da koriste procese koji ne nanose štetu životnoj sredini...“. Da bi ispoštovale ovaj opšti zahtjev, zemlje članice su obavezne da zabrane nekontrolisano odlaganje otpada, da razviju planove za upravljanje otpadom i prevenciju stvaranja otpada i da uspostave „integralnu i adekvatnu mrežu postrojenja za uklanjanje otpada“, uzimajući u obzir najbolje raspoložive tehnologije (BAT) koje ne uključuju prevelike troškove u skladu sa specifičnim ciljevima, kao što je princip blizine i samodovoljnosti u odlaganju otpada. Okvirna direktiva o otpadu pojednostavljuje propise o otpadu i obuhvata pravila koja se primjenjuju na veći broj pitanja, kao što su upravljanje opasnim otpadom i otpadnim uljima. Okvirnom direktivom o otpadu, koja je opozvala Direktivu o opasnom otpadu (91/689/EEZ), opasni otpad je definisan putem referisanja na otpad koji posjeduje jednu ili više karakteristika opasnog otpada, koje su navedene u Aneksu III Okvirne direktive o otpadu. Zemlje članice EU dužne su evidentirati sve proizvedene količine opasnog otpada i izvršiti njegovu identifikaciju. Tokom prikupljanja, transporta i privremenog skladištenja opasnog otpada, on mora biti propisno ambalažiran i označen u skladu sa međunarodnim i EU standardima. Miješanje opasnog otpada sa neopasnim otpadom ili miješanje opasnog otpada iz različitih kategorija nije dozvoljeno, osim u specifičnim okolnostima. Opasni otpad nije dozvoljeno miješati ili razblaživati s ciljem reklasifikacije u neopasni otpad.

Direktiva o uklanjanju otpadnih ulja (75/439/EEZ) je opozvana Okvirnom direktivom o otpadu. Okvirna direktiva o otpadu zahtijeva od zemalja članica da osiguraju bezbjedno prikupljanje i uklanjanje otpadnih ulja. Prioritet je dat regeneraciji otpadnih ulja, zatim spaljivanju pod uslovima definisanim u Direktivi i, konačno, njihovom kontrolisanom skladištenju ili odlaganju.

Provođenje Okvirne direktive o otpadu zahtijeva efektivan sistem za izdavanje dozvola skupljačima otpada, prevoznicima, preduzećima za upravljanje otpadom, korisnicima otpada kao sirovine i svim drugim posrednicima. Potrebni su i jaki

kapaciteti za praćenje i inspekciju, naročito u prvoj godini primjene, da bi se smanjio izuzetno negativan uticaj neregistrovanih proizvođača otpada koji bi podrivao sistem tokom najkritičnijeg perioda. Direktiva takođe zahtijeva uspostavljanje integrisane i odgovarajuće mreže postrojenja za uklanjanje otpada, uključujući i iskorišćavanje miješanog komunalnog otpada.

Direktiva o deponovanju otpada – Direktiva 1999/31/EC o deponijama otpada, iz 1999. godine, koja je izmijenjena Direktivom (EU) 2018/850 predstavlja jednu od najznačajnijih prekretnica u sistemu upravljanja otpadom u EU. Direktiva sadrži odredbe sa mjerama za postepeno smanjenje odlaganja otpada, posebno otpada koji je pogodan za recikliranje ili drugi postupak korišćenja, kao i operativne i tehničke zahtjeve za otpad koji se odlaže na deponije, tj. zabranjuje se deponovanje netretiranog otpada.

Pored toga, Direktivom se zabranjuje deponovanje pojedinih vrsta otpada na teritoriji EU:

- 1) Biorazgradivi otpad¹⁰
- 2) Tečni otpad
- 3) Inertni otpad
- 4) Eksplozivni otpad
- 5) Infektivni medicinski otpad
- 6) Stare gume.¹¹

Glavni cilj ove direktive je da se uvođenjem strogih tehničkih zahtjeva smanje negativni efekti odlaganja otpada na životnu sredinu, posebno u pogledu zagađivanja zemljišta, podzemnih i površinskih voda, kao i negativnih uticaja na zdravlje stanovništva. Ovom direktivom o deponovanju otpada uvodi se takođe klasifikacija deponija, prema vrsti otpada za koju su namijenjene, na deponije za opasan, neopasan i inertan otpad. U tom smislu zabranjuje se odlaganje na deponije netretiranog otpada, odnosno nije dozvoljeno zajedničko odlaganje inertnog, opasnog i komunalnog otpada. Takođe se propisuje i niz opštih kriterijuma za određivanje novih lokacija deponija, kao i mjera zaštite vode, zemljišta i vazduha, kroz proces sakupljanja i prečišćavanja procjednih voda i sakupljanja i korišćenja deponijskog gasa uz obnavljanje energije. Ukoliko se gas ne koristi za proizvodnju energije on se mora sagorijevati radi sprečavanja njegove emisije u atmosferu. Smanjenje udjela biorazgradivog otpada koji se odlaže na deponije značajno je

¹⁰ Predviđeno je smanjenje količine biorazgradivog otpada koji će se deponovati, sa ciljem da do kraja 2016. godine smanji na 35% od ukupne količine biorazgradivog komunalnog otpada koji je generisan 1995. godine.

¹¹ Osim guma za bicikle i guma čiji je prečnik veći od 1.400 mm.

uticao na ukupnu količinu i morfološki sastav otpada koji se deponuje. Takođe se za sve klase deponija zahtijeva pokrivanje površine deponije slojem debljine veće od jednog metra, zatim mjerenje i praćenje pojedinih radnih parametara i zabrana ilegalnog odlaganja otpada. Direktiva precizira i vremenske intervale u kojima se moraju obavljati neophodna mjerenja i to ne samo u vrijeme korišćenja deponije, nego i poslije njenog zatvaranja¹².

Direktiva o spaljivanju otpada – Direktiva 2000/76/EC Evropskog parlamenta i Evropskog savjeta od 4. decembra 2000. godine **o spaljivanju otpada** ima za cilj da spriječi ili ograniči negativne uticaje na životnu sredinu prilikom spaljivanja otpada, a posebno zagađivanje putem emisija u vazduh, zemljište, površinsku i podzemnu vodu, te rizike za zdravlje ljudi. Taj cilj ostvaruje se strožim uslovima za rad i tehničkim zahtjevima, određivanjem graničnih vrijednosti emisije postrojenjima za spaljivanje na način koji ne ugrožava zdravlje ljudi i ne šteti životnoj sredini.

Direktivom se propisuju:

- 1) Režimi za spaljivanje otpada i za ispuštanje otpadnih voda iz postrojenja.
- 2) Primjena propisa koji se odnose na projektovanje i funkcionisanje postrojenja za spaljivanje, kao i propisanih vrijednosti emisije gasova u životnu sredinu.

Direktiva o spaljivanju otpada određuje granične vrijednosti emisija i zahtjeve praćenja (monitoringa) za zagađujuće materije u vazduhu kao što su: prašina, azotni oksidi (NO_x), sumpor-dioksid (SO₂), hlorovodonik (HCl), teški metali, dioksini i furani i takođe određuje provjere ispusta u vodu nastalih obradom otpadnih gasova.

Direktiva o spaljivanju otpada razlikuje:

- 1) Postrojenja za spaljivanje (koja su namijenjena termičkoj obradi otpada sa ili bez korišćenja toplote oslobođene sagorijevanjem).
- 2) Postrojenja za suspaljivanje (kao što su tvornice cementa i vapna, željezare ili energane čija je glavna namjena proizvodnja energije ili proizvoda i u kojima se otpad koristi kao gorivo ili se termički obrađuje u svrhu zbrinjavanja).

¹² Odredbe navedene Direktive nalažu kontrolu deponijskih lokaliteta od 30 do 60 godina nakon zatvaranja. Međutim, sprovedena istraživanja sugerišu nove rokove za kontrolu deponijskih lokaliteta nakon zatvaranja, koji se kreću u rasponu od 200 godina za nesantitarne deponije komunalnog čvrstog otpada, do 75 godina za sanitarne deponije komunalnog čvrstog otpada, sa prethodno optimalno uspostavljenim i primjenjivanim sistemom za upravljanje otpadom u toku operativnog vijeka deponije.

Direktiva se odnosi i na određene vrste posebnog odnosno opasnog otpada (pneumatici, kanalizacioni mulj, medicinski otpad, otpadna ulja, itd.). Propisano je da postrojenja za spaljivanje moraju obezbjediti dozvolu za rad izdatu od strane nadležne nacionalne institucije. U dozvoli moraju biti navedene vrste i količine otpada koji se spaljuje, kapacitet postrojenja, kao i mjere za prikupljanje uzoraka i sprovođenje mjerenja (radi nadgledanja parametara procesa i nivoa emisije). Postrojenje mora zadovoljavati određene tehničke kriterijume, prije svega mogućnost ostvarivanja propisanih temperatura u toku trajanja određenih vremenskih intervala. Postrojenja za spaljivanje i suspaljivanje moraju se projektovati, opremiti i graditi, a zatim svoju djelatnost obavljati tako da se spriječe emisije u vazduh zbog kojih bi moglo doći do znatnijih zagađivanja prizemnog vazdušnog sloja; posebno se otpadni gasovi moraju, uz pomoć dimnjaka čija se visina određuje vodeći računa o čuvanju ljudskoga zdravlja i životne sredine, ispuštati pod nadzorom i u skladu s važećim normama Zajednice o kvalitetu vazduha. Direktivom se traži da termička energija sagorijevanja bude koliko god je moguće korisno upotrijebljena. Zarazni klinički otpad treba odmah smjestiti u peć, bez prethodnog miješanja s drugim vrstama otpada i neposrednog postupanja s njime. Postrojenjem za spaljivanje ili suspaljivanje mora upravljati za to osposobljena fizička osoba.

2.2.2. Propisi o specijalnim kategorijama otpada

Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu (94/62/EZ)¹³ implementira strategiju o upravljanju ambalažnim otpadom koji predstavlja jedan od najbrže rastućih vrsta otpada u EU. Ova direktiva traži od zemalja članica da uspostave sisteme za povrat i/ili prikupljanje korišćene ambalaže i za ponovnu upotrebu ili obnavljanje prikupljene ambalaže, odnosno smanjenje količine ambalaže za krajnje odlaganje. Ona tretira svu ambalažu koja je na tržištu Unije, kao i sav otpad od ambalaže bez obzira na porijeklo nastajanja: industrija, komercijalni sektor, radnje, usluge, domaćinstva, pri tome imajući u vidu materijal koji se koristi. Ova Direktiva definiše najmanje i najveće ciljne vrijednosti za prikupljanje ambalažnog otpada u svakoj zemlji članici (50–65% mase) i za recikliranje (25–45% mase, sa minimalnih 15% po svakoj vrsti ambalažnog materijala) kako bi se smanjilo konačno odlaganje takvog otpada. Ostavljen je rok od pet godina za svaku zemlju članicu da dostigne navedene zacrtane ciljeve u pogledu tretmana ambalažnog otpada, a taj rok počinje da teče od momenta usvajanja i implementacije u

¹³ Izmijenjena sa više direktiva i uredbi, vidjeti na:
<http://ec.europa.eu/environment/waste/packaging/legis.htm>.

zakonodavstvo konkretne zemlje. Direktiva takođe postavlja i granične vrijednosti za koncentracije teških metala prisutnih u ambalaži.

Direktiva 94/62/EZ je izmijenjena Direktivom (EU) 2015/720 u pogledu smanjenja potrošnje laganih plastičnih vrećica za nošenje. Mjere za postizanje održivog smanjenja potrošnje laganih plastičnih vrećica za nošenje mogu da uključuju ciljeve smanjenja na nacionalnom nivou, ograničenja upotrebe ili finansijske mjere kao što je naplata vrećica. Direktivom se određuje drastično smanjenje potrošnje laganih plastičnih vrećica, a njene odredbe se odnose na sve plastične vrećice za nošenje tanje od 50 mikrona. Vrlo lagane vrećice (tanje od 15 mikrona, tj. one koje se upotrebljavaju kao ambalaža za prehrambene proizvode: voće, povrće, ribu) mogu biti izuzete kako bi se spriječilo rasipanje hrane.

Direktiva (EU) 2015/720 je dopunjena Direktivom (EU) 2019/904 Evropskog parlamenta i Evropskog vijeća od 5. juna 2019. godine o smanjenju uticaja određenih plastičnih proizvoda na životnu sredinu, smanjenju potrošnje, kao i zahtjevima u vezi s proizvodima, s označavanjem i proširenom odgovornošću proizvođača. Ovom direktivom se nastoji:

- 1) Spriječiti i smanjiti uticaj određenih plastičnih proizvoda na životnu sredinu, posebno na vodeni ekosistem, i na zdravlje ljudi.
- 2) Promovisati prelazak na cirkularnu ekonomiju s inovativnim i održivim poslovnim modelima, proizvodima i materijalima te time ujedno doprinijeti efikasnim funkcionisanju unutrašnjeg tržišta.

Ova Direktiva je *lex specialis* u odnosu na Direktivu 94/62/EZ o ambalaži i ambalažnom otpadu i 2008/98/EZ o otpadu u pogledu ograničenja stavljanja na tržište. Plastične vrećice za nošenje služe raznim svrhama i njihova potrošnja će se nastaviti u budućnosti. Potrebni su napor na institucionalnom nivou radi podizanja svijesti o uticaju plastičnih vrećica za nošenje na životnu sredinu i uklanjanja trenutne percepcije o plastici kao neškodljivoj i jeftinoj robi.

Direktiva (EU) 2018/852 je izmjena Direktive 94/62/EZ koja sadrži ažurirane mjere namijenjene:

- 1) Sprečavanju proizvodnje ambalažnog otpada i
- 2) Promociji ponovne upotrebe, recikliranja i drugih načina korišćenja ambalažnog otpada, umjesto njegovog konačnog odlaganja, doprinoseći pritom prelasku na cirkularnu ekonomiju.

Direktiva 2018/852 je uvela ambicioznije ciljeve u stopi reciklaže komunalnog otpada, ali i ukupnog ambalažnog otpada te specifičnih materijala u ambalaži. Kao što je prethodno navedeno, zajednički cilj Evropske unije je reciklirati najmanje 55% komunalnog otpada do 2025. godine (cilj se povećava na 60% do 2030. godine, te na 65% do 2035. godine)¹⁴. Što se tiče ambalažnog otpada, zajednički cilj za recikliranje je 65% do 2025. godine, 70% do 2030. godine, s odvojenim ciljevima za specifične materijale (plastika 55%, drvo 30%, željezo 80%, staklo 75%, papir i karton 85%).

Izmijenjenom direktivom pojašljena je razlika između ambalaže koja se može obnoviti kompostiranjem i biorazgradivog ambalažnog otpada te je utvrđeno da se oksorazgradiva plastična ambalaža (plastična ambalaža s aditivima koji uzrokuju njezino razbijanje na mikroskopske čestice i doprinose prisutnosti mikroplastike u životnoj sredini) ne smatra biorazgradivom ambalažom.

Do kraja 2024. godine zemlje Evropske unije trebalo bi da osiguraju da su programi odgovornosti proizvođača uspostavljeni za svu ambalažu. Programi odgovornosti proizvođača omogućuju finansiranje i organizaciju povrata i/ili skupljanja upotrijebljene ambalaže i/ili ambalažnog otpada te njegovo usmjeravanje na najprikladniju opciju upravljanja otpadom, kao i ponovnu upotrebu ili recikliranje skupljene ambalaže i ambalažnog otpada.

Direktiva o otpadnim vozilima (Direktiva Savjeta 2000/53/EC26 o istrošenim vozilima, izmijenjena i dopunjena Direktivom 2008/33/EC27, Direktivom 2011/37/EC28 i Direktivom (EU) 2018/849) definiše mjere usmjerene ka prevenciji stvaranja otpada od istrošenih vozila putem osiguravanja redovnog prikupljanja otpadnih vozila, kao i kroz njihovu preradu pod uslovima prihvatljivim za zaštitu životne sredine i ponovnu upotrebu, te izdvajanje sastavnih materijala iz rastavljenih vozila. Prioritet se obavezno daje ponovnoj upotrebi i iskorišćenju (recikliranju, regeneraciji, itd.) dijelova vozila. Upotreba žive, heksavalentnog hroma, kadmijuma i olova u dijelovima vozila ponuđenih na tržištu je zabranjena. Ovom direktivom se zemlje članice obavezuju da uspostave sistem vođenja podataka o nabavkama novih vozila, kao i o broju i vrsti postojećih. Od ovlašćenih postrojenja za obradu se zahtijeva da rastave otpadna vozila prije obrade i izdvoje sve dijelove opasne za životnu sredinu. U skladu sa Direktivom, države članice će organizovati skladištenje i preradu otpadnih vozila u skladu sa zahtjevima Okvirne direktive o otpadu. U izvješčaju o provođenju (COM/2009/635) navedeno je da je

¹⁴ Hrvatska je dobila mogućnost odgode od pet godina za ispunjavanje navedenih ciljeva jer je među državama članicama koje su 2013. godine reciklirale manje od 20% komunalnog otpada ili odlagale više od 60% na deponijama.

provođenje Direktive o otpadnim vozilima u mnogim državama članicama problematična zbog velike razlike u broju odjavljenih automobila i prijavljenih otpadnih vozila, kao i nezakonitog izvoza u države u razvoju.

Direktiva o baterijama i akumulatorima i o otpadnim baterijama i akumulatorima, 2006/66/EZ, kasnije izmijenjena Direktivom (EU) 2018/849, utvrđuje pravila o stavljanju baterija i akumulatora na tržište, a posebno o zabrani stavljanja na tržište onih baterija i akumulatora koji sadrže opasne materije. U tom smislu ova Direktiva nalaže kontrolisano odlaganje utrošenih baterija i akumulatora koji sadrže određene količine žive, kadmijuma i olova. Dodatno Direktiva propisuje i posebna pravila za: skupljanje, obradu, recikliranje i odlaganje otpadnih baterija i akumulatora koja dopunjuju odgovarajuće zakonodavstvo Zajednice o otpadu s ciljem promovisanja visoke stope skupljanja i recikliranja otpadnih baterija i akumulatora. Države članice moraju da obezbijede odvojeno prikupljanje istrošenih baterija i akumulatora i da preduzmu mjere osiguranja da se baterije i akumulatori ne smiju ugrađivati u uređaje na način koji potrošačima ne dozvoljava njihovo odstranjivanje nakon što se istroše. Direktiva se odnosi na sve baterije i akumulatore bez obzira na njihov oblik, zapreminu, težinu, materijal od kojeg su proizvedene, kao i njihovu upotrebu. Izuzetak je oprema povezana sa bezbjednosnom zaštitom članica EU (oružje, municija, ratni materijal) i oprema dizajnirana za korišćenje u svemiru.

Direktiva o uklanjanju polihlorovanih bifenila i polihlorovanih terfenila (PCB/PCT) 96/59/EZ (Direktiva o uklanjanju PCB-a i PCT-a) je izmijenjena i dopunjena Uredbom (EZ) br. 596/200. Ima za cilj da definiše kontrolisani način postupanja i eliminacije polihlorovanih bifenila (PCB) i polihlorovanih terfenila (PCT) i dekontaminaciju opreme u kojoj su se nalazili, kao i način odlaganja opreme koja je zagađena sa PCB, a nije izvršena njena dekontaminacija. Polihlorovani bifenili (PCB) su imali veliku upotrebu u proizvodnji transformatora i kondenzatora, a bez obzira što se više ne koriste u proizvodnji mogu se naći u odbačenim elektronskim uređajima. Vrlo su toksični i utiču na nervni i reproduktivni sistem. Oprema koja sadrži PCB/PCT se mora obilježiti i potrebno je napraviti popis sve opreme koja sadrži PCB u količinama većim od 5 dm³. U slučaju električnih kondenzatora, prag od 5 dm³ uključuje sve pojedine elemente složenih uređaja. Korišćeni PCB/PCT i opremu koja sadrži PCB/PCT je potrebno što prije prenijeti u postrojenja koja posjeduju dozvolu za dekontaminaciju i/ili uklanjanje PCB-a/PCT-a. Direktiva definiše uslove pod kojima se vrši dekontaminacija i/ili uklanjanje. Zemlje članice moraju pripremiti planove za dekontaminaciju i/ili uklanjanje opreme i sadržaja PCB-a u roku od tri godine. Prije

nego licencirano poduzeće preuzme PCB-e, korišćenje PCB-e i/ili opremu koja sadrži PCB-e, moraju se preduzeti sve mjere sprečavanja opasnosti od požara.

Uredba (EZ) br. 850/2004 o dugotrajnim (perzistentnim) organskim polutantima (POP) takođe se može primijeniti na PCB, koji je klasifikovan kao POPs. Cilj ove Uredbe je zaštita zdravlja ljudi i životne sredine od dugotrajnih organskih polutanata zabranjujući, postepeno ukidajući ili ograničavajući proizvodnju, stavljanje na tržište i upotrebu supstanci koje podliježu Stokholmskoj konvenciji o dugotrajnim organskim polutantima, s ciljem da se gdje god je to moguće što prije zaustavi ispuštanje takvih supstanci i donoseći odredbe o otpadu koji sadrži ili je kontaminiran bilo kojom od tih supstanci.

Direktiva 78/176/EEZ o otpadu iz industrije titan-dioksida (dopunjena Direktivama broj 82/883/EEC, te Regulativom 807/2003/EC, 83/29/EEC, 91/692/EEC i 1882/2003/EC) sadrži mjere za sprečavanje nastanka otpada iz industrije titan-dioksida, te za njegovo postupno smanjenje i konačno potpuno uklanjanje zagađenja uzrokovanog navedenim otpadom iz postojećih industrijskih postrojenja, s obzirom da otpad iz industrije titan-dioksida može biti štetan za ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Direktiva predviđa pribavljanje prethodnih odobrenja od nadležnih tijela u slučaju izgradnje novih industrijskih postrojenja za proizvodnju titan-dioksida. Svako ispuštanje, odlaganje, nagomilavanje ili injektiranje ove vrste otpada zahtijeva posebnu dozvolu. Direktiva obavezuje članice na preduzimanje mjera koje za cilj imaju sprečavanje nastanka otpada, ponovnu upotrebu i reciklažu otpada kao sirovine i da obezbijede da se odlaganje otpada obavlja uz brigu o ljudskom zdravlju i životnoj sredini, uključujući i izradu programa za postepeno smanjenje i konačno uklanjanje zagađenja uzrokovanog otpadom iz postrojenja za proizvodnju titan-dioksida.

Direktiva o mulju s uređaja za prečišćavanje otpadnih voda reguliše korišćenje kanalizacionog mulja u poljoprivredi kako bi se spriječili negativni efekti na zemljište, vegetaciju, životinje i čovjeka. Direktiva zahtijeva analizu mulja i zemljišta na kome se mulj koristi, u skladu sa usvojenim procedurama za uzimanje uzoraka i analizu. Direktiva Savjeta 86/278/EZ od 12. juna 1986. godine o zaštiti životne sredine, a naročito zemljišta, pri upotrebi otpadnog mulja u poljoprivredne svrhe propisuje uslove i mjere kontrole pod kojim se mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda može upotrebljavati u poljoprivredi. Izmijenjena je Direktivom Savjeta 91/692/EEZ i Uredbom Savjeta (EZ) br. 807/2003 i 219/2009. Direktiva o mulju postavlja maksimalne granične vrijednosti koncentracija teških metala (kadmijuma, bakra, nikla, olova, cinka i žive) u zemljištu i u mulju koji se

koristi u poljoprivredi, kao i maksimalne vrijednosti teških metala koje je na godišnjoj osnovi dozvoljeno dodati poljoprivrednom zemljištu.

Direktiva 2012/19/EU o otpadu od električne i elektronske opreme¹⁵ (EEO) zamjenjuje i nadopunjuje postojeću Direktivu 2000/96/EC. Svrha ove direktive je da unaprijedi ponovno korišćenje, reciklažu i druge oblike iskorišćavanja električnog i elektronskog otpada u cilju smanjivanja količina ovog otpada i poboljšanja performansi životne sredine, prije svega ograničenjem upotrebe olova, žive, kadmijuma, hroma i bromovih usporivača gorenja u takvoj opremi. Otpad električne i elektronske opreme (e-otpada) kao što su računari, televizori, frižideri i mobilni telefoni je jedna od najbrže rastućih vrsta otpada u EU. EE otpad je složena mješavina materijala i komponenti koji mogu uzrokovati velike ekološke i zdravstvene probleme zbog opasnog sadržaja. Provođenje Direktive o otpadnoj električnoj i elektronskoj opremi te Direktive o ograničenju upotrebe određenih opasnih materija u ovoj opremi u državama članicama pokazala se otežanom, s obzirom na to da je prikupljena i propisno obrađena samo trećina ukupnog EE otpada, što je posljedica ilegalnog izvoza ovog otpada koji predstavlja ozbiljan problem unutar EU. Iz tog razloga ova nova direktiva daje članicama EU efektivnije alate za borbu protiv ilegalnog izvoza električnog i elektronskog otpada. Direktiva o EEO će prisiliti izvoznike da testiraju i obezbijede dokumentaciju o prirodi svojih pošiljaka, ukoliko postoji rizik da se radi o pošiljkama otpada. Pored toga, izmijenjena verzija Direktive o otpadnoj električnoj i elektronskoj opremi (2012/19/EU) i Direktiva o ograničenju upotrebe određenih opasnih materija u električnoj i elektronskoj opremi (2012/18/EU) propisuju uslove upravljanja EE otpadom u cilju sprečavanja njegovog nastajanja, osiguravanja njegove ponovne upotrebe, recikliranja i drugih načina obrade.

Za EE otpad iz domaćinstava direktiva zahtijeva da se:

- 1) Uspostave sistemi za sakupljanje, odnosno da distributeri i vlasnici električne i elektronske opreme treba da preuzmu ovakvu opremu od domaćinstava bez traženja naknade.
- 2) Kada dostavljaju novi proizvod distributeri su odgovorni za osiguravanje da proizvod može biti vraćen distributeru bez naplaćivanja usluge.
- 3) Distributeri su dužni da osiguraju prostor za skladištenje EEO.

¹⁵ Direktiva se odnosi na sljedeće kategorije električnih i elektronskih uređaja: veliki i mali kućni uređaji, računarska i telekomunikacijska oprema, potrošačka oprema i fononaponski paneli, oprema za osvjetljenje i fluorescentne lampe, električni i elektronički alati, igračke i sportska oprema, medicinska oprema, instrumenti za monitoring i kontrolu i automatski raspršivači.

Direktiva o otpadnom ulju 75/439/EEC usmjerena je na kreiranje harmonizovanog sistema prikupljanja, skladištenja, obnavljanja i uklanjanja otpadnih ulja. Ova direktiva je nadopunjavana u tri navrata Direktivama o dopunama direktive o odlaganju otpadnih ulja 1987/101/EEC, 1991/692/EEC i 2000/76/EC, a opozvana je izdavanjem Direktive 2008/98/EC o otpadu i ukidanju određenih direktiva u koju su prenesene sve relevantne odredbe koje su se odnosile na upravljanje otpadnim uljima, te koja je danas prenesena u zakonodavstva zemalja članica EU. Postupanje sa otpadnim uljima podrazumijeva i davanje najvišeg prioriteta regeneraciji otpadnih ulja, kada je to moguće, kao i spaljivanju uz iskorišćavanje energije, dok se njihova destrukcija ili kontrolisano skladištenje dopuštaju samo u izuzetnim slučajevima. Cilj Direktive takođe je zaštita životne sredine od štetnih efekata nepropisnih vidova tretmana i skladištenja otpadnih ulja. Posebno se zabranjuje bacanje upotrebljenih ulja u sve površinske i podzemne vode i kanalizacije, kao i sisteme za drenažu, kao i bilo kakav tretman koji bi za poljedicu imao zagađivanje vazduha tj. emisiju iznad dozvoljene vrijednosti. Zbog toga svaka organizacija koja se bavi prikupljanjem mora biti registrovana i obuhvaćena supervizijom na nacionalnom nivou, uključujući sistem izdavanja dozvola. Organizacija koja se oslobađa otpadnog ulja mora takođe pribaviti dozvolu. Ulja koja sadrže PCBs i PCTs, odnosno otrovne i opasne produkte moraju se, bez izuzetka, uništiti.

Uredba 2002/1774/EC o otpadu životinjskog porijekla propisuje tehnološke postupke prerade otpada životinjskog porijekla. Otpad životinjskog porijekla koji je namijenjen spaljivanju, korišćenju u postrojenjima za biogas ili kompost kao i odlaganju na deponije podliježe obavezama upravljanja u skladu sa Okvirnom direktivom o otpadu. Otpad životinjskog porijekla je svrstan u tri kategorije. U Kategoriju 1 spadaju leševi životinja zaraženi sa BSE (bolest ludih krava), drugim opasnim zoonozama kao i drugim nepoznatim rizikom koji je u vezi sa liječenjem životinja nelegalnim supstancama. Kategorija 2 obuhvata ostatke bolesnih životinja ili ostatke veterinarskih lijekova. Kategorija 3 obuhvata ostatke uginulih zdravih životinja, dijelove životinja iz klaonica koji se ne koriste u komercijalne svrhe, kožu, odmašćene kosti, krv (izuzev preživara) i dr.

Direktiva 2006/21/EC o upravljanju rudarskim otpadom za cilj ima smanjenje negativnih efekata vađenja, tretmana i odlaganja rudarskog otpada (skladištenje mineralnih sirovina) na životnu sredinu i ljudsko zdravlje. U skladu sa zahtjevima ove Direktive, tretman rudarskog otpada mora da se vrši u specijalizovanim postrojenjima, a države članice se obavezuju na primjenu najboljih dostupnih tehnika i sl. Operateri moraju izraditi plan upravljanja otpadom koji sprečava ili smanjuje nastajanje otpada i podstiče korišćenje i sigurno zbrinjavanje otpada.

Direktivom je propisana obaveza planiranja, ovlašćivanja za vršenje ovih poslova, postupaka zatvaranja postrojenja za otpad kao i pripreme inventara zatvorenih postrojenja koji predstavljaju rizik po životnu sredinu i ljudsko zdravlje.

2.2.3. Propisi o transportu otpada

EU je uspješno stvorila jedinstveno tržište roba i usluga pa se primarni materijali mogu lako i bez nadzora prevoziti širom EU. Međutim, to nije slučaj sa sekundarnim sirovinama i otpadom. Transport sirovina iz otpada (sekundarnih sirovina), odnosno nadzor i kontrola prekograničnog kretanja otpada regulisani su Uredbom (EZ) br. 1013/2006 o prekograničnom kretanju otpada. Zemlje koje primjenjuju ovu Uredbu dužne su da odrede odgovarajuće ovlašćene organizacije za transport otpada. Takođe moraju preduzeti potrebne korake za inspekciju, uzorkovanje i monitoring otpada pri prekograničnom kretanju. Uredbom je propisana kompletna procedura vezana za transport otpada, a dodatnim aneksima predviđena je potrebna dokumentacija. Ukoliko vlasnik otpada namjerava da ga transportuje preko granice, tj. u neku drugu državu, dužan je da se pridržava propisanog postupka koji podrazumijeva ispunjavanje nekoliko uslova. Kao prvo, vlasnik transporta je dužan da pošalje odgovarajuću notifikaciju kojom izvještava o svojoj namjeri da transportuje otpad preko teritorije te zemlje. Takođe se moraju obezbijediti, odnosno ispuniti, posebni uslovi koji se tiču pakovanja i označenja tereta. Sljedeći uslov se odnosi na ispunjavanje propisanih uputstava koja treba da budu primjenjena u slučaju bilo koje opasnosti ili akcidenta. Ovom Uredbom se u evropsko zakonodavstvo uvodi odredbe Bazelske konvencije. Bazelska konvencija predstavlja međunarodni multilateralni ugovor kojim se definiše složen sistem procedura za obavještanje i izdavanje odobrenja (baziran na dokumentima o kretanju otpada i odobrenju zemlje pošiljaoca, tranzitnih zemalja ili zemlje primaoca, prije početka transporta pošiljke) za svako prekogranično kretanje otpada, zavisno od vrste pošiljke i namjene otpada na način usaglašen sa zahtjevima zaštite i unapređenja životne sredine i zdravlja ljudi. Uredba o transportu otpada propisuje posebne režime za kretanje otpada preko granica zemalja članica unutar Zajednice i za kretanje otpada preko granica EU, u oba smjera, i zabranjuje svako kretanje opasnog otpada namijenjenog za ponovnu upotrebu iz EU ka zemljama koje nisu članice OECD-a.

2.2.4. Novi zakonodavni „Paket o otpadu“ i cirkularnoj ekonomiji

U decembru 2015. godine EU je usvojila Akcioni plan za cirkularnu ekonomiju što ima direktan uticaj na stvaranje dinamičkog tržišta za sekundarne sirovine. Decembra 2017. godine postignut je načelni dogovor Vijeća Evropske unije i Evropskog parlamenta oko četiri zakonska prijedloga u području upravljanja otpadom poznatih kao „paket o otpadu“ („Waste Package“), s pravno obavezujućim ciljevima za recikliranje otpada i smanjenje odlaganja otpada s fiksnim rokovima za države članice. U Službenom listu Evropske unije objavljene su izmjene propisa EU koji se odnose na upravljanje otpadom, a koji uključuje izmjenu Direktive o otpadu, Direktive o deponijama otpada, Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu, Direktive o otpadnim vozilima, baterijama i akumulatorima te otpadnoj električnoj i elektronskoj opremi.

Zakonodavni paket o kružnoj ekonomiji sadrži sljedeće ključne elemente:

- 1) Zajednički cilj EU-a o recikliranju 65% komunalnog otpada do 2035. (odnosno 55% do 2025. i 60% do 2030);
- 2) Zajednički cilj EU-a o recikliranju 70 % ambalažnog otpada do 2030;
- 3) Obvezujući cilj o deponijama otpada prema kojem se do 2035. na deponijama otpada smije odlagati najviše 10% komunalnog otpada¹⁶
- 4) Zabranu odlaganja odvojeno prikupljenog otpada na deponije, uz zahtjev za odvojeno prikupljanje biootpada do 2023. te odvojeno prikupljanje tekstila i opasnog otpada iz domaćinstava do 2025;
- 5) Promovisanje ekonomskih instrumenata za odustajanje od odlaganja na deponijama otpada;
- 6) Pojednostavljene i poboljšane definicije i usklađene metode izračuna za stope recikliranja u cijeloj EU;
- 7) Konkretno mjere za promovisanje ponovne upotrebe i podsticanje industrijske simbioze – pretvaranje nusproizvoda jedne industrije u sirovinu druge;
- 8) Obavezne programe proširene odgovornosti proizvođača kako bi plasirali više ekološki prihvatljive proizvode na tržište i podsticali programe tretmana i recikliranja (na primjer za ambalažu, baterije, električnu i elektronsku opremu, te otpadna vozila).

¹⁶ Zemlje članice EU će ograničiti deponovanje do 10% do 2035. godine (pet godina kasnije od prijedloga Evropske komisije), a zemlje EU koje su deponovale više od 60% svog otpada u 2013. godini dobiće dodatnih pet godina za postizanje ovog cilja. Prema podacima Eurostata, ove zemlje uključuju: Bugarsku, Grčku, Hrvatsku, Kipar, Letoniju, Litvaniju, Mađarsku, Maltu, Poljsku, Rumuniju i Slovačku.

Najbitnije izmjene koje donose ove direktive su obavezujući ciljevi prema kojima su države članice dobile jasne procentualne iznose za koje trebaju povećati procenat ponovne upotrebe i reciklaže komunalnog otpada, odnosno smanjiti njegovo odlaganje na deponije, pri čemu se neke države dobile mogućnost odgode u slučaju da je njihova startna pozicija bila na nezavidnom nivou u odnosu na većinu članica EU¹⁷. Države članice moraju prenijeti izmijenjene direktive u nacionalno zakonodavstvo u roku od 24 mjeseca nakon stupanja na snagu.

Novi ciljevi i pravila imaju za svrhu promociju cirkularne ekonomije zbog čega je poznat i kao zakonodavni paket o cirkularnoj ekonomiji, a očekuje se da doprinesu: ekonomskom rastu, otvaranju radnih mjesta, zaštiti životne sredine, održivosti i poboljšanju kvaliteta ljudskog života. Kao što je već pomenuto, cilj izmjene ovih direktiva je povećanje postotka recikliranja i ponovna upotreba materijala. Međutim, sam **proces recikliranja nudi ograničene mogućnosti, proces je skup, energetski intenzivan i uopšteno umanjuje vrijednost proizvoda**, a to je razlog zbog kojeg treba ulagati u kružnu ekonomiju. **U cirkularnoj ekonomiji nema otpada**, odnosno on je minimalan i kružna ekonomija podrazumijeva socijalno/društveno preduzetništvo. Zakonodavni paket o kružnoj ekonomiji ima za **cilj postupno izjednačiti nivoe najbolje prakse i podstaknuti potrebna ulaganja u upravljanje otpadom te omogućiti cirkularnu ili kružnu ekonomiju u svim državama članicama**. Cirkularna ekonomija ili kružna privreda je ideja sveobuhvatnog prelaska na aktivnosti koje uz očuvanje životne sredine donose inovacije i jačaju konkurentnost. Cirkularna ekonomija je bazirana na ulaganju u proizvod koji ima duži vijek trajanja, kvalitetniji je i izdržljiviji i pravi balans između potražnje za resursima i količinom dostupnih resursa.

Ovim Direktivama je cilj postepeno u svim državama članicama izjednačiti nivoe najbolje prakse i podstaći potrebna ulaganja u upravljanje otpadom te omogućiti: kružnu privredu od proizvodnje do potrošnje, popravke i ponovne proizvodnje, upravljanja otpadom te vraćanja korisnih sirovina u privredu.

¹⁷ Hrvatska je dobila mogućnost odgode od pet godina za ispunjavanje navedenih ciljeva jer je među državama članicama koje su 2013. godine reciklirale manje od 20% komunalnog otpada ili odlagale više od 60% na deponijama¹⁷. Kada je riječ o odlaganju otpada na deponije, države članice moraju ispuniti cilj od 10% do 2035. godine, a Hrvatska će taj cilj morati ispuniti do 2040. godine, pod uslovom da smanji nivo odlaganja otpada na 25% do 2025. godine.

2.3. PRINCIP (NAČELA) ZA UPRAVLJANJE OTPADOM

Osnovni principi ili načela na kojima se zasnivaju strateški dokumenti u oblasti upravljanja otpadom u BiH identični su osnovnim principima (načelima) upravljanja otpadom koje propisuje EU zakonodavstvo, a to su:

- 1) Princip održivog razvoja;
- 2) Princip prevencije i opreznosti;
- 3) Princip hijerarhije;
- 4) Princip blizine i regionalni pristup;
- 5) Princip „zagađivač plaća“;
- 6) Princip primjene najpraktičnijih opcija za životnu sredinu;
- 7) Princip odgovornosti proizvođača.

Princip održivog razvoja

Održivi razvoj je razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnje generacije bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija za život u okviru kapaciteta životne sredine. Održivi razvoj predstavlja usklađen sistem: tehničko-tehnoloških, ekonomskih, društvenih, ekoloških i institucionalnih aktivnosti u ukupnom razvoju u kojem se prema principima ekonomičnosti, razumnosti i racionalnosti koriste prirodne i stvorene vrijednosti, sa ciljem da se očuva i unaprijedi kvalitet životne sredine za postojeće i nadolazeće generacije. Poštovanjem ovog principa stvaraju se pretpostavke za održivo upravljanje otpadom, što znači efikasnije korišćenje resursa i smanjenje količina proizvedenog otpada, a kada je već proizveden, postupanje s njim na način koji će doprinijeti opštim ciljevima održivog razvoja.

Princip prevencije

Princip prevencije podrazumijeva sprečavanje pojava zagađivanja životne sredine ili štetnih uticaja, a ne da se oni otklanjaju kada se zagađivanje već dogodi. Drugim riječima, da bi se smanjio rizik po životnu sredinu i zdravlje ljudi, prilikom planiranja i rukovođenja djelatnostima u upravljanju otpadom treba izbjegavati nastajanje otpada ili smanjiti količine i štetnost nastalog otpada. Osim toga, ukoliko postoji mogućnost ozbiljne štete, nedostatak naučne istraženosti ne može biti razlog za nepreduzimanje mjera sprečavanja degradacije životne sredine u slučaju mogućih ili postojećih značajnih uticaja na životnu sredinu.

Princip hijerarhije

Hijerarhija otpada predstavlja redosljed prioriteta u upravljanju otpadom:

- 1) Prevencija stvaranja otpada i redukcija – minimizacija korišćenja resursa i smanjenje količina i/ili opasnih karakteristika nastalog otpada.
- 2) Ponovna upotreba – ponovno korišćenje proizvoda za istu ili drugu namjenu.
- 3) Reciklaža – ponovni tretman otpada radi korišćenja kao sirovine u proizvodnji istog ili različitog proizvoda.
- 4) Iskorišćenje ili regeneracija – iskorišćenje vrijednosti otpada primjenom različitih tehnologija tretmana.
- 5) Odlaganje otpada – ukoliko ne postoji drugo odgovarajuće rješenje, odlaganje otpada deponovanjem.

Princip blizine i regionalni pristup

Načelo blizine podrazumijeva da se tretman ili odlaganje otpada vrši što je moguće bliže mjestu njegovog nastanka, odnosno u najbližem adekvatnom postrojenju ili lokaciji, uzimajući u obzir ekološku i ekonomsku profitabilnost. Osnovni cilj ovoga načela jeste izbjegavanje neželjenih uticaja transporta otpada na životnu sredinu. Međutim, princip blizine zavisi od lokalnih uslova i mora se uspostaviti ravnoteža ovog principa i ekonomičnosti, što najčešće podrazumijeva regionalno organizovanje poslova upravljanja otpadom. Pri tom se ne misli na region kao administrativnu cjelinu, već interesno povezanu grupu opština koje u zajedničkom pristupu rješavanju problema upravljanja otpadom pronalaze interes dugoročne saradnje. Primjena ovoga načela direktno zavisi od lokalnih uslova i okolnosti, vrste otpada, njegove zapremine, načina transporta i odlaganja, kao i mogućeg uticaja na životnu sredinu. Regulacija i razvoj regionalnog upravljanja otpadom obezbijeduje se razvojem i primjenom regionalnih strateških planova zasnovanih na zakonodavstvu Evropske unije i entitetskoj politici.

Princip „zagađivač plaća“

Princip „zagađivač plaća“ znači da zagađivač mora da snosi sve troškove posljedica svojih aktivnosti. Ovim principom se definiše da proizvođač ili imalac otpada snosi sve troškove prevencije, tretmana, odlaganja i monitoringa otpada, kao i troškove sanacionih mjera zbog šteta prouzrokovanih životnoj sredini ili štete koju će otpad najverovatnije prouzrokovati. Potencijalni troškovi tretmana i odlaganja otpada se reflektuju na cijenu proizvoda i naplatama vezanim za upravljanje otpadom, odnosno dovode do porasta troškova proizvodnje i time proizvedene robe.

Princip primjene najpraktičnijih opcija za životnu sredinu

Princip primjene najpraktičnijih opcija za životnu sredinu odnosi se na sistematski i konsultativni proces donošenja odluka u vezi sa zaštitom i očuvanjem životne sredine. Proces najpraktičnijih opcija za životnu sredinu ustanovljava, za date ciljeve i okolnosti, opciju ili kombinaciju opcija koja daje najveću dobit ili najmanju štetu za životnu sredinu u cjelini, uz prihvatljive troškove, kako dugoročno, tako i kratkoročno.

Princip odgovornosti proizvođača

Ovaj princip znači da: proizvođači, uvoznici, distributeri i prodavci proizvoda koji utiču na porast količine otpada, treba da snose kolektivnu odgovornost za nastali otpad. Značenje reči proizvođač u ovom kontekstu je mnogo šire od uobičajenog. S obzirom na životni vijek proizvoda, nije samo proizvođač onaj koji utiče na stvaranje otpada, već i ostali u tom lancu imaju veliku ulogu. Međutim, proizvođač je sigurno najznačajniji, obzirom na to da utiče na sastav i osobine proizvoda. Ovaj princip ukazuje da proizvođači otpada treba da utiču na: minimizaciju stvaranja otpada, razvoj proizvoda koji su reciklabilni i razvoj tržišta za ponovno korišćenje i reciklažu njihovih proizvoda.

2.4. ZAKONSKA REGULATIVA O OTPADU U BIH

Bosna i Hercegovina je složena država koja se sastoji od dva entiteta (Federacija BiH i Republika Srpska) i Brčko distrikta (BD) koji, zbog svog specifičnog položaja, ima poseban status. Nadležnost u oblasti životne sredine u Bosni i Hercegovini zbog složenosti uređenja imaju kako institucije na državnom nivou, tako i entiteti, kantoni u Federaciji BiH, te Brčko distrikt BiH. Ne postoji okvirni zakon o zaštiti životne sredine na nivou BiH. Prema Ustavu BiH, državni nivo vlasti nema direktne nadležnosti u sferi zaštite životne sredine ne entitetskom nivou, međutim na međunarodnom planu nadležno je Ministarstvo vanjske trgovine i ekonomskih odnosa (MVTEO) koje obavlja poslove i zadatke iz nadležnosti BiH, koji se odnose na definisanje politike djelovanja, koordinisanje djelatnosti i usaglašavanje planova entitetskih vlasti i institucija na međunarodnom planu zaštite životne sredine. Ovo ministarstvo (MVTEO) je koordinator za poslove EU integracija u entitetima i Distriktu Brčko. Pored toga, MVTEO je fokalna tačka za Bosnu i Hercegovinu za izvještavanje prema Bazelskoj konvenciji i u skladu s tim vodi evidenciju o izdatim dozvolama za prekogranični promet opasnog otpada i količinama otpada koje se izvoze u zemlje gdje se obavlja

konačni tretman, u skladu sa pravilima Konvencije. Sa ciljem smanjenja obima prekograničnog kretanja opasnog otpada i izvršavanja međunarodnih obaveza koje je BiH preuzela ratifikacijom pomenute konvencije, Savjet ministara BiH je donio Odluku o uslovima prekograničnog kretanja opasnog otpada („Službeni glasnik BiH“, broj: 83/2016) u kojoj je precizirano sljedeće: promet opasnog otpada ne može se dozvoliti ukoliko u BiH postoji subjekt registrovan i ovlašćen, osposobljen za tretman i odlaganje opasnog otpada na ekološki prihvatljiv način u cilju zaštite domaće privrede.

U cilju saradnje i koordinacije između entiteta po pitanju zajedničkih ciljeva i interesa u oblasti zaštite životne sredine 2006. godine je osnovano Međuentitetsko tijelo za zaštitu životne sredine. Međuentitetsko tijelo pruža stručnu pomoć nadležnim entitetskim ministarstvima, prilikom planiranja projekata u područjima koja presijecaju međuentitetske linije razgraničenja i dužno je da osigura da su interesi oba entiteta i BD BiH uzeti u obzir, kao i drugim pitanjima iz oblasti zaštite životne sredine koja zahtijevaju usaglašen pristup entiteta.

Ratifikacijom Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju (SSP), 2008. godine, država BiH je postigla status zemlje potencijalnog kandidata i prihvatila obavezu da uskladi domaće zakonodavstvo sa propisima koji spadaju u pravne tekovine Evropskih zajednica i da stvori institucionalni okvir za efektivno provođenje propisa usklađenih sa zahtjevima EU. Bosna i Hercegovina u oblasti otpada prati legislativu Evropske unije, iako još uvijek nema pravnih obaveza implementacije ciljeva iz EU direktiva vezanih za cjelokupni sistem upravljanja otpadom. Jedan od ključnih izazova je nedovoljno efikasan mehanizam koordinacije planiranja u sektoru upravljanja otpadom. Zakonski propisi koji se odnose na upravljanje otpadom predstavljaju jednu od najsloženijih oblasti zakonskih propisa za zaštitu životne sredine usljed širokog niza uticaja koje otpad može imati na čovjeka i životnu sredinu. Posao postepenog usklađivanja zakonodavstva u BiH sa zakonodavstvom Evropske unije je veoma zahtjevan i obuhvatan. Proces aproksimacije predstavlja usklađivanje svih propisa, pravila i postupaka koji se primjenjuju u pristupnoj zemlji sa pravnom tekovinom EU (uredbama, direktivama, odlukama, itd.). Upravljanje otpadom je jedno od najzahtjevnijih područja u smislu usklađivanja sa standardima Evropske unije (EU). Osim toga, rješavanje tog problema i orijentacija prema savremenom upravljanju otpadom jedan su od preduslova za ulazak u EU.

Upravljanje otpadom u BiH uređeno je velikim brojem propisa kojima su, u određenoj mjeri, usklađeni sa propisima EU o upravljanju otpadom. Međutim, u sistemu upravljanja otpadom, u BiH još nisu u potpunosti primijenjeni osnovni

principi upravljanja otpadom na kojima se zasniva upravljanje otpadom u EU, iako su integrisani u Strategije upravljanja otpadom i Planove za upravljanje otpadom na entitetskom nivou, posebno kada je riječ o principu hijerarhije, kojim se obezbijuje poštovanje redoslijeda prioriteta u upravljanju otpadom (sprečavanje nastanka otpada, priprema za ponovnu upotrebu, recikliranje i drugi načini korišćenja otpada, i tek na kraju deponovanje samo onog otpada koji se ne može iskoristiti). Još uvijek nisu na zadovoljavajućem nivou uspostavljeni sistemi za separatno sakupljanje komunalnog otpada, a za neke posebne vrste otpada izvoz predstavlja trenutno jedino rješenje (npr. motorna i druga korišćena ulja).

Iako BiH još uvek nema obavezu implementacije ciljeva iz EU direktiva vezanih za sveobuhvatni tretman otpada, postepeno uključivanje ovih zahtjeva i uspostavljanje integralnog sistema upravljanja otpadom jedan je od prioriteta svih relevantnih strateških dokumenata. Pravna stečevina EU u oblasti zaštite životne sredine, sadržana u svim strateškim dokumentima, od BiH vlasti očekuje da razviju infrastrukturu za upravljanje otpadom kao što su sistemi za reciklažu, te usklade provođenje entitetskih propisa, kako bi reciklažom zemlja mogla imati finansijsku dobit, a potrebno je i da se ojačaju administrativni kapaciteti u cjelokupnom sektoru životne sredine.

S obzirom da je zaštita životne sredine prema Ustavu BiH u nadležnosti entitetskih nivoa vlasti, izrađeni su posebni zakoni za oba entiteta. Na nivou entiteta donose se strategije upravljanja otpadom, a na osnovu strateških odrednica donose se planovi upravljanja otpadom. Entitetskim strategijama utvrđeni su „regioni” u smislu realizacije principa regionalnog pristupa upravljanju otpadom sa preporukama da se na nivou tih regiona stvaraju „centri za upravljanje otpadom“ koji bi, osim deponija, uključivali i postrojenja za tretman otpada.

Važećim zakonodavstvom iz oblasti upravljanja otpadom uveden je i osiguran okvir za savremeni sistem zakonskih propisa o upravljanju otpadom. Zakonom o upravljanju otpadom uređuju se: osnovna načela upravljanja otpadom, planiranje upravljanja otpadom, dozvole za upravljanje otpadom, nadzor nad upravljanjem otpadom, djelatnosti i odgovornosti upravljanja otpadom, prekogranično kretanje otpada. Osnovna odlika propisa koji se odnose na upravljanje otpadom je podsticanje i osiguranje najvažnijih uslova radi sprečavanja nastajanja otpada, prerade otpada za ponovnu upotrebu i reciklažu, izdvajanje materijala i njihovo korišćenje za proizvodnju energije i sigurno odlaganje otpada.

U Republici Srpskoj je na snazi Zakon o upravljanju otpadom („Službeni glasnik Republike Srpske”, broj: 111/13 i 106/15) kojim se između ostalog uređuje planiranje upravljanja otpadom na osnovnim načelima upravljanja otpadom koje

propisuje EU zakonodavstvo: načela prevencije, načela opreznosti, načela odgovornosti proizvođača otpada, načela zagađivač plaća, načela blizine i načela regionalnosti. Cilj Zakona o upravljanju otpadom je podsticanje i obezbjeđivanje najvažnijih uslova radi: sprečavanja nastajanja otpada, prerade otpada za ponovnu upotrebu i reciklažu, izdvajanje sirovog materijala iz otpada i njegovo korišćenje za proizvodnju energije i sigurno odlaganje otpada. Radi postizanja ciljeva potrebno je preduzeti sljedeće neophodne mjere: smanjenje na minimum proizvodnje otpada a posebno njegovih opasnih karakteristika, smanjenje količine otpada, tretiranje otpada na način kojim se osigurava povrat sirovinskog materijala iz njega, spaljivanje ili odlaganje na deponije na ekološki prihvatljiv način onih vrsta otpada koji ne podliježu povratu komponenti.

Zakonom o upravljanju otpadom izuzeti su: radioaktivni otpad; gasovi koji se emituju u atmosferu; otpadne vode, osim tečnog otpada; muljevi iz kanizacionih sistema i otpad septičkih jama, osim muljeva iz postrojenja za tretman muljeva; otpad životinjskog porijekla iz objekata za uzgoj, držanje, klanje životinja, kao i objekata za proizvodnju, skladištenje i promet proizvoda životinjskog porijekla, fekalne materije sa farmi i druge prirodne, neopasne supstance koje se koriste u poljoprivredi; otpad iz rudarstva koji nastaje istraživanjem, iskopavanjem, preradom i skladištenjem mineralnih sirovina, kao i otpad iz kamenoloma; otpad koji nastaje pri traženju, iskopavanju, prevozu i konačnoj obradi ili uništavanju minsko-eksplozivnih sredstava i drugih bojnih sredstava i eksploziva. Evropski katalog otpada transponovan je u Pravilnik o kategorijama otpada sa katalogom („Službeni glasnik RS“, broj: 39/05). Upravljanje ambalažom i ambalažnim otpadom propisano je Uredbom o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom („Službeni glasnik RS“, broj: 50/11). Inspekcijски nadzor nad primjenom ovog zakona i propisa donešenih za njegovo izvršenje vrši ekološka inspekcija putem Republičke uprave za inspekcijske poslove.

Upravljanje otpadom u Republici Srpskoj u nadležnosti je Ministarstva za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju i ove poslove obavlja Resor za zaštitu životne sredine. S druge strane, institucionalna struktura FBiH u domenu upravljanje otpadom dosta je složena, s obzirom na to da postoje tri administrativna nivoa (federalni, kantonalni i opštinski/općinski). Djelatnosti koje regulišu upravljanje otpadom u FBiH su u nadležnosti Federalnog ministarstva okoliša i turizma (FMOIT) i resornih ministarstava kantona, a dio poslova je u nadležnosti jedinica lokalne samouprave. Na kantonalnom nivou, svaki od 10 kantona donosi svoj zakon o upravljanju otpadom usklađen sa Federalnim zakonom. Brčko distrikt ima ovlašćenja nad svim oblastima koje nisu u nadležnosti državne vlasti. U skladu

s tim vlada Brčko distrikta ima nadležnosti koje imaju entiteti, opštine (i kantoni u FBiH) u pitanjima zaštite životne sredine.

Da bi se uspostavio funkcionalan sistem upravljanja otpadom, potrebno je dalje usaglašavanje nacionalnih propisa i donošenje više podzakonskih propisa koji treba da budu usaglašeni sa EU zakonodavstvom, te razvijanje i jačane institucionalnih kapaciteta. Ne postoji efikasan sistem generisanja podataka, validacije i izvještavanja, zbog čega je potrebno formirati relevantne baze podataka o stvaranju otpada i pratiti trendove rasta i opadanja stvaranja otpada. U infrastrukturnom smislu, neophodno je primjenom propisa ubrzati porast primjene tretmana u sektoru upravljanja otpadom. Takođe, potrebno je u saradnji sa drugim sektorima pospješiti primjenu cirkularne ekonomije, koja pojednostavljeno rečeno, predstavlja primjenu davno zaboravljenih znanja o korišćenju otpada kao sirovine.

Proces usaglašavanja nacionalnog zakonodavstva sa evropskim je u toku, ali je još važnije da se u toku pregovora obezbijedi prelazni period za njihovu implementaciju s obzirom na kompleksnost evropskih zahtjeva i na stepen razvoja BiH. U cilju ispunjavanja do sada preuzetih obaveza i budućih koje ćemo tek preuzeti, neophodna je saradnja državne uprave, industrije, akademskog i civilnog sektora i stanovništva. Za razvoj ovakvog pristupa potreban je potpun doprinos svakog relevantnog sektora u ispunjavanju zadatka kao i sistemsko podizanje javne svijesti građana.

Nakon sveobuhvatne analize zakonske regulative iz oblasti upravljanja otpadom možemo zaključiti da je relevantni zakonski okvir u ovoj oblasti na nivou EU i Bosne i Hercegovine u značajnoj mjeri usklađen. Međutim, treba naglasiti da i pored svih postojećih zakona i podzakonskih akata osnovni problem u oblasti upravljanja otpadom predstavlja nepoštovanje propisa i nedostatak sprovođenja kaznene politike prema onima koji propise ne poštuju, odnosno nedovoljan inspeksijski nadzor privrede i operatera sistema.

3. NASTANAK I VRSTE ČVRSTOG OTPADA

Otpad predstavlja nezaobilaznu posljedicu čovjekovog postojanja, a nastaje kao nusproizvod proizvodnog procesa ili kao ostatak nakon potrošnje. Kao što je već pomenuto, otpad je svaka materija ili predmet koji vlasnik odbacuje, namjerava ili mora da odbaci, jer više nema upotrebnu vrijednost. Sve otpadne materije se prema agregatnom stanju mogu podijeliti na: gasovite, tečne, muljevite i čvrste ili njihove smješe. Tečne, a naročito gasovite otpadne materije se u najvećem broju slučajeva rješavaju ispuštanjem u atmosferu, odnosno u prirodne vodotokove. Ono što ostaje vidljivo, nagomilano, jeste čvrsti otpad na koji se obično i misli kada se kaže otpad. Čvrsti otpad uključuje sve čvrste i polučvrste materije za koje vlasnik smatra da nemaju upotrebnu vrijednost zbog koje bi ih zadržao. Čvrsti otpad je složen i heterogen materijal koji nastaje različitim aktivnostima u stanu, na poslu, javnom mjestu, industriji, poljoprivredi, građevinarstvu i drugim djelatnostima.

Otpad se može klasifikovati na različite načine:

- 1) Prema **mjestu nastanka** na: komunalni, komercijalni, poljoprivredni, građevinski, industrijski i posebna kategorija u koju spadaju one vrste otpada čije upravljanje je propisano posebnim pravilnicima i propisima.
- 2) Prema **osobinama** na: opasni, neopasni i inertni.
- 3) Prema **brzini razlaganja** prirodnim putem na: fermentabilni (koji se brzo raspada, npr. ostaci prerađene i neprerađene hrane, vrtni otpad, uginule životinje, itd.) i inertni (koji se razlaže veoma sporo kao keramika, staklo, plastika).
- 4) Prema **karakteru nastajanja**: proizvodni (nusproizvodni), amortizovani (potrošena sredstva proizvodnje) i potrošni (potrošeni proizvodi).
- 5) Prema **agregatnom stanju**: čvrsti, tečni i gasoviti.
- 6) Prema **vrsti otpada**: stakleni, papirni, metalni, plastični i dr.
- 7) Prema **grupi proizvoda**: elektronski, ambalažni, automobilski i drugi otpad.

Opasan otpad je otpad koji po svom porijeklu, sastavu ili koncentraciji opasnih materija može prouzrokovati opasnost po životnu sredinu i zdravlje ljudi i ima najmanje jednu od opasnih karakteristika utvrđenih posebnim propisima,

uključujući i ambalažu u koju je opasan otpad upakovan. Neopasan otpad je otpad koji nema karakteristike opasnog otpada.

Tabela 3.1. Lista otpada - klasifikacija otpada prema djelatnostima iz kojih otpad potiče (RZS, 2021)

	Djelatnosti iz kojih potiče otpad
01 00 00	Otpad koji nastaje kod istraživanja i iskopavanja ruda i kamena i od fizičke i hemijske prerade mineralnih sirovina.
02 00 00	Otpad iz poljoprivrede, vrtlarstva, proizvodnje vodenih kultura, šumarstva, lova i ribolova, pripremanja i prerade hrane.
03 00 00	Otpad od prerade drveta i proizvodnje ploča i namještaja, pulpe, papira i kartona.
04 00 00	Otpad iz industrije kože, krzna i tekstilne industrije.
05 00 00	Otpad od prerade nafte, prečišćavanja prirodnog gasa i pirolitičke obrade uglja.
06 00 00	Otpad iz neorganskih hemijskih procesa.
07 00 00	Otpad iz organskih hemijskih procesa.
08 00 00	Otpad od proizvodnje, formulacije, snabdijevanja i upotrebe premaza (boje, lakovi i staklasti emajli), ljepila, sredstava za zaptivanje i štamparskih boja.
09 00 00	Otpad iz fotografske industrije.
10 00 00	Otpad iz termičkih procesa.
11 00 00	Otpad koji potiče od hemijske površinske obrade i zaštite metala i drugih materijala; hidrometalurgija obojenih metala.
12 00 00	Otpad od oblikovanja i fizičke i mehaničke površinske obrade metala i plastike.
13 00 00	Otpadna ulja i otpad iz tečnih goriva (osim jestivog ulja i otpada iz grupe 05, 12 i 19).
14 00 00	Otpadni organski rastvarači, rashladna i potisna sredstva (osim 07 i 08).
15 00 00	Otpadna ambalaža; apsorbenzi, tkanine za brisanje, filterski materijali i zaštitna odjeća koja nije specifikovana na drugi način.
16 00 00	Otpad koji nije nigdje drugo specifikovan u Listi.
17 00 00	Građevinski otpad i otpad od rušenja (uključujući iskopanu zemlju).
18 00 00	Otpad koji nastaje kod zaštite zdravlja ljudi i životinja i/ili srodnih istraživanja (isključujući otpad iz kuhinja i restorana koji ne potiče iz zdravstvene zaštite).
19 00 00	Otpad iz postrojenja za tretman otpada, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda van mjesta nastanka i pripremu vode za piće i industrijsku upotrebu.
20 00 00	Komunalni otpad (otpad iz domaćinstava i sličan otpad iz industrije, trgovine i ustanova), uključujući odvojeno prikupljene frakcije.

Inertni otpad je otpad koji nije podložan bilo kojim fizičkim, hemijskim ili biološkim promjenama. Inertni otpad neće se rastvarati, sagorijevati ili na drugi način fizički ili hemijski reagovati, biološki razgrađivati ili nepovoljno uticati na druge materije sa kojima dolazi u kontakt na način da prouzrokuje zagađenje životne sredine ili ugrožavanje zdravlja ljudi.

Za klasifikaciju svih vrsta otpada, uključujući i opasan otpad, u RS/BiH se koristi Lista otpada koja je potpuno usaglašena sa Katalogom otpada EU (urađen da stvori jasan sistem za klasifikaciju otpada unutar EU). Katalog stvara osnovu za sve nacionalne i međunarodne obaveze izvještavanja o otpadu kao što su obaveze vezane za dozvole za upravljanje otpadom, nacionalne baze podataka o otpadu i transport otpada. Prema Listi otpada (tabela 3.1), otpad se svrstava u dvadeset grupa prema osobinama i djelatnostima iz kojih potiče. Grupe otpada i pojedinačni naziv otpada označeni su šestocifrenim brojevima, gdje prve dvije cifre označavaju djelatnost iz koje potiče otpad, druge dvije označavaju proces u kome je otpad nastao, a zadnje dvije cifre označavaju dio procesa iz koga otpad potiče. Za potrebe upravljanja otpadom, proizvođač otpada je dužan da klasifikuje otpad prema Listi otpada. Lista otpada se povremeno dopunjava i ažurira.

3.1. KOMUNALNI OTPAD

Komunalni otpad je otpad iz domaćinstava (kućni otpad), kao i drugi otpad koji je zbog svoje prirode ili sastava sličan otpadu iz domaćinstva. Kućni otpad nastaje kao posljedica različitih aktivnosti u domaćinstvima kao što su: kuvanje, čišćenje, preuređivanje, ambalaža, odjeća, stare knjige, sveske, sredstva za ličnu higijenu i sl. Domaćinstva takođe odbacuju krupni (glomazni, gabaritni) otpad poput namještaja i velikih uređaja koji se ne mogu popraviti i koristiti. Otpad iz domaćinstva je, po prirodi, jedan od najtežih izvora otpada za efikasno upravljanje. On se sastoji od različitih organskih i neorganskih materijala (stakla, metala, papira, plastike) koji su pomiješani, relativno malih količina, a prikuplja se sa velikih površina (tabela 3.2).

Komunalni otpad uključuje i otpad nastao kao rezultat komunalnih aktivnosti i usluga kao što su ulični otpad, otpad sa tržnica i sl. Međutim, ovaj pojam se obično koristi u širem smislu da uključuje i institucionalni i komercijalni otpad.

Komercijalni otpad je otpad koji nastaje u preduzećima, ustanovama i drugim institucijama koje se u cjelini ili djelimično bave: trgovinom, uslugama, kancelarijskim poslovima, sportom, rekreacijom ili zabavom, osim otpada iz domaćinstva i industrijskog otpada.

Institucionalni otpad je onaj koji potiče od institucija kao što su: škole, univerziteti, bolnice i istraživački instituti.

Tabela 3.2. Vrste i sastojci komunalnog otpada

Tip	Vrsta	Sastojci
ORGANSKI	Otpad od hrane	Meso, voće i povrće
	Papir i karton	Papir i karton
	Plastika	Polietilen niske gustine, polietilen visoke gustine, polipropilen, polistiren, ostale vrste plastike
	Odjeća vlakna	Tekstil, guma, koža
	Vrtni otpad	Razne biljke
	Drvni otpad	Drvo
	Drugi organski otpad	Kosti i dr.
NEORGANSKI	Metali	Limene kantice, željezo, aluminijum i ostali metali
	Staklo	Bezbojno i obojeno
	Razni sitni otpad	Prašina, pijesak, kamen, keramika, opeka

Generalno, komunalni otpad čini čvrsti otpad iz domaćinstava, administrativnih i obrazovnih institucija, turističkih objekata i trgovina, otpad sa javnih površina, kao i otpad iz industrijskih objekata, ukoliko nema svojstva opasnog otpada. O osobinama i sastavu komunalnog otpada, kao i metodama konačnog zbrinjavanja, će biti više riječi u narednim poglavljima.

Pored komunalnog otpada, u ovoj knjizi su analizirane i druge vrste otpada kao što su posebne kategorije otpada (u koji se ubraja i medicinski otpad), te opasan otpad i poljoprivredni otpad.

3.2. POSEBNE KATEGORIJE OTPADA

Posebne kategorije otpada podrazumijevaju: medicinski otpad, ambalažni otpad, otpadne baterije i akumulatori, otpadna vozila, otpadne gume, otpadna ulja i drugi zauljeni otpad, električni i elektronski otpad, građevinski otpad, otpad koji sadrži azbest, otpad od titan-dioksida, otpadne fluorescentne cijevi koje sadrže živu, mulj iz uređaja za prečišćavanje otpadnih voda, otpad koji sadrži polihlorovana jedinjenja i drugi otpad od dugotrajnih organskih zagađujućih materija (POPs materije).

Upravljanje posebnim kategorijama otpada je jedan od najvećih izazova u zaštiti životne sredine. Otpad koji je određen da se smatra posebnom kategorijom otpada mora se odvajati na mjestu nastanka, odvojeno sakupljati i skladištiti u skladu s pravilnicima i uredbama kojima se uređuje upravljanje određenom posebnom kategorijom otpada.

Ambalažni otpad, prema definiciji u kategorijama kataloga otpada, predstavlja svaku ambalažu ili ambalažni materijal koji se ne može iskoristiti u prvobitne svrhe, osim ostataka materijala nastalih u proizvodnji ambalaže (proizvodni ostaci), koji se ne smatraju ambalažnim otpadom. Ambalažni materijal je svaki materijal od kojeg se proizvodi ambalaža kao što su: staklo, plastika, papir, karton, drvo, metal, višeslojni miješani materijali i drugi materijali.

Otpadne baterije i akumulatori predstavljaju izvor električne energije proizvedene direktnim pretvaranjem hemijske energije. Istrošene baterije i akumulatori se klasifikuju kao opasan otpad.

Otpadna ulja podrazumijevaju sva mineralna ili sintetička ulja ili maziva koja su neupotrebljiva za svrhu za koju su prvobitno bila namijenjena (hidraulična ulja, motorna, turbinska ulja ili druga maziva, brodska ulja, ulja ili tečnosti za izolaciju ili prenos toplote, ostala mineralna ili sintetička ulja, kao i uljni ostaci iz rezervoara, mješavine ulje – voda i emulzije). Otpadno jestivo ulje je ulje koje nastaje obavljanjem ugostiteljske i turističke djelatnosti, u industriji, trgovini i drugim sličnim djelatnostima.

Otpadne gume obuhvataju gume od motornih vozila (automobila, autobusa, kamiona, motocikala i dr.), poljoprivrednih i građevinskih mašina, prikolica, vučenih mašina i sl., koje vlasnik odbacuje ili namjerava da odbaci zbog oštećenja, istrošenosti, isteka roka trajanja ili drugih razloga.

Otpadna vozila su motorna vozila ili djelovi vozila koja se zbog oštećenja, dotrajalosti ili nekog drugog uzroka odbacuju.

Električni i elektronski otpad (EE otpad) je u kategoriji količinski najbrže rastućih vrsta otpada. Čine ga otpadni aparati iz domaćinstva (televizori, radio i video aparati, bijela tehnika), računari, telefoni, kasetofoni itd. Većina EE otpada se smatra opasnim otpadom zbog opasnih komponenti koje sadrži. Metali kao što su bakar (Cu), aluminijum (Al), srebro (Ag), zlato (Au) koji se nalaze u ovom otpadu, mogu se izdvajati i reciklirati.

Otpadne fluorescentne cijevi koje sadrže živu kao vrsta otpada se klasifikuje u kategoriju električnog i elektronskog otpada i predstavlja opasan otpad zbog sadržaja žive. Zato se ove sijalice ne smiju odlagati zajedno sa komunalnim otpadom, već ih treba odvojeno sakupljati i predavati na preradu ili reciklažu. Fluorescentne i druge štedne sijalice u EU se postepeno povlače iz proizvodnje i prodaje.

Mulj iz uređaja za prečišćavanje otpadnih voda nastaje prečišćavanjem otpadnih voda iz domaćinstava i gradova, kao i industrijskih otpadnih voda.

Otpadni mulj može nastajati na samim uređajima, kao i u septičkim jamama i slično.

Građevinski i inertni otpad nastaje kod proizvodnje građevinskih proizvoda ili poluproizvoda, građenja, rušenja ili rekonstrukcije građevina (zemlja od iskopa, otpad od keramike, betona, gvožđa, čelika, plastike, otpadni beton i dr.).

Otpad koji sadrži azbest – svaka supstanca ili predmet koji sadrži azbest, azbestna vlakna i azbestnu prašinu, a koje vlasnik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpad koji sadrži azbest može se naći u građevinskom otpadu.

Pored nabrojanih otpadnih materija u posebne kategorije otpada se ubraja i **medicinski otpad, PCB otpad i drugi otpad kontaminiran dugotrajnim organskim zagađujućim materijama (POPs otpad)** o kojem će biti više riječi u nastavku ove knjige.

3.3. MEDICINSKI OTPAD

Medicinska njega je od vitalnog značaja za naš život, zdravlje i dobrobit. Međutim, otpad koji nastaje medicinskim aktivnostima može biti opasan, toksičan, pa čak i smrtonosan zbog visokog potencijala za prenos bolesti. Zbrinjavanje medicinskog otpada je ozbiljan i rastući problem širom svijeta. Stopa stvaranja medicinskog otpada zavisi od veličine i tipa zdravstvene ustanove, ali i stepena ekonomskog razvoja. Razvijene zemlje stvaraju veće količine medicinskog otpada nego zemlje u razvoju. Podaci Svjetske zdravstvene organizacije otkrivaju da Sjeverna Amerika proizvodi 7–10 kg medicinskog otpada po krevetu dnevno, dok Južna Amerika proizvodi 3 kg otpada po krevetu dnevno. Ova razlika je takođe pronađena u Evropi i Aziji. Zapadna Evropa proizvodi 3–6 kg, dok istočna Evropa 1,4–2 kg otpada po krevetu dnevno. U Aziji, bogatije zemlje proizvode 2,5 kg po krevetu/dnevno, a siromašnije 1,8–2 kg po krevetu/dnevno (Pruss et al., 1999).

Medicinski otpad je sav otpad koji je nastao u zdravstvenim ustanovama i pri pružanju zdravstvenih usluga, bez obzira na njegov sastav, osobine i porijeklo, tako da predstavlja heterogenu smještu klasičnog komunalnog otpada i opasnog medicinskog otpada. Ukupno gledajući, medicinski otpad ne zauzima veliki dio, ali se svrstava u najopasnije vrste otpada, jer može dovesti do zaraza i trovanja.

Proizvođači medicinskog otpada su velike zdravstvene ustanove (klinički bolnički centri, domovi zdravlja, centri za transfuziju i dijalizu, dijagnostičke i naučno istraživačke laboratorije, mrtvačnice, starački domovi, rehabilitacijski centri) i

manje jedinice poput privatnih specijalističkih ordinacija, stomatološke ordinacije, kozmetički saloni, centri za akupunkturu i dr.

Postoje dva osnovna tipa medicinskog otpada:

- 1) Neopasan otpad – po svojoj prirodi i sastavu veoma sličan otpadu stvorenom u domaćinstvu).
- 2) Opasan otpad – svojim porijeklom, sastavom i koncentracijom opasnih materija može uzrokovati opasnost za životnu sredinu i zdravlje ljudi i ima najmanje jednu od opasnih karakteristika utvrđenim posebnim propisima, uključujući i ambalažu u kojoj je opasan otpad bio ili je upakovan).

Dakle, otpad koji nastaje u zdravstvenim ustanovama predstavlja mješavinu komunalnog otpada i opasnog medicinskog otpada koji nastaje pri pružanju zdravstvenih usluga. Oko 80% medicinskog otpada koji se stvara u zdravstvenoj djelatnosti može se uporediti sa komunalnim otpadom, dok je samo 20% od ukupne količine potencijalno opasni otpad koji može biti infektivan, toksičan ili radioaktivan. Najveći dio opasnog medicinskog otpada predstavlja infektivni i patoanatomski otpad (oko 15 %), zatim hemijski (oko 3%) i najmanje genotoksični i radioaktivni otpad (po 1%), (Jakšić i dr., 2001).

3.3.1. Kategorizacija medicinskog otpada

Prilikom pružanja zdravstvenih usluga nastaje otpad koji je definisan kao opasan medicinski otpad, te inertni otpad (sličan je komunalnom, a nastaje u kuhinjama, restoranima, kancelarijama) koji se zbrinjava kao komunalni otpad, jer nije nastao pri pružanju zdravstvene zaštite i ne predstavlja rizik za zdravlje i životnu sredinu.

U opasan medicinski otpad, a prema određenim osnovnim karakteristikama, spadaju (slika 3.1):

- 1) Infektivni,
- 2) Patološki,
- 3) Radioaktivni,
- 4) Farmaceutski,
- 5) Oštri predmeti,
- 6) Posude pod pritiskom,
- 7) Hemijski otpad.



Slika 3.1. Vrste opasnog medicinskog otpada (Bera i dr., 2009)

U infektivni otpad se ubraja otpad koji sadrži (ili može sadržati) mikroorganizme koji zbog svog tipa i koncentracije mogu izazvati bolest ljudi i životinja. Ova kategorija uključuje podloge i biološke materijale iz laboratorija, dijelove opreme, materijal i pribor koji je došao u dodir sa krvlju ili izlučevinama infektivnih bolesnika, ili je upotrebljen pri hirurškim intervencijama, previjanju rana ili obdukciji, otpad iz odjeljenja za izolaciju bolesnika (karantina), otpad iz odjela za dijalizu, sistemi za infuziju, rukavice i drugi pribor za jednokratnu upotrebu i sl. Infektivni otpad sadrži ili patogene mikroorganizme (bakterije, virusi, rikecije, paraziti, gljive), ili rekombinovane mikroorganizme (hibridi ili mutanti), koji su poznati izazivači, ili je razumno očekivati da izazovu infektivne bolesti kod ljudi i životinja.

U **patološki otpad** spadaju: dijelovi ljudskog tijela, amputati, tkiva, organi odstranjeni tokom hirurških intervencija, tkiva uzeta u dijagnostičke svrhe, placentе, fetusi, kao i krv i ostale tjelesne tečnosti. U opasan medicinski otpad spadaju i **oštri predmeti** kao što su: igle, skalpeli, špricevi, lancete, sječiva i bilo koji drugi pribor koji može izazvati ubode ili posjekotine.

Farmaceutski otpad uključuje farmaceutske proizvode, lijekove i hemikalije koji su vraćeni iz upotrebe, odbačene, sa isteklim rokom upotrebe ili se trebaju baciti iz

bilo kojeg razloga. Opasan farmaceutski otpad je otpad od lijekova i dezinficijensa koji sadrže teške metale, kao i lijekova čiji se sastav ne može utvrditi, a koji zbog svog sastava zahtijeva posebne postupke tretmana.

U **hemijski otpad** spadaju odbačene čvrste, tečne ili gasovite hemikalije koje se upotrebljavaju pri medicinskim, dijagnostičkim ili eksperimentalnim postupcima, čišćenju ili dezinfekciji. Ovaj otpad može biti opasan kada ima jednu od sljedećih osobina: toksičan, korozivan, lako zapaljiv, reaktivan i sadrži genotoksične materije, a može biti inertan kada ne posjeduje navedena svojstva. U opasan medicinski otpad spadaju i **posude pod pritiskom** koje sadrže inertni gas i aerosole, odnosno koji mogu eksplodirati prilikom izlaganja višim temperaturama ili slučajnog probijanja. Najčešći gasovi koji se koriste u zdravstvenoj zaštiti su: gasoviti anestetici (azotoksid, isparljivi halogenovani ugljovodonici) koji su u velikoj mjeri zamijenili etar i hloroform: etilenoksid (za sterilizaciju hirurške opreme); kiseonik za inhalaciju pacijenata; komprimovani vazduh za laboratorijski rad, inhalaciju, itd.

Radioaktivni otpad uključuje čvrste materije, tečnosti i gasoviti otpad kontaminiran radionuklidima, uglavnom niskog i srednjeg intenziteta zračenja, koji se koristi u dijagnostici, terapiji i istraživanju: kontaminirani materijali, oprema, rastvori, leševi eksperimentalnih životinja, kontaminirani scintilacioni fluidi i dr. Ovaj otpad potiče od in vitro laboratorijskih analiza tkiva i tjelesnih tečnosti, te iz „in vivo“ dijagnostičkih i terapijskih zahvata koji se uglavnom izvode na odjelima za nuklearnu medicinu. Radioaktivni otpad podliježe posebnim propisima.

Prema definiciji Svjetske zdravstvene organizacije ovoj podjeli dodane su još dvije kategorije: genotoksični otpad i otpad s visokom koncentracijom teških metala.

Genotoksični otpad ima mutageno, teratogeno i karcinogeno djelovanje. Ova grupa otpada uključuje citostatike koji se najčešće koriste u onkologiji u hemoterapiji karcinoma, kao imunosupresori u transplantacijama te u radioterapiji, ali imaju sve veću upotrebu i u ostalim granama medicine. U ovu grupu spadaju još i ostale genotoksične hemikalije, ambalaža i ostali kontaminirani materijal, kao i tjelesne izlučevine pacijenata tretiranih citostaticima. U specijalizovanim onkološkim bolnicama ova vrsta otpada može činiti čak i do 1% od ukupne količine nastalog medicinskog otpada (Pruss, 1999).

Otpad s visokom koncentracijom teških metala obuhvata otpad kontaminiran jedinjenjima: žive, olova, arsena i drugih teških metala (termometri, aparati za mjerenje krvnog pritiska, baterije, rezidue iz stomatološke prakse).

3.3.2. Razdvajanje, skladištenje i transport medicinskog otpada

Svaka zdravstvena ustanova u skladu sa registrovanom djelatnosti obavezna je da donese pravila upravljanja medicinskim otpadom: njegovo inicijalno skladištenje, zadužene osobe i vremenski plan sakupljanja otpada, kao i prevoz do mjesta sekundarnog skladištenja, vođenje evidencije o vrstama i količinama otpada, te njegovo obilježavanje. Glavni ciljevi dobre prakse u sistemu upravljanja medicinskim otpadom treba da uključuju: smanjenje količine medicinskog otpada u zdravstvenim ustanovama, razdvajanje otpada na osnovne kategorije na mjestu nastanka, pravilno pakovanje istog, obilježavanje i odlaganje, izdvajanje sekundarnih sirovina iz otpada, reciklaža, kao i korišćenje čistijih tehnologija za sterilizaciju, odnosno dekontaminaciju, infektivnog medicinskog otpada.

Razdvajanje može značajno smanjiti količinu medicinskog otpada koja zahtijeva specijalizovani tretman. Primarnoj selekciji u zdravstvenoj ustanovi, na mjestu nastanka, podliježu sve vrste medicinskog otpada, uz odvajanje od opšteg otpada, prije predaje ovlaštenom licu za transport medicinskog otpada, odlaganja ili konačnog zbrinjavanja. Za razliku od opasnog medicinskog otpada opšti otpad ne zahtijeva nikakve specijalne mjere i njime se može pouzdano rukovati na isti način kao i sa komunalnim otpadom.

Otpad zdravstvenih ustanova treba se razvrstavati i skupljati na mjestu nastanka u ambalažu prilagođenu njegovim svojstvima, količini, načinu skladištenja, prevozu i obradi, tako da se zaštiti životna sredina i osobe koje rukuju otpadom. Sve kategorije medicinskog otpada čuvaju se u ambalaži s jasnim oznakama kategorije i karakteristikama otpada, koja pruža adekvatnu zaštitu za osoblje zdravstvene ustanove koje stupa u kontakt s takvim otpadom. Ambalaža za pojedine kategorije medicinskog otpada razlikuje se bojom, oblikom i veličinom (slika 3.2), što omogućava i olakšava njegovo razvrstavanje, transport i tretman. Razdvojeni otpad treba staviti u vreće za jednokratnu upotrebu zaštićene od vlage, obješene na specijalne držače ili smještene u plastične ili metalne kontejnere. Vreće treba da budu dovoljno čvrste da izdrže unutrašnje ili spoljašnje mehaničko oštećenje i treba da budu punjene samo do nivoa koji omogućava da se vreća lako i potpuno zatvori. Obojene vreće ili kontejnere treba upotrebljavati za identifikaciju patološkog i infektivnog otpada i označiti ih odgovarajućim simbolima. Kontejneri se moraju zapečatiti prije transporta i moraju biti kompatibilni sa odabranim postupkom tretmana i odlaganja.



Slika 3.2. Ambalaža za medicinski otpad (Dunavplast, 2020)

Oštri predmeti se prikupljaju u neprobojne posude, napravljene tako da je onemogućeno ispadanje sadržaja ili ozljeđivanje i prenos infekcija na osobe koje upotrebljavaju posudu ili rukuju s otpadom. Visoko rizični infektivni otpad treba odmah da bude sterilisan (npr. u autoklavu), ukoliko je moguće odmah na izvoru, da bi se smanjio rizik po osoblje i pacijente, prije pakovanja za tretman i odlaganje. Primjena termičke ili hemijske sterilizacije obavezna je za veoma infektivni otpad na mjestu nastanka prije miješanja sa ostalim infektivnim otpadom. Sudovi pod pritiskom, kao što su aerosol posude, ne smiju biti smještene u vreće spremljene za slanje otpada na insineraciju.

Medicinski otpad koji nastaje u zdravstvenoj ustanovi skladišti se na određenoj lokaciji u krugu ustanove (sekundarno mjesto skladištenja), prije odlaganja, transporta ili prenosa do drugog primaoca. Prostor za skladištenje treba biti izvan dohvata pacijenata i osoblja, te prostora u kojem je velika cirkulacija ljudi, pravilno označen i izolovan. Važno je napomenuti da opasni otpad ima određeno dopušteno vrijeme skladištenja nakon čega se obavezno mora obraditi na primjereni način.

Sekundarno mjesto skladištenja otpada moraju biti prostori koji su odvojeni, označeni, ograđeni, natkriveni i predviđeni samo za tu svrhu. Iz odeljenja do sekundarnog mjesta skladištenja, otpad se transportuje u kontejnerima ili kolicima za transport medicinskog otpada, a koja moraju biti označena međunarodnom oznakom za biološku opasnost. Transportovanje otpada treba vršiti često, tako da se ne dozvoli njegovo nagomilavanje na mjestu nastanka. Transport treba da se obavlja u periodu smanjenog intenziteta aktivnosti i samo duž unaprijed određenih ruta (ICRC, 2011).

3.3.3. Tehnologije zbrinjavanja opasnog medicinskog otpada

Način zbrinjavanja opasnog medicinskog otpada zavisi od kategorije otpada. Pojedine vrste otpada trebaju proći kroz odgovarajuće vrste predtretmana. Tako, npr. infektivni otpad i oštri predmeti obrađuju se u pećima za spaljivanje otpada ili se zbrinjavaju postupcima obrađivanja (drobljenje, mljevenje, dezinfekcija, sterilizacija) čime se dovode u stanje da više nisu opasni za zdravlje ljudi, ili se mogu reciklirati ili odlagati kao inertni komunalni otpad (Stević i dr., 2006). Način zbrinjavanja vrsta medicinskog otpada prikazan je na tabeli 3.3.

Konačno zbrinjavanje medicinskog otpada može da se vrši ili u samoj zdravstvenoj ustanovi, ako je ona opremljena za to, ili to mogu vršiti firme koje su ovlašćene za zbrinjavanje pojedinih vrsta otpada.

Infektivni otpad i oštri predmeti imaju dva moguća načina tretmana: prvi je dezinfekcija (sterilizacija) kao predtretman te deponovanje na deponije, a drugi je spaljivanje u spalionicama opasnog medicinskog otpada nakon čega se ostaci odlažu na deponije. Postoji širok spektar različitih sistema tretmana infektivnog otpada koji se mogu podijeliti na sisteme koji rade na bazi vodene pare pod pritiskom, sisteme koji rade na bazi toplog vazduha (suhe toplote), kao i sisteme koji rade na bazi hemijskih sredstava i na bazi zračenja.

Tabela 3.3. Načini zbrinjavanja medicinskog otpada (Stević i dr., 2006)

Vrsta otpada	Tretman	Način uništavanja
Oštri predmeti	Sterilizacija/dezinfekcija i drobljenje	Deponija komunalnog otpada
Infektivni predmeti	Sterilizacija/dezinfekcija i drobljenje	Deponija komunalnog otpada
Aerosoli/posude pod pritiskom	–	Deponija komunalnog otpada
Farmaceutski otpad	–	Izvoz
Hemijski otpad	–	Izvoz
Patološki otpad	Sterilizacija Bez sterilizacije	Ukopavanje Spaljivanje
Radioaktivni otpad	Posebni propisi	Posebni propisi
Inertni otpad	Reciklaža	Deponija komunalnog otpada

Patološki otpad koji čine prepoznatljivi (amputati, fetusi) i neprepoznatljivi (uzorci tkiva, krv) dijelovi tijela trebaju se tretirati odvojeno. Neprepoznatljivi patološki otpad se kao i ostali infektivni otpad spaljuje u spalionicama, a prepoznatljivi se radi etičke dimenzije spaljuje u krematorijumu ili zakopava na groblju.

Otpad sa visokim sadržajem teških metala, kao i otpadne boce pod pritiskom ne mogu se tretirati insineracijom. Otpad sa visokim sadržajem teških metala tretira se fizičko-hemijskim postupcima u postrojenjima koja imaju dozvolu za tretman.

Hemijski, farmaceutski i citotoksični otpad tretira se fizičko-hemijskim postupcima ili insineracijom u postrojenjima koja imaju dozvolu za tretman opasnog otpada u skladu sa zakonom kojim se uređuje upravljanje otpadom. Hemijski otpad može se reciklirati ili spaljivati u pećima za spaljivanje opasnog otpada. U potencijalne reciklažne procese hemijskog otpada ubrajamo: redestilaciju rastvarača, iskorišćavanje zapaljivih organskih rastvarača kao goriva, reciklaža hromne kiseline (npr. upotrebljava se za čišćenje staklenog posuđa u laboratorijama), iskorišćavanje srebra iz fotografskih rastvora za razvijanje i sl.

Farmaceutski otpad spaljuje se u spalionicama opasnog otpada, a ostaci procesa mogu se odlažiti na deponije.

Danas postoji veliki broj tehnologija kojima možemo propisno ukloniti opasni medicinski otpad: insineracija (spaljivanje), dezinfekcija parom, mikrovalna dezinfekcija, i hemijska dezinfekcija.

Prema studijama tretmana medicinskog otpada, oko 59–60% medicinskog otpada tretira se spaljivanjem, 37–20% parnom sterilizacijom, a 4–5% drugim metodama tretmana (Park i Jeong, 2001)

Dezinfekcija parom. Dezinfekcija/sterilizacija parom ili autoklaviranje jeste fizički postupak tretmana koji podrazumijeva termičku obradu pod strogo kontrolisanim operativnim uslovima (pritisak, temperatura, zasićenost vodene pare, vrijeme trajanja i dr.) čiji rezultat je bezbjedan nivo sterilnosti. Uređaj za dekontaminaciju infektivnog medicinskog otpada pod nazivom autoklav (slika 3.3) se koristi za tretiranje oštih predmeta, predmeta kontaminiranih krvlju, ostataka operacija i izolacijskih odjela, zavoja, gaze i drugih sličnih materijala i nehemijskog laboratorijskog otpada. Autoklav ne može tretirati različite hemijske i opasne supstance kao što su: otpad od tretmana hemoterapije, živa, isparljiva i poluisparljiva organska jedinjenja, radioaktivni otpad i drugi opasni hemijski otpad. Osnovni cilj procesa sterilizacije autoklaviranjem je potpuno uništavanje bioloških agenasa u otpadu, što podrazumijeva određenu temperaturu i period tokom koga se ta temperatura održava. Ukoliko se infektivni medicinski otpad sterilise, a zatim i

usitni na način da se ne može prepoznati kao otpad koji je medicinskog porijekla, tada se on može odložiti na deponijama.

Jonizujuće gama zračenje deaktivira mikroorganizme hidrolizom molekula vode unutar mikroorganizama, deaktivacijom organizama i sprečavanjem njihove reprodukcije. Gama zračenje se upotrebljava za sterilizaciju korišćene medicinske opreme koja je osjetljiva na temperaturu. Krajnji proizvod je usitnjen čvrsti otpad koji može biti odložen na sanitarnu deponiju.



Slika 3.3. Uređaj za dekontaminaciju infektivnog medicinskog otpada – autoklav i drobilica (Analitika, 2016)

Nejonizujuće zračenje mikrotalasima. Mikrotalasi su elektromagnetni talasi koji imaju frekvenciju između infracrvenih i radio talasa. Faktori koji utiču na mikrotalasni tretman medicinskog otpada uključuju učestalost i talasnu dužinu zračenja, trajanje izlaganja, sadržaj vlage u otpadu, temperaturu procesa i miješanje otpada tokom tretmana. Postoje dva tipa sistema za tretman medicinskog otpada mikrotalasnim zračenjem. Mikrotalasne peći sa radnim dijelom na vrhu upotrebljavaju se za tretman malih količina medicinskog otpada stvorenih u kliničkim ili istraživačkim laboratorijama. Drugi tip čine specijalni uređaji za mikrotalasni tretman razvijeni specifično za medicinski otpad. Otpad se melje, tretira parom i podvrgava mikrotalasnom zračenju, u jednom istom postrojenju.

Nejonizujuće zračenje radio-talasima

Zračenje radio-talasima uključuje grijanje otpada do željene temperature, njegovim izlaganjem zračenju kratkim radio talasima visoke snage i niske frekvencije. Važno je da otpad bude vlažan, bilo kao rezultat prirodne vlage ili dodavanjem pare, kako

bi se stvorio termički proces. Zagrijani otpad se izlaže povišenoj temperaturi oko četiri sata. Krajnji proizvod može biti odložen na sanitarnu deponiju ili recikliran kao gorivo. Troškovi ovog tretmana su prilično visoki i nisu pristupačni zemljama u razvoju.

Hemijska dezinfekcija. U prethodnom periodu najčešće hemijsko dezinfekciono sredstvo za tretman medicinskog otpada bio je hlor zbog sposobnosti hlora i hipohlorita da inaktiviraju širok spektar mikroorganizama. Nedavno su na tržište uvedena hemijska dezinfekciona sredstva bez hlora, kao što su peroksisirćetna kiselina, glutaraldehid, natrijum hidroksid, ozonski gas i kalcijum oksid (Verma, 2014). Neki od njih se obično koriste za dezinfekciju medicinskih instrumenata. U tretmanu medicinskog otpada, antimikrobiološki hemijski agensi mogu biti korišćeni posebno, ili u kombinaciji sa inkapsulacijom ili mehaničkom destrukcijom. Efekat ovakvog tretmana zavisi od karakteristika hemikalija, koncentracija aktivnih ingredijenata, vremena kontakta sa otpadom, kao i karakteristika samog otpada koji se tretira. Hemijski tretman se primjenjuje u malim bolnicama za tretiranje medicinskog otpada prije odlaganja na deponiju. Otpad, kao što su špricevi i štapići za grlo, dodaju se u toku radnog dana u kontejner sa hemijskim rastvorom koji održava otpad neinfektivnim. Na kraju radnog dana tečnost se baca u kanalizacioni sistem, a čvrsti predmeti se odlažu na deponiju (Jakšić i dr., 2001)

Insineracija (spaljivanje). Insineracija medicinskog otpada je proces u kome se ovaj otpad spaljuje, proizvodeći gasove sagorijevanja i nesagorivi ostatak (pepeo). Spaljivanje (insineracija) predstavlja odgovarajući način eliminacije većine medicinskog otpada uključujući tu i neke vrste hemijskog otpada, ali ne i radioaktivni otpad. Insineratori značajno smanjuju zapreminu i masu čvrstog otpada i redukuju broj mikroorganizama u otpadu. Insineratori treba da budu projektovani za sagorijevanje medicinskog otpada pod kontrolisanim uslovima i da proizvode sterilni ostatak. Efikasno sagorijevanje se osigurava kombinacijom temperature sagorijevanja i vremena zadržavanja. Ovaj proces se obično koristi za tretiranje otpada koji se ne može reciklirati, ponovo koristiti ili odložiti na deponiju. Pri spaljivanju medicinskog otpada treba imati u vidu značajne količine otpada koji sadrži hlor, kao što je polivinil hlorid (PVC) ili dezinfekciono sredstvo, a spaljivanje ove vrste otpada, bez odgovarajuće kontrole i uređaja za smanjenje emisije, može proizvesti dioksine i furane poznate kao poznate opasne polutante. Dioksini su povezani sa: rakom, poremećajima imunološkog sistema, dijabetesom, urođenim defektima i poremećenim seksualnim razvojem (Cole, 1997). Spaljivanjem se emituje i mnogo drugih štetnih polutanata, kao i ugljen-monoksid (kao rezultat nepotpunog sagorijevanja), hlorovodik, metali (npr. živa olovo, arsen,

kadmij), (WHO, 2005.) Problemi su tipični za svaku zemlju u razvoju koja ne može sebi priuštiti kupovinu ekološki prihvatljivih spalionica s najnovijom tehnologijom. Mnogi od ovih zagađujućih materija, posebno dioksini, mogu se prenositi na velike udaljenosti od svog izvora emisije i akumulirati u zemljištu, vodi i izvoru hrane. Iz tog razloga sve emisije i ostaci procesa insineracije moraju biti oslobođeni štetnih agenasa. Tretman medicinskog otpada insineracijom ili ko-insineracijom treba da se obavlja samo u postrojenjima predviđenim za tu namjenu, pod uslovom da emisija zagađujućih materija u vazduh, vodu i zemljište ne prelazi propisane granične vrijednosti, u skladu sa posebnim propisima. Pravilnik o upravljanju medicinskim otpadom propisuje da se insineracija ili ko-insineracija opasnog medicinskog otpada obavlja pod propisanim uslovima (minimalna temperatura sagorijevanja u primarnoj komori od 850 °C, a kada otpad sadrži više od 1% halogenovanih organskih supstanci, izraženih kao hlor, temperatura se podiže na 1100 °C u sekundarnoj komori sa minimalnim retencionim vremenom od 2 sekunde), da bi se obezbijedio najveći mogući stepen uništenja organskih zagađujućih materija, uključujući i dioksine, u skladu sa posebnim propisom. Nesagorivi ostatak (pepeo) se uklanja iz inseneratora i odlaže na deponiju. Najčešći korišćeni tipovi inseneratora za tretman medicinskog otpada su: plazma tehnologija; višekomorni insenerator za patološki otpad; inseneratori sa kontrolisanim vazduhom; rotacione peći i jednokomorni insenerator sa statičkom rešetkom.

3.4. POLJOPRIVREDNI OTPAD

Poljoprivredni otpad je otpad koji nastaje od ostataka iz: poljoprivrede, šumarstva, prehrambene i drvne industrije. Poljoprivredni otpad nastaje u ratarstvu, voćarstvu, stočarstvu, ribarstvu i lovu. Otpad iz šumarstva nastaje održavanjem i iskorišćavanjem šuma. Ovaj otpad nije u nadležnosti javnih komunalnih službi.

Organski poljoprivredni otpad se uglavnom koristi u procesu kompostiranja, spaljivanja i proizvodnji biogasa. U stočarstvu najveću stavku predstavljaju ekskrementi (životinjske fekalije i mokraća) koji sa steljom stvaraju organsko đubrivo koje se koristi uglavnom u ratarstvu.

Proces savremene poljoprivredne proizvodnje za sobom ostavlja i posljedice u vidu određenih količina opasih otpadnih materija koje potiču od poljoprivredne mehanizacije (korišćena maziva, korišćeni antifriz, akumulatori, filteri i sl.) i hemijskih sredstava koja se primjenjuju u poljoprivredi (pesticidi i đubriva). Opasni otpadi poljoprivrede obuhvata i leševe životinja uginulih tokom epizootija

(pojava oboljenja ili uginuća većeg broja životinja od neke bolesti). Ukoliko takve materije ili njihovi nusprodukti dospiju u zemljište, vodu ili vazduh, one predstavljaju potencijalnu opasnost po zdravlje ljudi i mogu izazvati zagađenje životne sredine.

Ambalažni otpad iz poljoprivrede kao npr. ambalaža za mineralna đubriva, za pesticide ili otpad od poljoprivredne mehanizacije (otpadna ulja, akumulatori, filteri i sl.) može se uspješno reciklirati. Ambalaža (pakovanja eksploatacionih tečnosti i tečnih hemijskih poljoprivrednih sredstava) brzo se nagomilava na deponijama, zbog slabe razgradljivosti plastičnih materijala. Upotrijebljena plastična ambalaža može da se iskoristi u energetske svrhe, za reciklažu i za ponovnu upotrebu.

Iskorišćena ulja sadrže veliki procenat veoma toksičnih i kancerogenih supstanci što ih čini opasnim otpadom, a lako mogu da prodru u zemljište i vodu. U najvećoj mjeri se koriste kao gorivo i to sagorijevanjem u nenamjenskim gorionicima, što nepovoljno djeluje na sastav dimnih gasova, u koji ulaze i kancerogeni nesagorjeli ugljovodonici.

Pozitivne strane iskorišćenja sirovinskog ili energetskog potencijala otpadnih materija vodi ka redukciji količine otpada, kako opasnog tako i inertnog, kao i pravilniju kontrolu manipulacijom otpada u procesu poljoprivredne proizvodnje.

Pouzdanih podataka o količini poljoprivrednog otpada i otpada iz šumarstva u RS/BiH nema, s obzirom na to da se veliki dio ostataka iskorišćava u daljoj proizvodnji. Poseban problem predstavlja otpad životinjskog porijekla, o čemu će više riječi biti u nastavku teksta ove knjige.

3.4.1. Otpad životinjskog porijekla

Prvobitna definicija otpada životinjskog porijekla je obuhvatala životinjske leševe i dijelove zaklanih životinja koji nisu namijenjeni ili bezbjedni za ishranu ljudi ili životinja, kao i konfiskate¹⁸. U nusproizvode¹⁹ životinjskog porijekla, pored navedenog, ubraja se i stajsko đubrivo, nusproizvodi prikupljeni tokom tretmana otpadnih voda iz klaonica i mnogi drugi nusproizvodi razvrstani u 3 kategorije, zavisno od stepena rizika za javno zdravlje i zdravlje životinja („Zakon o nusproizvodima životinjskog porijekla“, „Sl. glasnik RS“, broj: 60/2013 i 94/2019).

¹⁸ Konfiskati (konfiskalni otpad) – organi i dijelovi trupla zaklanih životinja ocijenjeni higijenski neispravnim na osnovu rezultata veterinarsko-sanitarnih pregleda.

¹⁹ Nusproizvodi su životinjski trupovi i sastavni dijelovi životinjskog tijela, koji nisu namijenjeni ishrani ljudi, kao i zdravstveno neispravni prehrambeni proizvodi i životinjski proizvodi

Otpad i nusproizvodi životinjskog porijekla nastaju u objektima za uzgoj, držanje i klanje životinja, kao i u objektima za proizvodnju, skladištenje i promet proizvoda životinjskog porijekla: u klaonicama, pogonima za preradu mesa, ribe i drugim objektima za uzgoj i držanje životinja i prerađevina (hladnjače, stovarišta, štale, zoološki vrtovi i dr.), prodavnicama, ugostiteljskim i drugim objektima javne prehrane. Otpad životinjskog porijekla nastaje i u veterinarstvu, a obuhvata i uginule životinje sa javnih površina.

Za uspostavljanje sistema upravljanja otpadom životinjskog porijekla, neophodno je identifikovati izvore i puteve ovog otpada, te izvršiti analizu postojećih praksi upravljanja otpadom. Zbrinjavanje i upravljanje otpadom životinjskog porijekla podrazumijeva kategorizaciju ovog otpada na mjestu nastanka, te organizaciju njegovog prikupljanja, transporta, odlaganja, skladištenja i neškodljivog uklanjanja, odnosno zbrinjavanja. Otpad životinjskog porijekla, neadekvatno zbrinut, predstavlja veliku prijetnju za zdravlje ljudi i životinja, te životnu sredinu, a s druge strane, može biti mnogostruko iskorišćen (za energiju, za prirodna đubriva, za proizvodnju stočne hrane i veterinarskih lijekova i sl.) ukoliko se uspostavi adekvatan, sveobuhvatan sistem njegovog upravljanja.

Moguće metode, odnosno tehnike i postupci za tretman i konačno zbrinjavanje otpada životinjskog porijekla koje se primjenjuju u praksi u svijetu su:

- 1) Insineracija i ko-insineracija (spaljivanje i ko-spaljivanje).
- 2) Renderiranje (kuvanje).
- 3) Alkalna hidroliza.
- 4) Proizvodnja biogasa (anaerobna digestija).
- 5) Kompostiranje.

Renderiranje je postupak karakterističan za tretman/reciklažu otpada životinjskog porijekla u pogonima za toplotni tretman (kafilerije). Na ovaj način se uginule životinje i slični otpad od klanja i tretmana svih vrsta mesa izlaže visokim temperaturama u destruktorima, odnosno sterilizatorima i prevode u tri krajnja proizvoda: glavni proizvod mesno – koštano brašno, mast (tehnička mast) i vodu. Reciklirano meso i kosti u prahu koriste se kao izvor proteina i drugih nutricionističkih sastojaka u prehrani peradi, svinja, stoke, ovaca, ribe i u hrani za kućne ljubimce. Mast se takođe daje životinjama kao izvor dodatne energije. Kafilerija u Republici Hrvatskoj prerađuje životinjske leševe u biodizel, stočnu hranu i gnojivo.

U skladu sa rizikom koji nosi po zdravlje životinja i ljudi, nusproizvodi životinjskog porijekla se razvrstavaju u tri kategorije, gdje kategorija 1 predstavlja

visoki rizik, kategorija 2 srednji, a kategorija 3 niski rizik po zdravlje ljudi i životinja, te po životnu sredinu. Pravilna kategorizacija nusproizvoda životinjskog porijekla podrazumjeva pravilno razdvajanje i odlaganje u specijalne posude (kontejnere) namijenjene svakoj od kategorija nusproizvoda životinjskog porijekla, te njihovo pravilno obilježavanje.

U skladu sa Zakonom o nusproizvodima životinjskog porijekla („Sl. glasnik RS“, broj: 60/2013, 94/2019) kategorija 1 predstavlja visoko rizičan materijal i u nju spadaju leševi životinja zaraženi sa TSE (Transmisivna spongiformna encefalopatija) ili poznatija kao BSE (bolest ludih krava), drugim opasnim zoonozama kao i drugim nepoznatim rizikom koji je u vezi sa liječenjem životinja nelegalnim supstancama, kao i nusproizvodi koji sadrže ostatke drugih supstanci i kontaminanata koji su iznad dozvoljenih količina. Kategorija 2 obuhvata stajsko đubrivo, ostatke bolesnih životinja, ostatke veterinarskih lijekova, fetuse i sl. Kategorija 3 obuhvata ostatke zaklanih zdravih životinja, odnosno dijelove životinja iz klaonice koji se ne koriste u komercijalne svrhe (koža, kosti, rogovi, papci, perje, vuna, dlaka, krzno, kao i krv životinja koje nisu pokazivale znakove bolesti).

Prema navedenom zakonu sa materijalom kategorije 1 postupa se na jedan od sljedećih načina: spaljuje se, vrši se sterilizacija pod pritiskom i zakopava u odobrenim deponijama, koristi se kao gorivo, sa prethodnom obradom ili bez nje. Sa materijalom kategorije 2 postupa se na isti način, s tim da je dozvoljeno da se koristi za proizvodnju organskih đubriva, da se vrši kompostiranje ili pretvaranje u biogas. Slična pravila važe i za materijal kategorije 3, s tim što je dozvoljeno i da se obrađuje i koristi za proizvodnju hrane za životinje.

Otpad životinjskog porijekla predstavlja kvantitativno ogromnu organsku materiju koju, zbog njene specifičnosti trebamo razmatrati s higijenskog, epidemiološkog, ekološkog i ekonomskog aspekta. Sa higijenskog i epidemiološkog aspekta ovu vrstu otpada možemo posmatrati kao potencijalno opasan supstrat, jer sadrže mnoštvo mikroorganizama od kojih su neki i uzročnici zoonoza. Infektivni materijal iz lešina mogu raznostiti različite životinje i na taj se način prenijeti razne bolesti kao npr. bruceloza, bjesnoća, Q groznica, trihinelozna i dr. (Vučemilo i dr., 1996).

Ekonomski aspekt uklanjanja otpada životinjskog porijekla podrazumijevaju sakupljanje i neškodljivo uklanjanje velikih količina biološkog materijala, koji iziskuje određene troškove, a oni se reflektuju na cijenu proizvoda životinjskog porijekla. Određeni sporedni proizvodi, u vidu krzna i kože, mogu biti iskorišćeni na različite načine i dostići visoke cijene.

Ekološki aspekt podrazumijeva činjenicu da sastojci animalnog otpada na različite načine dospijevaju u sve dijelove životne sredine: hidrosferu, pedosferu i atmosferu i uključuju se u sve biogeohemijske cikluse u biosferi. Veći dio otpada koji nastaje u klaonicama uključuje: kožu, krzno, krv, dijelove buraga, kosti, rogove, kopita, bešike, žučne kese, materice, rektume, vime, njuške, uši, mesne dodatke, guše, dlaku, perje, iznutrice živine, glave i dr.

Jedan od najznačajnijih problema iz oblasti životne sredine, zajednički svim klaonicama, predstavlja ispuštanje velikih količina otpadnih voda. U toku proizvodnje su neophodni stalna kontrola kvaliteta, pranje i dezinfekcija u cilju obezbjeđivanja higijenski čistog mesa i mesnih proizvoda (De Haan, et al. 1997). Otpadne vode iz klaonica sadrže: krv, masnoće, izmet, nesvareni stomačni sadržaj i deterdžente. Otpadne vode su značajno opterećene organskom materijom, masnoćama, azotom, fosforom i hloridima. Tečni životinjski otpad može da unese određene patogene i višak hranjivih materija u površinske i podzemne vode. Unošenjem hranjivih materija uzrokuje eutrofikaciju kao posljedicu nemogućnosti razlaganja organskih materija u aerobnim procesima zbog prevelike potrošnje kiseonika. Na taj način se smanjuje kvalitet vode, značajno se mijenjaju uslovi staništa i dolazi do gubitka biodiverziteta.

Ciljevi sistema upravljanja otpadom životinjskog porijekla su obezbjeđivanje uslova za (IZSHZ, 2019):

- 1) Praćenje nastanka otpada životinjskog porijekla.
- 2) Upravljanje otpadom životinjskog porijekla na način kojim se ne ugrožava zdravlje ljudi, životinja i životne sredine.
- 3) Utilizaciju, odnosno maksimalno iskorišćavanje otpada životinjskog porijekla.
- 4) Razvijanje svijesti o upravljanju i mogućem korišćenju otpada životinjskog porijekla kao sirovine za dalju preradu, proizvodnju energije i drugih korisnih proizvoda.

Porast broja ljudi na planeti uslovio je povećane potrebe u hrani animalnog porijekla, ali i povećanje produkcije otpada životinjskog porijekla. Klanjem životinja u mesnicama za ljudsku prehranu oko 50% životinjskog mesa predstavlja nusproizvod, odnosno otpadnu materiju (tjelesne tečnosti, unutrašnji organi, kosti, rožne materije, dlaka i sl.). U Evropskoj Uniji, oko 17 miliona tona nusproizvoda klanja proizvede mesna industrija svake godine (Woodgate, Veen, 2004).

Upravljanje otpadom životinjskog porijekla u BiH. Trenutno ne postoji uspostavljen sistem upravljanja nusproizvodima i otpadom životinjskog porijekla u Bosni i Hercegovini. Postojeći zakonodavni okvir za uspostavljanje održivog

sistema upravljanja otpadom i nusproizvodima životinjskog porijekla je zadovoljavajući. Međutim, pitanje njegove implementacije predstavlja najveći izazov. I pored donešenih pomenutih zakona evidentno je da trenutno postupanje s nusproizvodima i otpadom životinjskog porijekla u cijeloj Bosni i Hercegovini nije u skladu s propisima i standardima Evropske unije za oblast veterinarstva i zaštite životne sredine (IZSHZ, 2019). Ne postoje kafilerije ni sabirni centri sa hladnjačama za sakupljanje ove vrste otpada, već se isti odlaže na deponije bez prethodnog tretmana ili se izvozi. U Bosni i Hercegovini nema pouzdanih podataka o količinama otpada životinjskog porijekla, niti postoje službe koje bi na adekvatan način postupale sa tijelima uginulih i ubijenih životinja. Zbog nedostatka stočnih groblja leševi uginulih životinja ubacuju se u prirodne jame (u kraškim područjima – ekološki najranjivijim zbog vodopropusnosti podloge), udubljenja u zemlji, i sl., pri čemu se dezinfekcija uopšte ne vrši ili se vrši na primitivan način. Ovako odbačen životinjski otpad direktno ugrožava sve elemente životne sredine, sa nepredvidivim posljedicama. Dokazano je da animalni otpad uzrokuje zagađenje, toksifikaciju i infekciju zemljišta, narušava vizualnu sliku prirodnih pejzaža, te uzrokuje emisiju neugodnog mirisa, amonijačnih materija i drugih ekološki reaktivnih produkata dekompozicije organskih ostataka životinja. Takva situacija sa sobom nosi i brojne rizike po zdravlje ljudi i životinja zbog nepostojanja adekvatne infrastrukture za prihvatanje i zbrinjavanje ove posebne kategorije otpada. Velike količine ovog otpada završavaju na deponiji, koja treba da služi isključivo za odlaganje komunalnog otpada.

U ranijem periodu u nekim gradovima BiH (npr. u Gradišci i Brčkom) su postojali uređaji za toplotni tretman animalnog klaoničkog otpada (kafilerije), koje su prestale sa radom nakon pojave opasne zoonoze, goveđe spongiformne encefalopatije (GSE), u narodu poznatije kao „bolest ludih krava“. Pomenute kafilerije su preradom životinjskog otpada proizvodile koštano brašno za ishranu domaćih životinja. Nakon prestanka rada navedenih kafilerija nije organizovan neki drugi adekvatan način rješavanja ukupnog nastalog otpada životinjskog porijekla (osim spalionica koje se koriste u nekim pogonima za klanje i preradu krupne i sitne stoke). Iz svega navedenog, jasno je da su hitne aktivnosti neophodne u cilju rješavanja pitanja animalnog otpada u BiH, a imajući u vidu zastupljenost stočarske proizvodnje i da je sektor prerade mesa kroz razvoj manjih privatnih objekata u ekspanziji, te da su negativni kumulativni uticaji na životnu sredinu evidentni.

Da bi se ispunili svi evropski standardi i ispoštovala postojeća zakonska regulativa u BiH, neophodno je postojanje visoko razvijene svijesti o uticaju otpada i nusproizvoda životinjskog porijekla na javno zdravlje, zdravlje životinja i životne

sredine u cjelini, te jasno definisan model finansiranja za sakupljanje, prevoz, preradu, skladištenje i zbrinjavanje otpada i nusproizvoda životinjskog porijekla.

Ekonomski održiv i efikasan sistem upravljanja otpadom životinjskog porijekla treba obuhvatiti projektovanje i izgradnju sve potrebne infrastrukture, najmanje jednog objekta za neškodljivo uklanjanje otpada životinjskog porijekla, te pratećih regionalnih objekata – transfer stanice u kojima se otpad samo prikuplja, te odvozi na preradu do centralnog objekta za zbrinjavanje. Izgradnjom adekvatnog postrojenja druga i treća kategorija ovog otpada bi se mogle iskoristiti kao sekundarne sirovine za proizvodnju mesnog brašna, košanog brašna te produkciju drugih proizvoda stočne hrane. Stajsko đubrivo je izvanredan resurs u dobijanju biogasa koji se uspješno koristi u toplifikaciji i elektrifikaciji.

3.5. OPASNI OTPAD

Razvoj industrije i intenzivna urbanizacija dovode do značajnog povećanja količina, ali i vrsta otpadnih materija, među kojima se posebno ističe problem rješavanja otpada kojeg, zbog svojih karakteristika, svrstavamo u opasni. Opasan otpad je otpad koji po svom porijeklu, sastavu ili koncentraciji opasnih materija može prouzrokovati opasnost po životnu sredinu i zdravlje ljudi i ima najmanje jednu od opasnih karakteristika utvrđenih posebnim propisima, uključujući i ambalažu u koju je opasan otpad upakovan. Zbog osobina opasnog otpada, njegovo sigurno upravljanje se često mora povjeriti specijalizovanim preduzećima u cilju eliminisanja rizika po ljudsko zdravlje.

Postoji nekoliko opcija za upravljanje opasnim otpadom. Najpoželjnije je da se smanji količina otpada na njegovom izvoru ili da se materijal reciklira za neku drugu produktivnu upotrebu. Ipak, iako su smanjenje i reciklaža poželjne opcije, oni se ne smatraju konačnim rješenjem za opasni otpad. Uvek će postojati potreba za tretmanom i skladištenjem ili odlaganjem određene količine opasnog otpada.

3.5.1. Klasifikacija i osnovne karakteristike opasnog otpada

Opasan otpad, po definiciji, predstavlja otpad koji ima takva fizička, hemijska i biološka obilježja da zahtijeva specijalno rukovanje i postupke obrade kako bi se izbjegli rizici i štetna djelovanja na zdravlje i životnu sredinu. Veliki problem kontrole i upravljanja opasnim otpadom je identifikacija otpada – ne postoji međunarodno prihvaćena definicija opasnih karakteristika otpada. Različita iskustva u upravljanju opasnim otpadom, stepen razvijenosti zakonskih regulativa,

kao i odnos društvene zajednice prema istom, u mnogim zemljama doveo je do različitog shvatanja i definisanja ovog pitanja koje se posljednjih decenija intenzivno mijenja i unapređuje (Panić, 2010).

Opasni otpad se klasifikuje na osnovu njegovih bioloških, hemijskih i fizičkih svojstava. Ova svojstva stvaraju materijale koji su ili: toksični, reaktivni, zapaljivi, korozivni, infektivni ili radioaktivni (npr. kiselina iz akumulatora je korozivna, određene boje, odmašćivači i rastvarači su zapaljivi; određeni cijanidi i otpad koji sadrži sulfide su reaktivni, a otpad koji sadrži visoke koncentracije teških metala (kadmijum, olovo, živa) su toksični) (Jakšić i Ilić, 2000).

Toksični otpad je otrov, čak i u vrlo malim količinama ili u tragovima. Mogu imati akutne posljedice, uzrokovati smrt ili nasilnu bolest, ili mogu imati hronične efekte, polako uzrokujući nepopravljivu štetu. Neki su kancerogeni, uzrokujući rak nakon mnogo godina izlaganja. Drugi su mutageni, uzrokujući velike biološke promjene u potomstvu izloženih ljudi i životinja.

Reaktivni otpad je hemijski nestabilan i burno reaguje sa vazduhom ili vodom. Oni izazivaju eksplozije ili stvaraju otrovne pare. Zapaljivi otpad gori na relativno niskim temperaturama i može izazvati neposrednu opasnost od požara. Korozivni otpad uključuje jake kisele ili alkalne supstance, koji hemijskom reakcijom uništavaju čvrsti materijal i živo tkivo s kojim su u kontaktu.

Infektivni otpad uključuje: korišćene zavoje, hipodermične igle i druge materijale iz bolnica ili ustanova za biološka istraživanja.

Radioaktivni otpad emituje jonizujuću energiju koja može naštetiti živim organizmima. Budući da neki radioaktivni materijali mogu opstati u životnoj sredini hiljadama godina prije nego što se potpuno raspadnu, postoji velika zabrinutost oko kontrole ovog otpada. Međutim, rukovanje i odlaganje radioaktivnog materijala nije odgovornost lokalne opštinske uprave. Zbog obima i složenosti problema, upravljanje radioaktivnim otpadom – posebno otpadom nuklearne fisije – obično se smatra inženjerskim zadatkom odvojenim od drugih oblika upravljanja opasnim otpadom.

Nakon određivanja osobina koje karakterišu opasan otpad, neophodno je izvršiti njegovu klasifikaciju, a kao osnovni kriterijum se uzimaju izvori iz kojih nastaje opasni otpad. Na tom principu uređen je 1994. godine Evropski katalog otpada i Lista opasnog otpada, sa ciljem da sve članice EU-a prihvate jedinstvene liste i način klasifikacije otpada i opasnog otpada i na taj način omoguće formiranje jedinstvenog sistema upravljanja otpadom.

Čvrsti otpad se smatra opasnim otpadom ako (Blackman, 2001):

- 1) Ispunjava jednu ili više propisanih karakteristika opasnog otpada.
- 2) Naveden je u Listima opasnog otpada.
- 3) Predstavlja mješavinu opasnog otpada i drugog inertnog čvrstog otpada.
- 4) Ako je nastao tokom: tretmana, čuvanja ili finalnog odlaganja opasnog otpada.

Ukoliko medijum iz životne sredine postane kontaminiran opasnim otpadom (a samim tim ga i sadrži), njime se dalje mora upravljati kao sa opasnim otpadom. Npr. ukoliko iz rezervoara curi neki opasan otpad u zemljište, to zemljište se mora tretirati kao opasan otpad. Svi predmeti koji su bili u kontaktu sa opasnim otpadom (npr. krpe, oprema za ličnu zaštitu ili drvene palete koje su kontaminirane opasnim otpadom), moraju se tretirati kao opasan otpad sve dok se ne izvrši njihova dekontaminacija. Svaki pepeo ili ostatak iz procesa insineracije u insineratoru za opasan otpad, smatra se opasnim otpadom.

3.5.1.1. Perzistentni organski polutanti (POP)

Perzistentni (dugotrajni ili postojani) organski polutanti (engl. *Persistent Organic Pollutants*, POPs) su organska jedinjenja koja se u prirodnim uslovima životne sredine vrlo teško razgrađuju, a lako prenose vazduhom na velike udaljenosti te nakupljaju u masnom tkivu organizama. Na svakom nivou lanca ishrane njihova koncentracija se povećava (biomagnifikacija – tendencija da organizmi na višem stepenu lanca ishrane sadrže više koncentracije štetnih materija od organizama na nižem stepenu). Odlikuje ih izrazito visoka lipofilnost (topljivost u nepolarnim organskim rastvaračima, uljima i masnim ćelijama), kao i otpornost na fotolitičku, hemijsku i biološku razgradnju.

Dakle, perzistentne organske zagađujuće materije predstavljaju grupu hemijskih jedinjenja različitog porijekla i sličnih fizičko-hemijskih karakteristika:

- 1) isparljivost,
- 2) lipofilnost,
- 3) hidrofobnost,
- 4) bioakumulacija,
- 5) biomagnifikacija,
- 6) difuzija kroz atmosferu na velike udaljenosti,
- 7) perzistentnost u životnoj sredini.

Nakon isparavanja POPs se transportuju kroz atmosferu dok ne stignu do predjela u kojima su temperature niže, gdje se kondenzuju i postaju manje mobilni. Stepenn njihovog prostiranja od mjesta gdje nastaju pa do mjesta koja imaju niže temperature zavisi od: njihovog pritiska pare, lipofilnosti i stepena degradacije. Zbog otpornosti na reakcije razgradnje u vazduhu, vazdušnim masama mogu biti preneseni na velike udaljenosti, o čemu svjedoči njihovo prisustvo na mjestima u kojima nikada nisu bili korišćeni (Arktik, Antarktik).

Perzistentni organski polutanti obuhvataju tri grupe organskih jedinjenja:

- 1) Organohlorne pesticide: DDT, aldrin, dieldrin, endrin, toksafen, hlordan, mireks, i dr.
- 2) Industrijske hemikalije: polihlorovani bifenili (PCBs), heksahloro benzene (HCB), polibromovani difeniletri (PBDE-s), perfluorooktan-sulfonat (PFOS) i dr.
- 3) Sporedne produkte (nusproizvode) procesa proizvodnje i sagorijevanja: policiklične aromatične ugljovodonike (PAH), dioksine i furane.

Nakon Drugog svjetskog rata **organohlorni pesticidi** (OCP) intenzivno su korišćeni kao insekticidi i fungicidi u poljoprivredi i šumarstvu, te u javnom zdravstvu. Najpoznatiji među njima je DDT (dihlordifenil-trihloretan), koji je razvijen 1940-ih godina kao prvi moderan sintetski insekticid. Zbog visoke i do danas nezamjenjive efikasnosti u suzbijanju ušiju i nekih epidemijskih bolesti (tifusa, malarije, žute groznice), čije su uzročnike prenosili insekti, otkriće DDT-a smatralo se tada revolucionarnim napretkom za čovječanstvo, zbog čega je 1948. nagrađeno Nobelovom nagradom za medicinu. Međutim, nekoliko decenija masovne potrošnje DDT-a ukazalo je na njegovu dugu postojanost i štetan efekat na više sisare pa je do kraja osamdesetih godina primjena DDT-a u razvijenim zemljama zabranjena, dok se u Aziji i Africi još nastavio ograničeno koristiti pod kontrolom Svjetske zdravstvene organizacije.

Od 1960. godine veliki broj istraživanja je bio usmjeren na sudbinu i efekte hlorovanih organskih jedinjenja u životnoj sredini, od kojih su najpoznatija po svojim štetnim efektima – polihlorovani bifenili (Polychlorinated Biphenyls, PCBs).

Tokom posljednjeg rata u Bosni i Hercegovini, generisane su i emitovane velike količine organskih zagađujućih materija u okruženje, kao rezultat: djelimičnog ili potpunog razaranja industrijskih postrojenja, vojnih ciljeva, infrastrukture, eksplozija i nekontrolisanih požara.

Nakon saznanja o toksičnim efektima organohlornih jedinjenja na žive organizme (razvoj fetusa, imuni sistem, endokrine žlijezde, polne ćelije) proizvodnja i primjena ovih jedinjenja zabranjena je ili strogo ograničena (Stockholmska konvencija, 2001.).

Ljudska populacija je najčešće izložena POPs hemikalijama preko hrane, posebno usljed konzumiranja: ribe, živine, mesa i mliječnih proizvoda, jer su to namirnice sa većim sadržajem masti. Brojna istraživanja su pokazala da POPs izazivaju: neurološke poremećaje, poremećaj funkcije jetre i reproduktivnog sistema, poremećaje u ponašanju, poremećaje na nivou imunog i endokrinog sistema, i kancerogeni su. Plod u razvoju, kao i bebe neposredno posle rođenja su naročito osjetljive na izloženost POPs hemikalijama usljed prolaza ovih jedinjenja kroz placentu i eliminacije u procesu laktacije, kao i zbog mogućih efekata tokom kasnijih kritičnih perioda rasta i razvoja.

Polihlorovani bifenili (PCB) su aromatska, sintetska, organohlorna jedinjenja koja se ubrajaju u grupu industrijskih hemikalija. Predstavljaju smjese 209 sintetizovanih organskih jedinjenja koji se međusobno razlikuju po broju i položaju atoma hlora na vanjskim dijelovima molekule, a sa povećanjem broja supstituenata hlora povećava se otpornost na fotohemijske reakcije i biološku razgradnju kao i tendencija ka bioakumulaciji i biomagnifikaciji u masnom tkivu. PCB jedinjenja su neosjetljiva na izvor svjetlosti i imaju izuzetnu stabilnost na toplotu – koja se povećava sa sadržajem hlora – i razlažu se tek na veoma visokoj temperaturi (> 1000 °C). Laboratorijski su sintetizovani 1866. godine, ali su prvi put proizvedeni u industrijskim razmjerama 1929. godine u Monsanto hemijskoj industriji (SAD) pod komercijalnim nazivom „Askarel” i od tada počinje njihova komercijalna proizvodnja. EPA je analizirala ukupnu potrošnju PCB jedinjenja u svijetu i zaključila da 60% od svih PCB jedinjenja se nalazi u elektroindustriji u obliku dielektričnih fluida u transformatorima i kondenzatorima. Sintetička trafo ulja imaju više naziva (hlorovani bifenili, polihlorovani difenili, polihlorovani polifenili, arochlor 1254, askarel, solvotol), od kojih je najrasprostranjeniji i svakako najpoznatiji naziv **piralen** ili polihlorovani bifenil (PCB).

Polihlorovani bifenili su našli široku primjenu u industriji zahvaljujući nizu povoljnih karakteristika kao tehničkog materijala: niska električna i relativno visoka toplotna provodljivost, stabilnost na oksidaciju i hidrolizu, otpornost na kiseline i baze, slaba rastvorljivost u vodi i dobra izolatorska sposobnost. Koristili su se za proizvodnju: izolacionih materijala, transformatora, kondenzatora, hidrauličnih sistema, sistema za prenos toplote, regulatora napona, prekidača, električne opreme, plastičnih masa, boja, lakova, maziva, adhezivnih sredstava,

pesticida, štamparskih boja, itd. Dominantna primjena PCB-a je bila u izolacionim tečnostima, prvenstveno izolacionim uljima u električnoj opremi, koja može da sadrži visoke koncentracije PCB jedinjenja. Tako, kondenzatori mogu biti ispunjeni sa 100% PCB i transformatori sa približno 60% do 70% PCB. Transformatori se koriste za različite svrhe u skoro svim oblastima elektrotehnike, a najčešće se koriste za povišenje ili sniženje napona struje u električnim mrežama. Pored toga, PCB je dodavan u malim količinama u: boje, plastiku, zaptivne mase, ljepila i indigo papir.

Međunarodne institucije, koje se bave zaštitom ekosistema i životne sredine uopšte, donijele su zabranu dalje proizvodnje i korišćenja jedinjenja na bazi PCB, te upozorile na moguće opasnosti od kontaminacije organo-hlornim jedinjenjima tipa piralena. U trenutku stupanja zabrane zatečene su velike količine piralena i nije bilo moguće da se izvrši cjelokupna zamjena ovih jedinjenja sa mineralnim trafo-uljima. Problem u eksploataciji PCB kontaminiranih transformatora postaje posebno ozbiljan ukoliko je transformator neispravan, ima loše karakteristike izolacionog sistema i curi, jer se tada povećava rizik od zagađenja životne sredine (zemljišta, vode, živog svijeta), havarije transformatora i ekološkog akcidenta. Prema dostupnim informacijama, koncentracija PCB u zemljištu koji su određivani u BiH potiču od vojnih postrojenja, RTV releja, transformatora i trafostanica koji su uništeni tokom ratnih dejstava u periodu 1992–1995. godine (Klanova et al., 2007; Picer et al., 2008).

Ekološki akcident u Banjaluci. U martu 2019. godine u poslovnoj zoni „Incel“ u Banjoj Luci izbio je požar tokom rušenja pogona stare energane, pri čemu je došlo do izlivanja većih količina piralena (PCB) iz transformatora. Poznato je da su požari na piralenskim transformatorima izuzetno opasni, kako po vatrogasce, tako i po okolno stanovništvo, zbog oslobađanja velike količine opasnih produkata koji nastaju sagorijevanjem piralena (dioksina i furana). U ovom akcidentu dio tečnosti iz transformatora završio je u zemljištu, što pokazuju izuzetno visoka prekoračenja dozvoljenih koncentracija piralena u analiziranim uzorcima zemljišta (Pešević, 2019).

Uticaj PCB-a na životnu sredinu i zdravlje ljudi. Pored svojih dobrih osobina polihlorovane bifenile (PCB) odlikuje i izuzetna toksičnost i niz biohazardnih karakteristika, zbog čega se svrstava u opasan otpad i predstavlja rizik zagađenja životne sredine. Osobine kao što su: lipofilnost, hemijska i termička stabilnost čine PCB jedinjenja poželjnim za industrijsku primjenu, ali veoma nepoželjnim u životnoj sredini gdje predstavljaju zagađujuće materije. Polihlorovani bifenili su hemijski veoma postojani (prema oksidaciji, redukciji, eliminaciji, adiciji i dr.),

slabo topivi u vodi, topivi u mastima, jako ih je teško razgraditi i uništiti, pa u životnoj sredini ostaju godinama, posebno u organskim materijama zbog lipofilnih svojstava. PCB jedinjenja se takođe lako apsorbuju na organske čestice u zemljištu, sedimentu, biološkim ili vodenim sistemima (Panero et al., 2005). Ove organske čestice mogu lako da se prenose na velike razdaljine i to je jedan od razloga što su pronađeni svuda po svijetu, uključujući i udaljene oblasti. U vodenoj sredini i zemljištu su uglavnom vezani za organsku materiju, a u biljkama i životinjama, zbog sporih procesa razgradnje, akumuliraju se u tkivima koja sadrže masti i tako ulaze u lanac ishrane, nagomilavaju se u tkivima ljudi i životinja, ispoljavajući nepoželjne efekte na organizam.

Prvi podaci vezani za štetno djelovanje PCBs na čovjeka i životnu sredinu pojavili su se šezdesetih godina prošlog vijeka. Štetno dejstvo polihlorovanih bifenila je posebno došlo do izražaja u Japanu (1968) i centralnom Tajvanu (1979), kada je došlo do trovanja konzumiranjem pirinčanog ulja kontaminiranog polihlorovanim bifenilima, koje je kapalo iz izmjenjivača toplote. Bolest je nazvana jušo (yusho – bolest ulja), a njeni karakteristični simptomi su: pigmentacija kože i noktiju, pojava hlorakni, poremećaji vida, ukočenost udova i opšta slabost (Onozuka et al., 2009; Kuratsune et al., 1972).

Polihlorovani dibenzo-dioksini (PCDD) i polihlorovani dibenzo-furani (PCDF) su široko rasprostranjeni ekološki polutanti koji zajedno čine grupu organskih jedinjenja koja se obično nazivaju dioksini (PCDD/DF). Ove dvije grupe jedinjenja obuhvataju 210 kongenera od kojih su neki visoke toksičnosti, zbog čega su pobudili interes za njihovo praćenje i evaluaciju. Najveći zagađivači od industrija su industrija celuloze i papira (koriste hlor za izbjeljivanje). Glavni izvor zagađenja u razvijenim zemljama je nekontrolisano sagorijevanje, kao npr: nekontrolisano spaljivanje komunalnog, opasnog i medicinskog otpada, željezare, topionice ruda, itd. Dioksini i furani se ne proizvode, niti su u prirodi postojali, nego samo nastaju kao nusproizvodi pri industrijskoj proizvodnji ili pri sagorijevanju. Dioksini se u Evropskoj regulativi svrstavaju u listu supstanci koje podliježu odredbama za upravljanje otpadom.

Dioksini su prvi put dobili široki publicitet u SAD kada je utvrđeno da su odgovorni za: mutagene, teratogene, toksične i kancerogene efekte, koje je u Vijetnamu izazvalo sredstvo pod imenom Agent Orange, defolijant i desikant, koji je upotrebljavala američka vojska u Vijetnamskom ratu (1961–1971), a sastojao od dva herbicida (2,4-D i 2,4,5-T), (Martin, 2012). Drugi slučaj značajne kontaminacije dioksinima se desio 1976. u gradu Seveso (Italija), kada je došlo do industrijske nesreće, odnosno eksplozije u hemijskom postrojenju, nakon čega su

zabilježeni veliki broj slučajeva hloračni, uglavnom kod djece, urođenih mana, spontanih pobačaja, oštećenja jetre, imunog sistema i dr.

Veliki broj naučnih ispitivanja i praktičnih analiza sa kraja dvadesetog vijeka, ukazuje na štetnost upotrebe POPs, što je i uzrokovalo definisanje i usvajanje velikog broja konvencija i zakonskih regulativa, koje treba da regulišu proizvodnju, primjenu i ispuštanje ove grupe polutanata u životnu sredinu. Stokholmska konvencija je najznačajniji globalni obavezujući instrument za uklanjanje POPs jedinjenja. Cilj Konvencije je ograničenje i zabrana proizvodnje, upotrebe, ispuštanja, uvoza i izvoza ovih visoko toksičnih supstanci u svrhu zaštite ljudi i životne sredine.

U cilju sprječavanja ekoloških akcidenata sa opremom koja sadrži PCB, kao i ostalim jedinjenjima koji pripadaju grupi POPs, potrebno je uspostaviti edukaciju o njihovim osobinama i primjeni, kao i upravljanju POPs otpadom, na svim nivoima obrazovanja, a posebno u različitim kompanijama koje posjeduju ovakve i slične opasne materije.

3.5.2. Generatori opasnog otpada

Generatori opasnog otpada mogu biti pojedinci ili organizacije (preduzeća, industrijska postrojenja, domaćinstva) koji proizvode određene količine opasnog otpada, te time podliježu odredbama propisanim u zakonskim dokumentima, kojima se reguliše upravljanje opasnim otpadom. U okviru sistema upravljanja opasnim otpadom generatori imaju potpunu odgovornost u bilo kom segmentu tog sistema, do njegovog finalnog odlaganja. Opasan otpad može poticati iz različitih industrijskih grana, iz poljoprivrede, komercijalnog sektora ili domaćinstva, odnosno, mogu ga generisati proizvođači mnogobrojnih proizvoda za svakodnevnu upotrebu, specijalizovani proizvođači, bolnice, univerziteti, državne ustanove, komercijalni sektor i pojedinci, odnosno domaćinstva.

Po mjestu nastajanja postoje sljedeći tipovi otpada:

- 1) Otpaci iz bolnica, medicinskih centara i klinika.
- 2) Otpaci iz proizvodnje i pripreme farmaceutskih proizvoda.
- 3) Otpaci koji se sastoje od: farmaceutskih proizvoda, lijekova i droga.
- 4) Otpaci iz proizvodnje i korišćenja hemikalija za zaštitu šuma.
- 5) Otpaci iz proizvodnje i korišćenja organskih rastvarača.
- 6) Otpaci iz termičkih procesa koji sadrže cijanide.
- 7) Otpaci iz rafinerije i destilacije.

- 8) Otpaci iz proizvodnje i korišćenja boja, lakova i voskova.
- 9) Otpaci sa eksplozivnim osobinama.
- 10) Otpaci nastali pri površinskom tretmanu metala i plastike.
- 11) Otpaci iz prerade industrijskog otpada.

Opasan otpad je grupisan prema izvoru kao (EPA):

- 1) Opasan otpad iz nespecifičnih izvora – otpad dobijen proizvodnjom i industrijskim procesima (potrošeni halogeni rastvarači, taložni mulj iz procesa elektrolize, otpad iz raznih hemijskih procesa i proizvodnje).
- 2) Opasan otpad iz specifičnih izvora – nastaju u specifičnim industrijskim procesima kao što je zaštita drveta, rafinacija nafte, proizvodnja organskih hemikalija (mulj, talog, otpadne vode, utrošeni katalizatori i ostaci).
- 3) Komercijalni hemijski proizvodi (hemikalije kao što su hloroform, kreozol, kiseline, pesticidi i brojne druge hemikalije).

Opasan otpad se generiše u različitim industrijama. Glavne industrije koje proizvode opasan otpad u razvijenim zemljama su:

- 1) Petrohemijska industrija: fenoli, metali, kiseline, baze i organska jedinjenja.
- 2) Metalna industrija: teški metali, fluoridi, cijanidi, kiseline, alkalije, rastvarači, fenoli.
- 3) Industrija kože: teški metali, sulfidi.

Tu su još i druge industrije koje generišu opasni otpad: primarno topljenje i rafinacija metala, boje i slični proizvodi, organske hemikalije, pesticidi, eksplozivi, električna, elektronika, obrada metala, baterije, farmacija, tekstil, rafinerija nafte, specifične mašine, plastika, otpadno ulje. Vojne operacije takođe stvaraju velike količine opasnog otpada koji potiče od eksploziva, boja za brodove, premaza i sl.

Manje količine opasnog otpada se mogu naći i u komunalnom otpadu (0,1–1%). Tipičan opasan otpad iz domaćinstva su određena sredstva za čišćenje, za ličnu higijenu, za automobile i sl. Ovi proizvodi mogu biti zapaljivi, korozivni, iritantni i otrovni. Takvi su npr: abrazivni prahovi, hlorni izbjeljivači, sredstva za čišćenje namještaja, cipela, srebra, lak za kosu, aceton, dizel gorivo, kerozin, benzin, pesticidi i herbicidi, insekticidi za domaćinstvo, itd.

Opasni otpad nastaje i u komercijalnom sektoru, a tipičan primjer su mastilo za štampariju, rastvarači iz radnji za hemijsko čišćenje, sredstva za čišćenje automehaničarskih radnji, boje i rastvarači iz firmi koje se bave krečenjem.

Tipična jedinjenja opasnog otpada koji se može naći u komunalnom otpadu iz komercijalnog sektora su:

- 1) Nemetali: arsen (legirajući aditiv za metale, obloga za kablove, cijevi za bojlere, i dr.) i selen (elektronika, ploče za fotokopiranje, solarne baterije, releji, keramika) i dr.
- 2) Metali: barijum, kadmijum, hrom, olovo, živa, srebro (legirajući element za metal i plastiku, za antikorozivnu zaštitu, baterije, obloge kablova, cijevi, upotreba za medicinske svrhe i sl.).
- 3) Organska jedinjenja: benzen (proizvodnja etilbenzena, rastvarači i sl.), etilbenzen (pri proizvodnji stirena, rastvarač), toulen (rastvarač za boje i prevlake, gume, smole, plastične igračke, deterdženti, eksplozivi i dr.).
- 4) Halogena jedinjenja: hlorbenzen, hloretan, dihlometan, tetrahloretan.
- 5) Pesticidi: endrin, linden, metoksihlor i dr.

Tabela 3.4. Neki uobičajeni izvori opasnog otpada (Jakšić, Ilić, 2000)

Kategorija otpada	Izvori
Radioaktivni otpad	Biomedicinska istraživačka postrojenja, fakultetske i univerzitetske laboratorije, stomatološke ordinacije, bolnice, nuklearne centrale.
Otpadne toksične hemikalije	Poljoprivredne hemijske kompanije, prodavnice baterija, praonice automobila, magacini hemikalija i boja, univerzitetske laboratorije, građevinske kompanije, suvo hemijsko čišćenje, elektronski i radio servisi, bolnice i klinike, industrijska postojenja, nuklearna postrojenja.
Biološki otpad	Biomedicinska istraživačka postrojenja, farmaceutske kompanije, bolnice, klinike
Zapaljivi otpad	Suvo hemijsko čišćenje, rafinacija nafte i procesna postrojenja, servisne stanice
Eksplozivi u otpadu	Građevinske kompanije, suvo hemijsko čišćenje, proizvodnja municije.

Generatori su odgovorni za izbor licenciranog transportera i postrojenja za tretman određene vrste opasnog otpada.

3.5.3. Sakupljanje i skladištenje opasnog otpada

Generatori opasnog otpada, nakon nastanka određenih količina otpada, dužni su da ga privremeno skladište, klasifikuju i pripreme za transport i tretman u namjenski uređenim postrojenjima. Objekti za privremeno skladištenje moraju svojim kapacitetom zadovoljiti postojeće potrebe, da se otpad akumulira nekoliko dana. Opasan otpad se skladišti u rezervoarima, kontejnerima i drugim posudama u

okviru skladišta. Na osnovu karakteristike otpada biraju se kontejneri i druga oprema za skladištenje i rukovanje opasnim otpadom. Korozivne kiseline ili kaustični rastvori čuvaju se u kontejnerima od staklenih vlakana da bi se spriječilo propadanje kontejnera. Zajedničko odlaganje nekompatibilnog otpada može voditi razvoju opasnih situacija kroz razvoj toplote, požar, eksploziju i ispuštanje toksičnih materija. Skladištenje opasnog otpada se vrši na način kojim se obezbijeduje najmanji rizik po ugrožavanje života i zdravlja ljudi i životne sredine.

Privremeni objekti za skladištenje opasnog otpada na mjestu nastajanja uključuju otvorene gomile otpada i lagune. Ove lagune moraju biti obložene nepropusnim glinenim tлом i fleksibilnim membranskim oblogama kako bi se zaštitile podzemne vode. Sistemi za sakupljanje procjednih voda moraju biti instalirani između obloga, a potrebni su bunari za praćenje podzemnih voda. Osim određenog taloženja, isparavanja isparljivih organskih materija i mogućeg aeracije površine, otvorene lagune ne pružaju nikakav tretman otpada. Nagomilani mulj se mora periodično uklanjati i podvrgavati daljem rukovanju kao opasnim otpadom.

3.5.4. Transport opasnog otpada

Opasan otpad koji se stvara na određenoj lokaciji često zahtijeva transport do odobrenog postrojenja za tretman, skladištenje ili odlaganje. Način transporta zavisi od izbora transportera, od količine generisanog opasnog otpada, udaljenosti, ekonomskih troškova i rizika od pojave mogućih akcidenata (koji u velikoj mjeri zavisi upravo od vida transporta koji će se koristiti). Otpad se transportuje u zatvorenom vozilu, kontejneru ili na drugi odgovarajući način kako bi se spriječilo rasipanje ili ispadanje otpada prilikom transporta, utovara ili istovara i kako bi se spriječilo zagađenje životne sredine.

Zbog potencijalnih prijetnji po javnu bezbjednost i životnu sredinu, vladine agencije posvećuju posebnu pažnju transportu. Kretanje opasnog otpada uvijek prati dokument o kretanju otpada koji popunjava proizvođač, odnosno vlasnik i svako ko preuzima opasan otpad.

Bazelska konvencija o kontroli prekograničnog kretanja opasnog otpada i njegovom odlaganju, predstavlja međunarodni sporazum potpisan 1989. godine u Bazelu sa ciljem ograničenja kretanja opasnog otpada među državama, posebno iz razvijenih u nerazvijene države. Konvencija utiče na smanjenje količine i toksičnosti ukupnog proizvedenog otpada i podstiče koordinisanje ekološki ispravnih aktivnosti svih potpisnica.

3.5.5. Reciklaža opasnog otpada

Reciklaža opasnog otpada je poželjan metod prerade, ali je ograničen tehničkim, ekonomskim i ekološkim faktorima. Reciklažom građevinskog, električnog i elektronskog otpada izdvajaju se opasne materije koje zahtijevaju poseban tretman.

U Švajcarskoj je razvijen proces za reciklažu istrošenih baterija kojim se godišnje preradi 3.000 tona istrošenih baterija. Ovim procesom se ekstrahuje oko 95% glavnih jedinjenja metala iz baterija u obliku pogodnom za ponovnu upotrebu i inertni otpad. Proces se sastoji od tri osnovna dijela: pirolize organskog dijela baterija u peći na temperaturama od 300 °C do 700 °C, redukcije metalnog jedinjenja u peći za topljenje na temperaturama od oko 1.500 °C i izdvajanje cinka iz gasova u kondenzatoru. Kao finalni proizvodi, dobijaju se: živa, feromangan, cink, staklasta šljaka, otpadna prečišćena voda i gas (Jakšić, Ilić, 2000).

3.5.6. Tretman opasnog otpada

Pod tretmanom opasnog otpada podrazumijevaju se različite metode, tehnike ili procesi koji mijenjaju fizičke, hemijske ili biološke karakteristike ili sastav opasnog otpada, čime se dovodi do njegove neutralizacije ili postaje manje opasan, te je pogodniji za ponovnu upotrebu, transport, skladištenje ili konačno odlaganje. Opasni otpad se može tretirati hemijskim, termičkim, biološkim i fizičkim metodama. Hemijske metode uključuju jonsku razmjenu, precipitaciju (taloženje), oksidaciju i redukciju i neutralizaciju. Tokom hemijskog taloženja toka opasnog otpada, rastvorljiva opasna vrsta se uklanja iz rastvora dodavanjem reagensa za taloženje, a kasnije se formira nerastvorljivo jedinjenje koje sadrži opasan sastojak. Talog se uklanja iz rastvora upotrebom tehnike fizičkog odvajanja kao što je sedimentacija ili filtracija.

Reakcije oksidacije i redukcije primenjuju se za tretman raznovrsnog neorganskog i organskog otpada. Reakcije oksidacije predstavlja proces otpuštanja elektrona sa nekog atoma (molekula ili jona), a reakcije redukcije predstavlja proces primanja elektrona od strane nekog atoma (molekula ili jona).

Neutralizacija se koristi za tretman kiselog ili alkalnog otpada, od kojih su mnogi označeni kao korozivni otpad. Neutralizacija kiselog otpada se vrši reakcijom sa bazom, koja podiže pH do prihvatljivog nivoa. Otpad alkalne industrije može neutralisati kiseli tok otpada. Neutralizacija alkalnog otpada se postiže reakcijom sa odgovarajućom količinom kiseline da se pH rastvora dovede u željeni nivo. Alkalni

otpad se najčešće neutrališe reakcijom sa mineralnim kiselinama, tipično H_2SO_4 i hlorovodoničnom kiselinom (HCl) (Pichtel, 2014).

Među **termičkim metodama** je spaljivanje na visokim temperaturama, koje ne samo da može detoksikovati određeni organski otpad već i da ih uništi. Posebne vrste termičke opreme koriste se za sagorijevanje otpada u čvrstom, tečnom ili muljevom obliku. To uključuje spalionicu sa fluidizovanim slojem, peć sa više ložišta, rotirajuću peć i spalionicu sa ubrizgavanjem tečnosti. Jedan od problema koji predstavlja spaljivanje opasnog otpada je mogućnost zagađenja vazduha.

Biološki tretman određenog organskog otpada, kao što je onaj iz naftne industrije, je takođe opcija. Zasniva se na dodavanju mikroba koji mogu da metabolišu otpad, zajedno sa hranljivim materijama. U nekim slučajevima se koristi genetski modifikovana vrsta bakterija. Mikrobi se takođe mogu koristiti za stabilizaciju opasnog otpada na prethodno kontaminiranim lokacijama – u tom slučaju se proces naziva bioremedijacija.

Gore navedene metode hemijskog, termičkog i biološkog tretmana mijenjaju molekularni oblik otpadnog materijala. Fizički tretman, s druge strane, koncentriše, učvršćuje ili smanjuje zapreminu otpada. Fizički procesi uključuju isparavanje, sedimentaciju, flotaciju i filtraciju. Još jedan proces je inkapsulacija bazirana na očvršćavanju, koje se postiže kapsuliranjem otpada u beton, asfalt ili plastiku. Inkapsulacija proizvodi čvrstu masu materijala koji je otporan na ispiranje. Otpad se takođe može miješati sa krečom, letećim pepelom i vodom da bi se formirao čvrst proizvod sličan cementu.

3.5.7. Finalno odlaganje opasnog otpada

Finalno odlaganje, odnosno deponovanje opasnog otpada, smatra se posljednjim segmentom sistema upravljanja opasnim otpadom. Deponovanje, opasnog otpada je neizbježan završni korak u svakom procesu tretiranja opasnog otpada. Naime, ma koliko da su bili efikasni prethodni procesi (minimizacije, reciklaže, termičke obrade) uvijek ostaje jedan dio koji se mora deponovati na specijalno određenom i pripremljenom mjestu. Kao i za sve prethodne procese, tako je i za svaki proces odlaganja ključno poznavanje karakteristika otpadaka, bez kojih je nemoguće uspostavljati tehnički, ekonomski i ekološki – efikasnog postupka prerade.

Razlikujemo dva tipa odlaganja opasnog otpada:

- 1) Privremeno odlaganje u predviđena skladišta.
- 2) Permanentno (trajno) odlaganje na deponije opasnog otpada.

Odlaganje opasnog otpada, poslije sigurnog tretmana, podrazumijeva odlaganje na površini zemlje ili injektiranje u podzemlje. Deponovanje opasnog otpada zahtijeva prije svega, konverziju opasnog otpada u inertne produkte kroz proces degradacije, transformacije ili imobilizacije. Primjeri odlaganja otpada na površini zemlje su: površinske depresije, otpadne naslage, betonski podrumi i bunker. Primjeri podzemnog odlaganja otpada su injektiranje u podzemlje i odlaganje u slanim svodovima, rudnicima i kavernama. U cilju sprečavanja negativnog uticaja odloženog opasnog otpada na životnu sredinu potrebno je posvetiti veliku pažnju kako izboru lokacije deponije za opasni otpad, tako i njenom projektovanju. Način na koji će se dizajnirati deponija zavisi od: tipa i količine opasnog otpada koji treba deponovati, planirane dužine korišćenja deponije, stabilnosti geološke podloge, topografije terena i karakteristike zemljišta na kojem je locirana deponija, klimatskih karakteristika područja, prisustva podzemnih voda na izabranoj lokaciji, kao i blizina površinskih voda, zatvaranje i planiranje terena po zatvaranju deponije, mogući uticaj na prirodno okruženje itd.

Odlaganje opasnog čvrstog ili kontejnerskog otpada je strože regulisano od deponije čvrstog komunalnog otpada. Opasni otpad se mora odlagati na takozvane bezbjedne deponije, koje obezbijavaju veći razmak između dna deponije i temeljnog sloja ili nivoa podzemnih voda u odnosu na deponije komunalnog otpada. Sigurna deponija opasnog otpada bi trebala imati dvije nepropusne obloge i sisteme za sakupljanje procjednih voda. Dvostruki sistem za sakupljanje procjedne vode sastoji se od mreže perforiranih cijevi postavljenih iznad svake obloge. Sakupljena procjedna voda se pumpa u postrojenje za prečišćavanje. Da bi se smanjila količina procjednih voda u tijelu deponije i minimizirala mogućnost štete po životnu sredinu, na gotovu deponiju se postavlja nepropusni „poklopac”. Posebnu pažnju treba posvetiti monitoringu voda čiji je cilj da osigura pravilno funkcionisanje procjednim i drugim vodama, te spriječi kontaminaciju površinskih i podzemnih voda.

Procjena količine opasnog otpada. Ako se prihvati definicija da opasan otpad predstavljaju sve materije koje imaju karakteristike zapaljivih, eksplozivnih, korozivnih, reaktivnih i toksičnih supstanci, onda se može reći da malo zemalja raspolaže preciznim podacima o količinama takvih materija. Krajem prošlog vijeka u svijetu je godišnje stvarano 350 miliona tona opasnog otpada (Jakšić, Ilić, 2000), dok je posljednjih godina taj iznos dostigao 400 miliona tona, što prema procjeni iznosi oko 60 kg na svakog pojedinca u svijetu (UNEP, 2019). Zemlje Evropske unije generišu približno 36 miliona tona opasnog otpada godišnje (EEA, 1999). Kao i kod mnogih statistika o otpadu, poređenja podataka između zemalja su teška zbog razlike u klasifikaciji opasnog otpada koje koriste različite zemlje.

4. SASTAV I OSOBINE KOMUNALNOG OTPADA

Čvrsti komunalni otpad jedan je od ključnih problema zaštite životne sredine, ne samo zemalja u razvoju, nego i razvijenih zemalja. Ovaj problem posebno dolazi do izražaja u zemljama u kojima se naglo povećava količina čvrstog komunalnog otpada zbog urbanizacije i rasta stanovništva. Nedavne procjene govore da generisanje čvrstog otpada na globalnom nivou premašuje 2 milijarde tona godišnje, što predstavlja veliki izazov za adekvatno uklanjanje i konačno zbrinjavanje. U cilju efikasnog organizovanja sistema prikupljanja, transporta i konačne dispozicije komunalnog otpada potrebno je poznavati osobine čvrstog otpada zajedno sa količinom i sastavom.

Sastav i svojstva komunalnog otpada mogu se utvrditi na više načina, a ono što je zajedničko svim metodama je da se istraživanja provode po godišnjim dobima i na karakterističnim područjima grada, zavisno od urbanističko – arhitektonske i komunalne opremljenosti njegovih pojedinih dijelova.

Sastav i količina otpada varira u zavisnosti od različitih faktora poput: veličine oblasti sakupljanja, broja stanovnika koji su obuhvaćeni sistemom upravljanja otpadom, životnog standarda, klimatskih uslova, privrednih aktivnosti itd. Iz tog razloga se količina nastalog otpada može značajno razlikovati među državama, a takođe i u okviru jedne države. Otpad se stvara na svim nivoima, državnom i lokalnom, u domaćinstvima, proizvodnim kapacitetima, organima javne uprave, trgovinama, obrazovnim institucijama, turističkim organizacijama i subjektima, medicinskim ustanovama, vojnim institucijama i dr. Jedan od najvažnijih instrumenata za planiranje održive i dugoročne implementacije sistema upravljanja čvrstim otpadom jeste dobra baza podataka o trenutnoj situaciji u oblasti proizvodnje otpada i njen kvalitet. Nedostatak pouzdanih (dugoročnih i kratkoročnih) kvalitativnih i kvantitativnih podataka predstavlja ozbiljnu prepreku za uspostavljanje prioriteta za razvoj ekološki sigurnog i ekonomski isplativog sistema upravljanja otpadom.

Za planiranje, projektovanje i upravljanje sistemom upravljanja čvrstim otpadom neophodno je temeljno poznavanje nastalih količina, sastava otpada i njegovih karakteristika. **Utvrđivanje vrsta, količina i sastava otpada kao i njihova fizička, hemijska i biološka svojstva su osnova planiranja svih strateških dokumenata vezanih za sistem upravljanja otpadom.** Ovi podaci čine čvrstu osnovu za različite mjere unapređenja u svim sektorima sistema, kao na primjer za:

- 1) Prikupljanje otpada (potreban broj vozila, kontejnera, planiranje putanja prikupljanja).
- 2) Planiranje postrojenja za tretman otpada (sortirnice otpada, reciklaža otpada, spalionice).
- 3) Planiranje postrojenja za deponovanje otpada.
- 4) Ekonomsku evaluaciju (način naplaćivanja komunalnih usluga).
- 5) Ekološke ocjene (uticaj na životnu sredinu).
- 6) Pregled efikasnosti (udio sekundarnih sirovina u miješanom otpadu).
- 7) Interpretaciju agregata ili sastava elemenata (veličina zrna, sadržaj vode, kalorična vrijednost).
- 8) Ocjenjivanje prema referentnim vrijednostima (Benchmarking) u upravljanju otpadom.

Da bi takve informacije imale najveću korist, mora ih prikupiti odgovorno: nacionalno, regionalno ili lokalno tijelo i učiniti dostupnim svima koji ih zahtijevaju.

4.1. KOLIČINA I SASTAV KOMUNALNOG OTPADA

Predviđeni nivo porasta populacije, proizvodnje i potrošnje u ovom vijeku dovešće do porasta količine i kompleksnosti otpadnih materijala. Količina komunalnog otpada kao jednog od najzastupljenijih vrsta otpada u stalnom je porastu u čitavom svijetu. Analiza količine i morfološkog sastava otpada je prvi korak u pripremi plana dugoročnog upravljanja komunalnim otpadom i pomaže da se identifikuju strategije za smanjenje generisanja, tretiranja i odlaganja otpada. Stoga je neophodno određenim metodama što kvalitetnije odrediti njegov sastav da bi se odabrala odgovarajuća metoda obrade i samim time smanjila količina otpada za deponovanje.

Utvrđivanje količine i morfološkog sastava otpada predstavlja polaznu osnovu uspješnog upravljanja komunalnim otpadom, odnosno stvaranja preduslova za:

- 1) Dobijanje pouzdanih podataka o količini i sastavu otpada na lokalnom i nacionalnom nivou.
- 2) Strateško planiranje u oblasti upravljanja otpadom.
- 3) Sagledavanje mogućnosti za implementaciju i projektovanje određenih tretmana otpada (deponovanje, reciklaža, kompostiranje, termički tretmani).

- 4) Ocjenu efikasnosti primijenjenog modela ili tretmana upravljanja otpadom.
- 5) Definisanje neophodne opreme za sakupljanje i transport otpada.
- 6) Identifikaciju opasnih komponenti u otpadu.
- 7) Ocjenu nivoa primjene Direktiva i zakonskih odredbi.
- 8) Praćenje sezonskih promjena u količini i sastavu otpada.
- 9) Projekciju budućih količina i sastava otpada.

Sastav otpada kao fizička osobina otpada je podložan stalnim promjenama u zavisnosti od: klime, godišnjeg doba, tipa naselja (urbano ili ruralno), socijalne strukture stanovništva, načina života i prehrambenih navika, kao i vrste privredne djelatnosti i niza drugih uticajnih faktora. Sezonske razlike u količinama otpada moraju se prilagoditi sistemu upravljanja. Sastav i količina proizvedenog kućnog otpada varira posebno tokom praznika, a količina vrtnog otpada zavisi od godišnjeg doba. Razlike u sastavu otpada su uočene i između područja u zavisnosti od vrste instaliranog grijanja u kući. U objektima koji nisu priključeni na centralno grijanje je prisutno manje papirnog otpada, ali više sitnog materijala, tj. pepela. Struktura otpada se značajno promijenila posljednjih 50 godina, pri čemu je opao udio mineralnih komponenti kao što je pepeo, a povećao se udio papira, plastike i stakla. Promjena odnosa udjela ovih komponenti u komunalnom otpadu uslovljena je rastom udjela ambalaže u otpadu i korišćenjem gotovih proizvoda prehrambene industrije, načinom grijanja i sl. U seoskim domaćinstvima se svi organski otpaci, koji se mogu koristiti, ne javljaju kao otpad, a u gradskim naseljima preovlađuje ambalaža raznih vrsta (papir, plastika, staklo i dr.), otpaci namirnica i hrane i sl.

Prema osobinama i sastavu komunalni otpad može se podijeliti na:

- 1) Razgradivi otpaci organskog porijekla, pretežno iz poljoprivredne proizvodnje.
- 2) Sagorivi organski otpaci koji nisu podložni brzom raspadanju (hartija, koža, guma, drvo, tekstil).
- 3) Neorganski nasagorivi otpaci (staklo, metal, keramika).
- 4) Otpaci spaljivanja raznih vrsta sagorivih materija (šljaka, pepeo).
- 5) Kabasti predmeti (stari namještaj, gume, ambalaža, odbačeni građevinski materijal).
- 6) Razna hemijska sredstva (boje, lakovi, deterdženti).

Morfološki sastav komunalnog čvrstog otpada predstavlja sadržaj pojedinih vrsta otpada u odnosu na ukupnu masu. Sastavom komunalnog otpada se određuje kako njihova štetna svojstva na životnu sredinu, tako i vrijednosti koje omogućuju nalaženje metoda reciklaže i ponovnog korišćenja u privrednim tokovima. Može se

odrediti eksperimentalno (na deponijama), na osnovu prosijavanja otpada, srednjeg uzorka ili procjenom na osnovu raspoloživih podataka za gradove sa sličnim stepenom standarda stanovništva i iskustvenih podataka od komunalnih preduzeća koja se bave prikupljanjem i distribucijom otpada.

Tabela 4.1. Količina i sastav komunalnog otpada u razvijenim i zemljama u razvoju

SVOJSTVA OTPADA		ZEMLJE	
		RAZVIJENE	ZEMLJE U RAZVOJU
Količina otpada po stanovniku	kg/dan	0,8–2,2	0,3–1,0
	t/god	0,3–0,8	0,1–0,4
Gustina	kg/m ³	100–200	200–500
Vlažnost	% mas.	20–40	40–80
Toplotna vrijednost	MJ/kg	8–12	3–10
Sastav:			
Papir, karton		20 – 40	10–30
Staklo, keramika		4–10	1–10
Metali		3–13	1–5
Plastika		4 - 10	1–8
Koža, guma	% mas.	1–5	1–5
Drvo, slama		1–5	1–5
Tekstil		2–5	1–10
Biootpad		20–50	40 - 85
Opasni otpad		0,5–3	0,5–1
Razni drugi inertni materijali		1–20	1–40

Evidentna je razlika u prosječnom sastavu komunalnog otpada u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju (tabela 4.1.). Razlika je veća kod organskih nego kod neorganskih komponenata, a najveća razlika je u procentualnom sastavu ostataka hrane u odnosu na ostale sastavne komponente otpada. Što je populacija bogatija u otpadu je manje zastupljeno biootpada, a više papira, plastike, stakla, metala. To je, između ostalog, posljedica kupovine gotove hrane u zemljama sa višim standardom, pri čemu nastaju veće količine papirne i plastične ambalaže.

Naravno, razlike su primijetne i kod izbora metoda tretmana i zastupljenosti ponovnog korišćenja otpada, o čemu će biti više riječi u narednim poglavljima.

Stope stvaranja otpada su najviše u zemljama sa visokim prihodima i predviđa se da će ostati visoke zahvaljujući moći kupovine, većem pakovanju proizvoda i većem životnom standardu.

Kao što je prethodno navedeno, morfološki sastav čvrstog komunalnog otpada je varijabilan i razlikuje se od zemlje do zemlje, a zavisi od geografskih karakteristika, godišnjeg doba, prehrambenih navika, privrednih aktivnosti, standarda života i sl. Tabela 4.2. prikazuje procentualno učešće zapaljivog i nezapaljivog komunalnog otpada proizvedenog u državama različitog nivoa prihoda. U državama sa srednjim i nižim prihodima je dominirao otpad od hrane s većim udjelom iz Indonezije, a slijede ga: Bangladeš, Kina i Alžir. Najveći dio tekstilnog otpada proizvodi Južna Koreja, a zatim slijede: Poljska, Tajland i Indonezija, dok plastičnim otpadom dominira Malezija, a slijede Kina i Tajland. U zemljama sa visokim dohotkom, kao što su Japan, Njemačka i Sjedinjene Američke Države, papir dominira u sastavu otpada, a slijedi otpad od hrane, plastika i tekstil. U državama sa niskim prihodima kao što su: Nigerija, Kenija, Alžir i Gana otpad sadrži mnogo više otpada od hrane u odnosu na druge vrste otpada, dok drvo i dvorišni otpad imaju veće učešće u Tanzaniji i Ugandi.

Upoređujući sastav otpada sa prosjekom svake grupe, može se zaključiti da se prehrambeni otpad više stvara u državama sa srednjim dohotkom, a zatim niskim prihodima; tekstilnog otpada je vrlo malo u državama sa niskim prihodima, dok je stakleni otpad i papir mnogo veći u državama sa višim dohotkom. Generalno, zapaljivog otpada ima prosječno 89% u državama sa srednjim dohotkom, 78% u državama sa višim dohotkom i 73% u državama sa nižim prihodima. Uprkos tome što je prosječni otpad za povrat energije u državama sa nižim prihodima niži u odnosu na države sa višim prihodima, procenat otpada koji je na raspolaganju za povrat energije veći je u državama sa nižim prihodima zbog loše tehnologije recikliranja. Očekuje se da će se maseni udio papira, čije procentualno učešće čini četvrtinu od ukupne količine komunalnog otpada u razvijenim državama, smanjivati nerednih godina zbog elektronskog prenosa izvještaja, digitalizacije vijesti i sl.

Tabela 4.2. Sastav otpada u različitim državama (%) (Omari, 2014)

SASTAV								
Država		Zapaljivi				Nezapaljivi		
		Ostaci hrane	Papir	Plastika	Tekstil	Staklo	Građevinski otpad	Metal
Države sa srednjim prihodima	Indija	42	30	10.4	7	5	1.5	4.1
	Nepal	60	7.5	12	12	1.3	6.7	0.5
	Tajland	42.7	12.1	10.9	7.3	6.6	6.9	3.5
	Malezija	61.5	16.5	15.3	1.9	1.2	0.4	0.3
	Bangladeš	68.3	10.7	4.3	2.2	0.7	–	2
	Indonezija	70.2	10.9	8.7	6.2	1.7	-1.8	
	J. Koreja	32.8	23.8	0	40.6	2.8	–	0
	Filipini	49	19	17	9	–	–	6
	Poljska	35	18	11	20	12	–	4
	Kina	67.3	8.8	13.5	4.5	5.2	–	0.7
Prosjek		53	15.2	10.5	10.1	4.0	6.7	2.4
Države sa visokim prihodima	Turska	43	7.8	14.2	23	6.2	0	5.8
	Japan	34	33	13	12	5	0	3
	USA	13.9	28.5	12.4	8.4	4.6	19.8	9
	UK	17.3	21.4	8.8	3.3	9	26.6	4
	Grčka	42	21	11	17	5.4	0	3.6
	Njemačka	21	31	10	17	16	0	5
	Danska	39	23	7	21	6	0	4
	Rusija	34.9	15	11.3	4.8	13.7	15.1	4.7
	Francuska	24	26	13	19	14	0	4
Prosjek		29.9	23	11.2	13.9	8.9	6.8	4.8
Države sa niskim prihodima	Tanzanija	37	11	7	2	4	8	1
	Kenija	52	17.3	11.8	5.1	6.7	2.4	2.8
	Uganda	37.8	6.7	7.8	1.3	0.7	33.6	0.8
	Alžir	62	9	12	0	1	0	2
	Nigerija	47	6	10	7	7	18	5
	Gana	73	6.6	3.3	2.2	1.5	11.2	2.1
Prosjek		51.5	9.4	8.7	2.9	3.5	17.3	2.3

4.1.1. Određivanje morfološkog sastava

S obzirom da je nemoguće analizirati morfološki sastav ukupne količine otpada na istraživanom području (lokalni ili regionalni nivo) potrebno je odrediti reprezentativni uzorak otpada. Prema standardu za određivanje reprezentativnog uzorka otpada, definisane su tri opcije za uzorkovanja koja se mogu koristiti za dobijanje reprezentativnih uzoraka otpada za analizu, a to su:

- 1) Uzorak iz posuda za otpad u zavisnosti od dinamike prikupljanja i broja stanovnika (kante volumena 120 l, 240 l ili 1100 l).
- 2) Uzorci u određenoj specifičnoj težini prikupljenog otpada iz domaćinstva/privrede, kao npr. od 100 kg do 500 kg po određenoj zoni (stambena, poslovna ili mješovita).
- 3) Otpad preuzet direktno od proizvođača otpada (ogledni uzorak kombinovan prema broju stanovnika koji proizvode određenu vrstu otpada, različite starosne ili socijalne grupe, određene industrije i sl.).

U praksi se primjenjuju i druge metode za određivanje reprezentativnog uzorka kao npr. prema količini dnevne produkcije otpada. Kod dnevne količine otpada preko 100 tona, uzorci se trebaju uzeti bar iz 20% vozila koja dovlače otpad, kod 50–100 tona produkcije otpada uzima se uzorak iz 30% vozila, kod 20–50 tona iz 50% vozila, a do 20 tona iz 100% vozila (SWA – Tool, 2004).

Iz podataka o morfološkom sastavu komunalnog otpada odloženog na deponijama u Republici Srpskoj (tabela 4.3.) možemo uočiti da u slučaju odvajanja organskog otpada i papira koji se nalaze u sastavu otpada, više od 55% otpada ne bi se trebalo odložiti na deponijama otpada. Odvojeno prikupljanje stakla za recikliranje, metala, plastike i tekstila može eliminisati dodatnih 15%, što dovodi do računice da se više od 70% otpada na području Republike Srpske može zbrinuti na drugačiji način od odlaganja. Slična je situacija posmatrana po pojedinim regijama, s tim što regija Prijedor prednjači u masenom udjelu organskog otpada iz kuhinja i bašta, sa preko 56%, dok regija Banja Luka proizvodi najviše otpadnog papira i kartona sa oko 26% u odnosu na ukupan komunalni otpad.

Tabela 4.3. Morfološki sastav otpada odloženog na deponijama u Republici Srpskoj (RPUO RS, 2019)

VRSTA KOMPONENTE OTPADA	MASENI UDIO KOMPONENTE (%)				
	Banja Luka	Prijedor	Bijeljina	Zvornik	Prosjek
Organski otpad iz kuhinja i bašta	31,14	56,26	42,33	31,45	40,30
Drvo	4,25	1,39	1,64	4,04	2,83
Tekstil	2,27	5,02	6,77	1,30	3,84
Staklo	3,91	2,89	3,38	7,53	4,43
Građevinski otpad	2,78	2,80	0,63	10,98	4,30
Elektronski otpad	1,27	0,09	0,08	0,18	0,41
PET	3,05	2,48	3,25	4,57	3,34
Folija	3,34	–	6,92	11,05	7,10
Guma	0,51	–	–	1,10	0,81
Plastika	5,15	8,87	2,74	6,93	5,92
Limenke	3,60	0,66	0,58	1,06	1,48
Metal	4,02	0,57	0,47	3,64	2,18
Papir i karton	25,92	7,36	14,06	11,28	14,66
Otpad životinj. porijekla	2,38	–	–	0,49	1,44
Ostalo	6,41	11,61	17,23	4,40	9,91

4.1.2. Određivanje količine otpada

Iako je stvaranje otpada po glavi stanovnika statistika koja je neophodna za navođenje trendova u potrošnji i proizvodnji, ukupna količina otpada koji nastaje u nekoj lokalnoj zajednici ili regiji, na nivou koje se planira sistem upravljanja otpadom, imaju veći značaj u planiranju funkcionisanja ovog sistema. Evidencija o dnevnim količinama generisanog otpada trebalo bi da se vodi svakodnevno, u svim lokalnim zajednicama, a posebno u većim gradovima. Kao što je ranije pomenuto, količina i sastav produkovanog otpada zavisi od više faktora, kao što su godišnje doba, standard stanovništva, privredne djelatnosti, način prikupljanja otpada i dr.

Postoje različite metodologije utvrđivanja količine i sastava otpada. Metodologija za procjenu količina i morfološkog sastava komunalnog otpada u BiH može biti zasnovana je na postojećim evropskim standardima kategorizacije otpada (ASTM standard za određivanje sastava neobrađenog komunalnog čvrstog otpada (US standard) – Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA – Tool, 2004). Ova metodologija je koncipirana na osnovu analize metodologija i iskustava u državama članicama EU i treba biti prilagođena uslovima u BiH, odnosno socijalnoj i ekonomskoj strukturi predmetne regije ili lokalne zajednice.

Kod rezultata sortiranja otpada, metodologija nalaže određivanje sljedećeg:

- 1) Tip otpada;
- 2) Karakteristike različitog otpada;
- 3) Količine različitog otpada u posmatranom uzorku;
- 4) Procentualna zastupljenost različitog otpada u posmatranom uzorku;
- 5) Procentualna zastupljenost različitog otpada u količini otpada generisanog i odloženog u periodu od 20 godina.

Količina otpada se obično izražava u tonama ili u kilogramima po stanovniku na dan ili godinu. Količina otpada za poznatu oblast sakupljanja utvrđuje se mjerenjem mase ili zapremine otpada²⁰.

Masa otpada se utvrđuje vaganjem punih i praznih vozila koja transportuju taj otpad. Količina otpada koji se transportuje u godini utvrđuje se formulom (4.1.):

$$q_0 = \sum_{i=1}^{j=52} n_i \times z_i \times m_i, \text{kg/godini} \quad (4.1)$$

Gdje je:

q_0 – količina otpada u godini, kg/godini,

n_i – broj vozila i-tog tipa u j-toj sedmici,

z_i – broj vožnji i-tog tipa u j-toj sedmici,

m_i – masa otpada u i-tom vozilu u j-toj sedmici, kg.

²⁰ Razlike u količinama otpada pojedinog grada ili države moguće je opravdati nepostojanjem standardizovanih načina obrade podataka i preračunavanjem specifične gustine otpada, jer na loše opremljenim deponijama ne postoje vage za mjerenje težine otpada koji se odlaže. Masa otpada po jedinici prostora, ukupna odložena količina otpada rijetko je definisana u tonama, a mnogo češće u kubnim metrima. Radi jednoobraznosti, pri pretvaranju iz jedne u drugu mjernu jedinicu, koristi se odnos 1 tona = 1,5 m³, što odgovara gustini otpada na deponiji od 666 kg/m³.

Specifična godišnja produkcija otpada po stanovniku (q_{sp}) određuje se po formuli (4.2.):

$$q_{sp} = \frac{q_o}{n_{st}}, \text{kg/stanovniku*godini} \quad (4.2)$$

Gdje je:

n_{st} – broj stanovnika u oblasti sakupljanja otpada

Moguće je procijeniti broj vozila koji su potrebni za prikupljanje i prevoz otpada svaki dan.

Terenska istraživanja su neophodna za pružanje osnovnih podataka o čvrstom otpadu i provode se na tri načina:

- 1) Vaganje vozila na deponijama.
- 2) Razvrstavanje otpada u unaprijed određene komponente za vaganje i uzorkovanje kako bi se odredio postotak svake komponente i fizičke i hemijske karakteristike otpada.
- 3) Posjeta institucionalnim i industrijskim lokacijama radi identifikovanja nastalog otpada i korišćenja metoda odlaganja.

Vaganje opterećenih i neopterećenih vozila vrši se vagom ili utegom kapaciteta obično oko 20.000 kg. Utovarena vozila se izvažu prilikom ulaska u mjesto za odlaganje, a prazna vozila se izvažu kada napuštaju mjesto nakon istovara. Vaganje se obavlja svaki dan u svrhu određivanja prosječne težine.

Treba imati u vidu da količine otpada izmjerene na deponijama odražavaju odlagane količine, a ne stvorene količine otpada, jer mjerenja ne uključuju otpad koji se iskoristi na neki način niti otpad koji se odlaže na nedozvoljena mjesta (tzv. divlje deponije).

Iz navedenih svojstava otpada može se zaključiti da komunalni otpad predstavlja heterogenu i voluminoznu masu, male vrijednosti i manje specifične težine.

4.1.3. Količine komunalnog otpada u svijetu

Količina generisanog komunalnog otpada u svijetu je u stalnom porastu. Kako nacije i gradovi postaju naseljeniji i prosperitetniji, nude više proizvoda i usluga građanima i učestvuju u globalnoj trgovini i razmjeni, suočavaju se s narastajućim količinama otpada koje predstavljaju sve veći izazov za rješavanje. Postepeno

povećavanje količine čvrstog otpada dovodi do različitih problema u transportu, skladištenju i odlaganju ovog otpada i otežava efikasno upravljanje čvrstim komunalnim otpadom. U svijetu se generiše oko 17 milijardi tona čvrstog otpada na godišnjem nivou, a pretpostavke su da će ove količine do 2050. godine iznositi oko 27 milijardi tona. Izveštaj Svjetske banke procjenjuje da je prije dvadeset godina živjelo u gradovima 2,9 milijardi stanovnika koji su proizveli oko 0,64 kg komunalnog otpada po osobi dnevno (0,68 milijardi tona godišnje). Ovaj izveštaj procjenjuje da su se prije deset godina ove količine povećale na oko 3 milijarde stanovnika koji proizvode 1,2 kg po osobi dnevno (1,3 milijarde tona godišnje). Do 2025. godine ovo će se vjerovatno povećati na 4,3 milijarde urbanih stanovnika koji proizvode oko 1,42 kg/stanovniku/dan komunalnog čvrstog otpada (2,2 milijarde tona godišnje) (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).

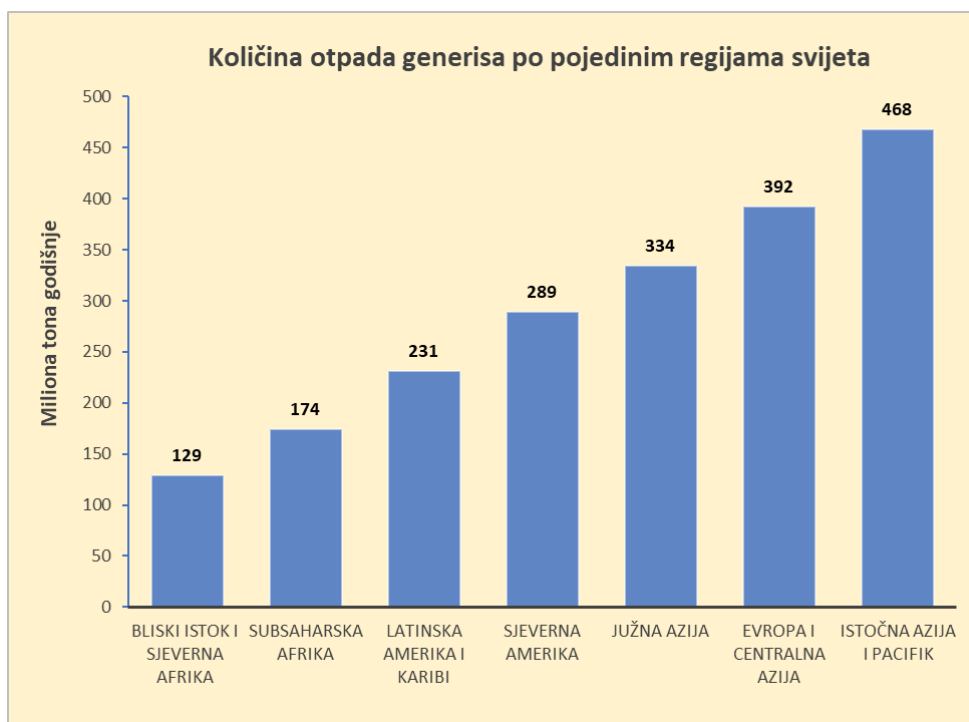
Brza urbanizacija, sve veća industrijalizacija, porast prihoda i sofisticiraniji oblik potrošnje dovode do povećanja količina, ali i toksičnosti otpada u azijskim zemljama sa srednjim prihodima, posebno u gradovima. Prema podacima Svjetske banke, urbana područja u Aziji generišu oko 760.000 tona čvrstog komunalnog otpada, ili oko 2,7 miliona kubnih metara dnevno. U 2025. godini ova količina će se povećati na 1,8 miliona tona otpada dnevno, odnosno 5,2 miliona kubnih metara otpada. Ove procjene su službene, a stvarne vrijednosti su vjerovatno više nego dvostruko veće od ovog iznosa (Hoornweg & Thomas, 1999).

Podaci o ukupnim količinama komunalnog otpada se uglavnom odnose samo na zemlje OECD i gradska područja u zemljama u tranziciji i zemljama u razvoju. Često je nemoguće pristupiti podacima o količinama otpada koje nisu formalno zabilježene u ruralnim područjima zemalja kao što su Indija i Kina. Međutim, treba naglasiti da je za samo par godina Kina gotovo potpuno usvojila zapadni pristup u sistemu upravljanja otpadom u svojim gradskim područjima.

Godišnja proizvodnja komunalnog otpada, uglavnom iz domaćinstava, ali uključujući sličan otpad iz izvora kao što su trgovina, kancelarije i javne institucije u EU-27, dostigla je 502 kg po osobi u 2010. godini (u prosjeku oko polovinu tona otpada godišnje po osobi). Varijacije među državama odražavaju razlike u obrascima potrošnje i ekonomskim uslovima. Procijenjeno je da je tokom 2016. godine nastalo 2,01 milijarde tona čvrstog komunalnog otpada, a očekuje se da će taj broj porasti na 3,40 milijardi tona do 2050. godine (Kaza et al., 2018). Prema proračunima, ukupna količina proizvedenog otpada u zemljama sa niskim prihodima će se povećati više od tri puta do 2050. godine. Trenutno Istočna Azija i Pacifički region stvaraju većinu svjetskog otpada, 23%, a Bliski Istok i

Sjevernoafrička regija proizvodi najmanje, u apsolutnom smislu, od 6 procenata (slika 4.1.).

Posmatrajući kao cjelinu, svijet proizvodi 0,74 kilograma otpada po glavi stanovnika dnevno, ali nacionalne stope stvaranja otpada široko variraju od 0,11 do 4,54 kilograma po stanovniku dnevno. Količine stvaranja otpada uglavnom su povezane sa nivoima prihoda i stopama urbanizacije. Iako predstavljaju samo 16 procenata svjetske populacije, zemlje sa visokim prihodima stvaraju 34% ili 683 miliona tona svjetskog otpada. Zemlje sa niskim prihodima čine 9 procenata svjetske populacije, ali stvaraju samo oko 5 procenata globalnog otpada, ili 93 miliona tona (Kaza et al., 2018). Iako razvijene zemlje imaju najviše stope, zemlje u razvoju, kao što su: Brazil, Kina i Indija, imaju visoke stope zahvaljujući velikim urbanim centrima. Sjedinjene Američke Države zauzimaju vodeće mjesto po količini generisanog ukupnog čvrstog otpada (oko 621.000 tona dnevno), a zatim slijedi Kina u kojoj se generiše oko 521.000 tona otpada dnevno (Castaldi, 2014). Ukupna proizvodnja čvrstog komunalnog otpada u SAD u 2017. godini iznosila je 267,8 miliona tona, što je značajno povećanje u odnosu na 208,3 miliona tona u 1990. godini (US EPA, 2017).

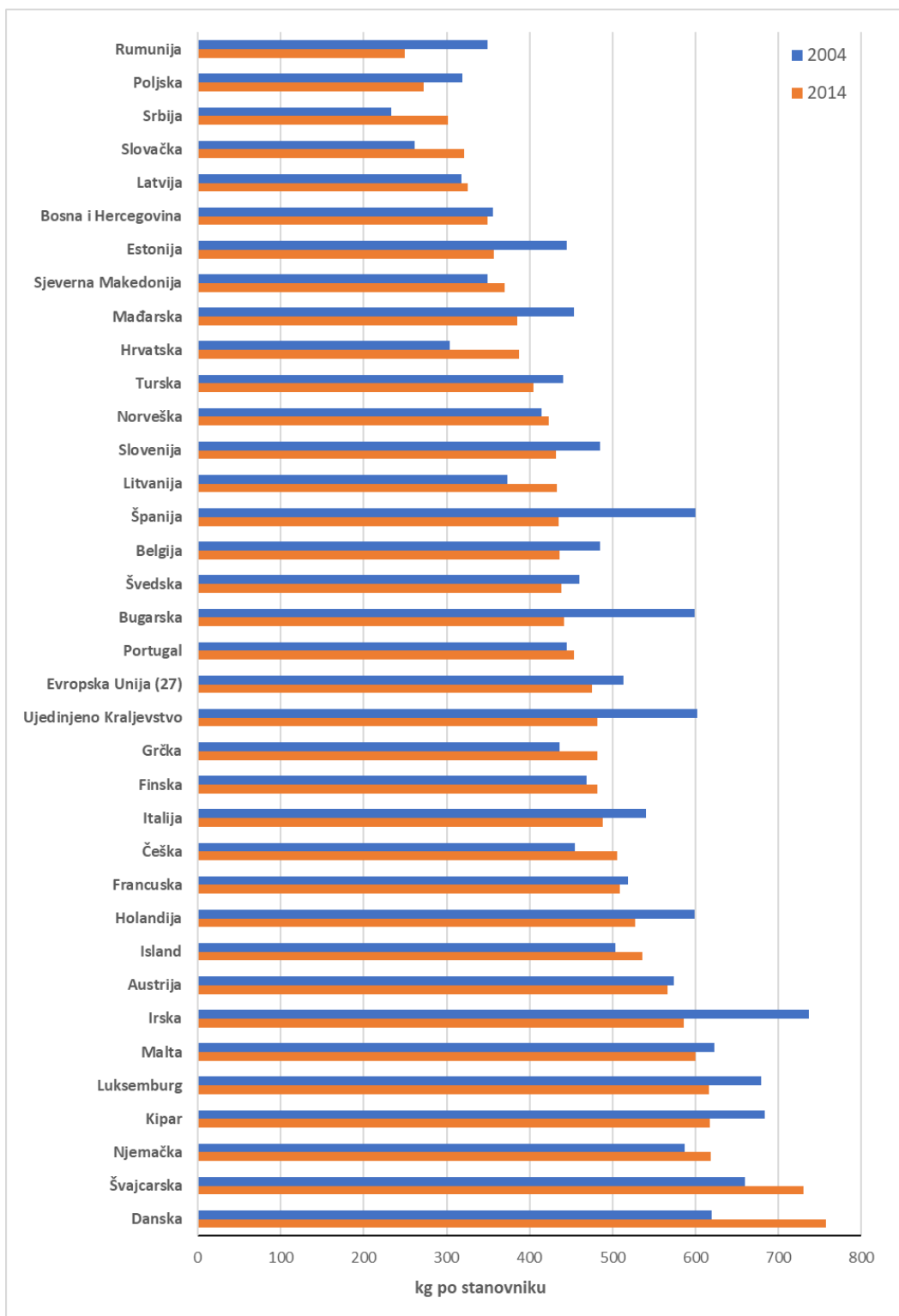


Slika 4.1. Proizvodnja otpada po pojedinim dijelovima svijeta u 2016. godini (Kaza, et al., 2018)

U EU 28 tokom 2014. godine je proizvedeno 2,6 milijardi tona ukupnog čvrstog otpada (Eurostat, 2016). Ovo je najveća količina otpada ikada zabilježena. Građevinarstvo je doprinijelo najvećem udjelu otpada u 2014. godini (33,5%), a zatim slijede vađenje ruda i kamena (29,8%), proizvodnja (9,8%), domaćinstva (8,1%) i energija (3,7%), a preostalih 15% je otpad nastao iz drugih ekonomskih aktivnosti (uključujući 3,8% otpada iz usluga gdje nastaje i komunalni otpad) (European Commission, 2016). Iako čvrsti komunalni otpad predstavlja samo 10% ukupnog otpada koji se stvara u Evropi, ipak je jedna od kategorija sa najvećim potencijalom za unapređenje životne sredine kroz bolje upravljanje. Komunalni otpad je od izuzetne važnosti zbog svojih kompleksnih karakteristika, zbog njegovog sastava, biološko-hemijske aktivnosti, te raspodijeljenosti među mnogim izvorima otpada i povezanosti sa obrascima potrošnje.

U EU je u 2018. godini proizvedeno 489 kg komunalnog otpada po glavi stanovnika ili 1,34 kg po osobi dnevno. Primjetne su velike razlike u količini generisanog otpada po stanovniku po pojedinim državama EU. Koristeći zvanične podatke Evropske agencije za životnu sredinu (EEA, 2016) koja je izvršila poređenje količine proizvedenog otpada po stanovniku 2004. i 2014. godine (slika 4.2.), možemo primjetiti da su 2004. godine najveću količinu otpada generisali stanovnici Irske sa 737 kg po stanovniku komunalnog otpada godišnje. Odmah iza nje, po količini proizvedenog otpada po stanovniku slijede Danska i Švajcarska, s tim da je Švajcarska prednjačila sa 660 kg/stan. godišnje u odnosu na Dansku sa 621 kg/stan. godišnje. Deset godina kasnije, 2014. godine, Danska je dospjela na prvo mjesto po količini proizvedenog komunalnog otpada od čak 758 kg/stan. ispred Švajcarske koja je generisala 730 kg/stan. komunalnog otpada godišnje. S druge strane, najmanju količinu komunalnog otpada 2004. godine, prema ovim podacima, generisalo je stanovništvo Srbije (233 kg/stan.) i Slovačke (261 kg/stan.), dok su, deset godina kasnije, najmanju količinu otpada generisali stanovnici Rumunije (249 kg/stan.) i Poljske (272 kg/stan.) (EEA, 2016). Na osnovu prikupljenih podataka možemo zaključiti da daleko najveću količinu komunalnog otpada proizvode stanovnici sa višim životnim standardom i da se ta količina, bez obzira na sve mjere prevencije nastajanja otpada, iz godine u godinu povećava.

Hrana i zeleni otpad čine više od 50% otpada u zemljama sa niskim i srednjim prihodima. U zemljama sa visokim prihodima udio organskog otpada je oko 32 procenta, zbog većih količina ambalažnog otpada i drugog neorganskog otpada. Reciklažne materije čine znatan dio toka otpada, a u prethodnom dijelu teksta se vidi da kako raste nivo prihoda neke zemlje, raste i količina reciklažnih materijala u otpadu, a posebno papira.



Slika 4.2. Količine komunalnog otpada generisanog u 35 evropskih zemalja (kg po stanovniku) (EEA, 2016)

4.2. FIZIČKE OSOBINE OTPADA

Pored podataka o količinama i sastavu komunalnog otpada, poznavanje određenih fizičko-hemijskih karakteristika i biorazgradivosti komunalnog otpada može poslužiti za izradu preporuka i prijedloga unapređenja sistema upravljanja otpadom, te procjenu potencijala za materijalno i energetske korišćenje komunalnog otpada.

Pored morfološkog sastava otpada, najrelevantnije fizičke osobine otpada su: zapremina i gustina otpada, te sadržaj vlage. Zapremina i gustina otpada predstavljaju osnovne parametre pri proračunu veličine potrebnog prostora za deponovanje čvrstog otpada, kao i za ostale proračune vezane za broj i veličinu kontejnera, broj i tipove transportnih sredstava, mehanizaciju za rad na deponijama i uopšte dispoziciju otpada.

Količina q_0 , zapremina V_0 , i gustina otpada ρ_0 , imaju međusobni odnos:

$$q_0 = V_0 * \rho_0, \quad (t) \quad (4.3)$$

Zapremina otpada zbog različite kompresibilnosti nema konstantnu vrijednost, zbog čega se mijenja i njegova gustina. Produkovana količina otpada se često izražava u jedinicama zapremine, obično kao kubni metar, što nije uvijek mjerodavno, jer masa kubnog otpada zavisi od gustine otpada.

Gustina otpada je jedan od osnovnih parametara pri proračunu veličine potrebnog prostora za deponovanje otpada, kao i za proračune koji se odnose na broj i veličinu kontejnera, broj i tipove transportnih sredstava, kao i na mehanizaciju za rad na deponijama.

Gustina otpada uglavnom zavisi od: sastava, sadržaja vlage i stepena kompaktnosti. Poznavanje gustine otpada, tj. njegove mase po jedinici zapremine (kg/m^3) od suštinskog je značaja za planiranje svih elemenata sistema upravljanja čvrstim otpadom. Otpad je obično niske gustine, a upotrebom vozila za sabijanje na rutama za sakupljanje postiže se smanjenje zapremine od 75%, tako da se početna gustina od $100 \text{ kg}/\text{m}^3$ lako poveća na $400 \text{ kg}/\text{m}^3$. Drugim riječima, vozilo bi prevozilo četiri puta veću težinu otpada u zbijenom stanju nego kad je otpad nekompaktan, ali bi se smanjila i potreba za brojem vozila za prevoz iste količine otpada. Gustine pojedinih komponenti zavise od nivoa prerade prije nego što su postale otpad, od oblika (dimenzija i kontura) otpada u kojem se nalaze pojedine komponente i od njihovih fizičko hemijskih osobina.

Srednja gustina se određuje laboratorijskim putem na bazi srednjeg uzorka, a izražava u toni po metru kubnom ili kilogramu po litru (t/m^3 ili kg/m^3).

Srednju gustinu računamo po formuli (4.4):

$$\rho_{sr} = \frac{m_1 - m_2}{V} \quad (4.4)$$

Gdje je:

- ρ_{sr} – srednja gustina otpada (t/m^3) ili (kg/m^3),
- m_1 – masa otpada s kontejnerom za mjerenje ili vozilom (t ili kg),
- m_2 – masa kontejnera (vozila) (t ili kg),
- V – zapremina kontejnera (m^3).

Srednja gustina zavisi od: morfološkog sastava otpada, srednje gustine njegovih pojedinih komponenti, vlažnosti čvrstih otpadaka, mjesta uzorkovanja, kao i stepena zbijenosti. Postoje razlike u gustini komunalnog otpada između urbanih i ruralnih područja, zbog načina življenja i tretmana komunalnog otpada. Naime, u ruralnim područjima većina organskog otpada se koristi za ishranu domaćih životinja ili kao gorivo za zagrijavanje. Te razlike su evidentne i u okviru urbanih područja – manje vrijednosti su karakteristične za čvrsti komunalni otpad iz stambenih i komercijalnih četvrti, a veće za dijelove grada gdje je zastupljena individualna gradnja. Na veću gustinu u ovim područjima utiče udio mineralnih komponenata (pepela) s obzirom na individualno grijanje i povećan udio kamena i prašine kao posljedica uređenja i čišćenja dvorišta.

Tabela 4.4. Gustine pojedinih komponenata otpada u t/m^3 (Ilić, Miletić, 1998)

TIP OTPADA	GUSTINA, t/m^3
Papir	0,032–0,080
Tekstil	0,082–0,206
Organske materije	0,168–0,501
Šljaka i pepeo	0,320–0,961
Metali	0,048–1,100
Staklo	0,160–0,481
Plastika	0,032–0,128
Koža	0,096–0,256
Guma	0,066–0,192
Drvo	0,128–0,320

Uopšteno, tendencija je smanjenja srednje gustine otpada, zbog sve većeg prisustva lakih frakcija, kao papira i plastične ambalaže. Pored srednje gustine, često se koriste sljedeće gustine otpada:

1) Nasipna gustina otpada, (t/m) – masa otpada u jedinici zapremine posude za sakupljanje.

2) Zbijena gustina otpada, (t/m) – masa otpada u jedinici zapremine nakon određenog zbijanja (zbog dinamičkih sila zbijanja šupljine u otpadu se popunjavaju, odnosno otpad se zbija i smanjuje se zapremina otpada).

Tabela 4.5. Prosječne vrijednosti nasipne gustine otpada (Sredojević, 2003)

VRSTA OTPADA	NASIPNA GUSTINA, kg/m³	VRSTA OTPADA	NASIPNA GUSTINA, kg/m³
Papir	220	Organski otpad iz vrtova	210
Papir za pakovanje	100	Organski kuhinjski otpad	240
Drvo, masivno	110	Inertni otpad	280
Fe metali	450	Otpad sa građevina	930
Metali nemagnetični	30	Otpad iz radionica	1020
Metalne trake	10	Kabasti otpad	240
Staklo, ravno	320	Krupni otpad	160
Staklo, šuplje	510	Otpad iz štamparija	210
Plastične mase, folije	160	Otpad od renoviranja stanova	70
Plastične mase, vreće	170	Otpad granulacije a_{max} < 8 mm	990
Vještačke mase, stiropor	10	Otpad granulacije a = 60+8mm	360

Nasipna gustina otpada se utvrđuje statističkom procjenom za različite oblasti sakupljanja sa specifičnom produkcijom otpada po stanovniku. Nasipna gustina otpada je značajan parametar za planiranje deponija, tj. potrebnog kapaciteta i dužine trajanja deponije. Ipak, koristeći kompaktor, moguće je postići visoku

zbijenost i veću iskorišćenost tijela deponije. Informacije o količini i gustini otpada, zajedno sa stopom stvaranja otpada (po masi), važne su za procjenu nosivosti uređaja za prikupljanje otpada (tabela 4.5.).

Masa otpada po jedinici prostora se definiše u tonama (t) i kubnim metrima (m³). Pri pretvaranju iz jedne u drugu mjernu jedinicu, koristi se odnos 1 tona = 1,5 m³, što odgovara gustini od oko 666 kg/m³.

Sadržaj vlage je takođe veoma važna karakteristika, s obzirom na to da do paljenja ne može doći dok je komponenta vlažna. Sadržaj vlage se definiše kao gubitak težine do koje dolazi sušenjem uzorka otpada. Vlažnost čvrstog otpada predstavlja odnos mase vode u uzorku otpada prema masi osušenog uzorka, odnosno njegovih čvrstih sastojaka. U poređenju sa konvencionalnim gorivom, sadržaj vlage u otpadu iz domaćinstva je veoma visok (15–70%). Sadržaj vlage može varirati za vrijeme skladištenja i prikupljanja zbog isparavanja i transfera vlage. Vlažnost otpada zavisi od godišnjeg doba i sadržaja pojedinih vrsta materijala u njemu, posebno od otpadaka od hrane, kao i od uslova lokaliteta gdje se oni sakupljaju, odnosno uticaja atmosferalija.

Vlažnost je važno svojstvo čvrstog otpada za izbor metode dispozicije otpada, a posebno za regulisanje biohemijskih procesa pri tretiranju otpada. Maseni udio vlage u čvrstom komunalnom otpadu je od posebnog značaja za procese njegove dalje prerade (npr. sagorijevanje i kompostiranje), ali i za poslove transporta i privremenog skladištenja. Vлага povećava težinu čvrstog otpada, a samim tim i troškove sakupljanja i transporta. Shodno tome, otpad treba izolovati od kiše ili druge vanjske vode. Sadržaj vlage je kritična odrednica u ekonomskoj izvodljivosti načina obrade, posebno za spaljivanje otpada, jer se za isparavanje vode mora utrošiti dodatna energija. Osim klimatskih uslova, sadržaj vlage uglavnom je veći u zemljama s niskim dohotkom zbog većeg udjela hrane i dvorišnog otpada.

Opšta vlažnost čvrstih otpadaka na osnovu labaratorijskih podataka može se izračunati pomoću formule:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{V} \cdot 100 \quad (4.5)$$

gdje je:

W – opšta vlažnost (%),

m_1 – prethodna masa uzorka (g),

m_2 – masa apsolutno suvog uzorka (g),

V – zapremina uzorka (cm³).

U tabeli 4.6. dat je prikaz obima vrijednosti za udio vlage pojedinačnih komponenti komunalnog otpada u jesen na izvoru generisanja, odnosno prije sakupljanja i transporta.

Tabela 4.6. Prosječna vlažnost nekih vrsta otpada u jesen (Sredojević, 2003)

VRSTA OTPADA	VLAŽNOST %
Ostaci hrane	70–80
Papir	20–30
Karton	8–25
Drvo	15–25
Metali	3
Tekstil	20–40
Staklo	2
Koža	15–35
Kosti	5–7
Šljaka	2

Fizička svojstva (osobine) zavise od mnogo faktora, a posebno od sastava otpada i uslova sakupljanja otpada. Tako, npr. gustina pojedinih komponenata otpada može varirati od 32 do 500 kg/m³ (tabela 4.4), a sadržaj vlage od 2 % (staklo i šljaka) do 80% (ostaci hrane) (tabela 4.6.). Gustina kompaktovanog miješanog komunalnog otpada na deponijama iznosi od 200 do 400 kg/m³, a sadržaj vlage kompaktovanog otpada na deponijama iznosi od 15% do 40%.

4.3. HEMIJSKE OSOBINE OTPADA I ENERGETSKI POTENCIJAL

Hemijske karakteristike otpada moguće je posmatrati na više načina u zavisnosti od cilja analize. U tom smislu, moguće je izvršiti određivanje organske i neorganske grupe elemenata, definisanje toplotne moći za pojedine frakcije u otpadu, određivanje pH vrijednosti, kao i detaljan hemijski sastav otpada na nivou elemenata. Poznavanje hemijskog sastava otpada i njegove toplotne moći (energetskog potencijala) je potrebno da bi sagledati mogućnosti iskorišćavanja otpada i primjenu različitih tehnologija tretmana otpada.

Hemijski sastav otpada. Poznavanje hemijskog sastava čvrstog komunalnog otpada je važno za pravilan izbor postupaka i opreme za preradu i korišćenje otpada, odnosno za tehničko-ekonomsko analiziranje izbora varijante njihovog konačnog tretmana i eventualnog korišćenja kao sekundarnih sirovina.

U čvrstom komunalnom otpadu u najvećem obimu su zastupljena sljedeća hemijska jedinjenja: ugljeni hidrati, proteini, lipidi, prirodna vlakna i anorganska jedinjenja. Ugljeni hidrati i proteini uglavnom vode porijeklo iz otpadaka hrane i otpada iz vrtova, lipidi iz otpadnih masti i ulja, a njihov udio povećava energetska vrijednost otpada. Lignin usporava procese biološke razgradnje otpada, a anorganska jedinjenja (staklo, metal, prašina, pepeo i sl.) se tretiraju kao nasagoriva.

Osnovni hemijski pokazatelji se utvrđuju laboratorijskim putem. Glavni elementi komunalnog otpada su ugljenik (C) kiseonik (O) i pepeo koji zajedno čine oko 90% u suhom uzorku otpada (tabela 4.7.).

Vrijednost pH predstavlja ključni faktor pri kontroli kvaliteta procjednih voda sa deponija, ali i sa aspekta odvijanja procesa degradacije otpada na deponijama. Mjerenje pH vrijednosti u otpadu se vrši u vodenoj suspenziji nastaloj iz otpada, tako što se posmatra aktivnost protona u toj vodi.

Ako je poznat hemijski sastav dolaznog otpada i pojedinih frakcija, mogu se predvidjeti neke emisije iz procesa obrade otpada. Ovo se posebno odnosi na neorganska zagađenja u tragovima, kao što su teški metali koji uglavnom prolaze nepromijenjeni kroz proces upravljanja otpadom. Poznavanje ulaska teških metala u tok otpada omogućava smanjenje nivoa tih zagađujućih materija i osiguranje njihovog efikasnog upravljanja.

Dvije druge korisne karakteristike frakcija otpada su njihov sadržaj ugljenika (koji omogućava izračunavanje emisije ugljen-dioksida, metana itd.) i njihov sadržaj vode (koji se značajno razlikuje između različitih frakcija otpada i utiče na njihovu kalorijsku vrijednost).

Poznavanje hemijskih karakteristika otpada od ključnog je značaja za utvrđivanje efikasnosti bilo kojeg postupka obrade. Na primjer, omjer ugljenik/azot (C/N) važan je za određivanje pogodnosti otpada za kompostiranje, a najbolji odnos C/N za aerobni biološki proces razlaganja (kompostiranje) otpada iznosi 30/1. Zemljišni organizmi, kao glavni izvršioci procesa kompostiranja, koriste ugljenik kao izvor energije i azot za rast i produkciju. Bez dovoljne količine azota u procesu razlaganja učestvovalaće manji broj mikroorganizma što utiče na sporije raspadanje. Ukoliko ima previše azota u kompostu, stvoriće se amonijak i neprijatan miris.

Tabela 4.7. Hemijski sastav suhog uzorka otpada (Choy et al., 2004)

Vrsta otpada	Maseni udio (%) u suhom uzorku					
	C	H	O	N	S	Pepeo
Glomazni otpad¹	27.0	3.3	23.4	0.2	0.1	46.0
Staklo	0.5	0.1	0.4	< 0.1	0	98.9
Metal	4.5	0.6	4.3	< 0.1	0	90.5
Papir	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
Plastika	60.0	7.2	22.8	0	0	10.0
Ostaci hrane	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
Tekstil	55.0	6.6	31.2	4.5	0.2	2.5
Drvo	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
Ostalo²	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0
Komunalni otpad (prosjek)	43.5	5.6	32.1	1.1	0.3	17.1

¹ Krupni otpad, veliki namještaj, kućni uređaji (npr. hladnjak, klima uređaj, mašina za pranje veša i sl.), pretpostavlja se da uključuje 50% drveta i 50% metala.

² Ostalo – pepeo, keramika, prljavština

Ako se čvrsti komunalni otpad koristi kao gorivo ili za procese kompostiranja, neophodno je poznavati sljedeće karakteristike:

- 1) Rezultate tehničke analize, odnosno maseni udio (vlage, isparljivih komponenti, nesagorjelih komponenti, fiksnog ugljenika i slično).
- 2) Vrijednost temperature topljenja pepela.
- 3) Rezultate elementarne analize, tj. maseni udio (ugljenika, kiseonika, vodonika, azota, sumpora, pepela, vlage i sl.).
- 4) Vrijednost donje toplotne moći.

Sadržaj topljivih sastojaka i ugljenika čini gorivi dio materijala, povećavaju njegovu toplotnu vrijednost, te imaju uticaj na sastav i količinu dimnih gasova prilikom sagorijevanja. Negorivi dijelovi otpada čine pepeo, a što je veći udio negorivih dijelova, manja je energetska vrijednost materijala. Povećanje vlage u otpadu smanjuje iskoristivi dio njegove energetske, odnosno toplotne vrijednosti. Otpad sa velikim udjelom plastike vrlo je pogodan za termičko iskorišćavanje (spaljivanje), ali ne i za biološki tretman. Otpad od drveta je također pogodan za

spaljivanje, ali ne i za biološke procese razlaganja (kompostiranje) zbog visokog sadržaja lignina koji usporava ovaj proces.

Toplotna moć čvrstog otpada je važno svojstvo za konačan izbor metoda dispozicije komunalnog otpada. Ona se utvrđuje računskim putem ili eksperimentalnim spaljivanjem. Dosadašnja istraživanja pokazuju da je vrijednost toplotne moći čvrstog komunalnog otpada, u mnogim slučajevima veća od toplotne moći nisko kaloričnih goriva koja se danas koriste u termoenergetskim postrojenjima (tabela 4.8.). Iz tog i mnogih drugih razloga (npr. ušteda mineralnih resursa) otpad se može tretirati kao gorivo i kao takvo se može koristiti.

Tabela 4.8. Toplotna moć nekih gorivih otpadnih materijala

Grupa materijala	Toplotna moć, kJ/kg
Kućni otpad	7.000–9.000
Ostatak kućnog otpada	8.000–11.000
Grubi otpad	7.500–11.700
Fini otpad	2.800–3.500
Plastične folije	19.000–40.000
Papir/karton	9.000–14.000
Tekstil	10.000–21.000
Kameni ugalj	22.000–35.000
Mrki ugalj	8.000–20.000
Drvo	15.000–16.000

Dok se procjenjuju spaljivanje kao sredstvo za dobijanje energije, treba uzeti u obzir sljedeće činjenice:

- 1) Organski materijal daje energiju samo kada je suv.
- 2) Vlaga koju sadrži otpad zahtijeva značajnu količinu energije za isparavanje.
- 3) Sadržaj pepela u otpadu smanjuje udio suhog organskog materijala i zadržava malo toplote kada se izvadi iz peći.

Za proračun bilansa postrojenja za sagorijevanje otpada koristi se donja toplotna moć otpada koja se razlikuje od gornje toplotne moći za temperaturu isparavanja vode i zagrijavanje inertnog dijela u otpadu na temperaturu sagorijevanja.

U praksi je dokazano da za pouzdano sagorijevanje otpada, minimalna toplotna moć otpada (bez dodatnog goriva) treba biti veća od 6.500 kJ/kg (Christman, A., 1991).

Tabela 4.9. Primjer prosječnog sastava kućnog otpada i njegove toplotne moći (Müll/Handbuch, 1994; Sredojević, 2003)

Grupa materijala	Maseni udio, %	Vlažnost, %	Sadržaj pepela, %	Gornja toplotna moć, kJ/kg	Toplotna moć otpada u uzorku (% mase uzorka kućnog otpada)	
					Donja topl. moć, kJ/kg	%
Papir, Karton	25	10	15	15.100	3.775	44
Plastične mase	6	1	5	39.800	2.388	28
Drvo, guma, tekstil	5	20	20	16.800	840	10
Vlažni organski otpad (kuhinjski)	25	80	20	3.350	840	10
Fini otpad (manje od 8mm)	15	15	60	3.350	503	6
Anorganski otpad	20	< 1	100	-	-	-
Nesortirani otpad	4	5	40	4.200	168	2
	100					100
Kućni otpad		26	41		8.514	

Toplotna moć zavisi od sastava otpada i njegove mogućnosti gorenja. Kao što se može uočiti iz prikazanih podataka (tabela 4.9.): drvo, papir, karton i plastične mase imaju znatne vrijednosti toplotne moći. S druge strane, stakleni krš, metalni otpad i drugi anorganski otpad ne gore. Smanjenjem sadržaja vlažnosti (prosušivanjem otpada), kao i smanjenjem udjela pojedinih komponenti u sastavu otpada, kao što su npr. staklo, metalni dijelovi i inertni mineralni materijali, dolazi do povećanja toplotne moći otpada. Povećanje donje toplotne moći postiže se razdvojenim sakupljanjem, odnosno sortiranjem i obradom otpada.

Postoji više vrsta otpada i hemijskom analizom se određuje njegov hemijski sastav, a na osnovu toga se može izračunati i sastav dimnih gasova, te određivanje zagađenja vazduha. Hemijske karakteristike su vrlo korisne i u procjeni potencijala stvaranja gasa metana. Sagorijevanje otpada je potpuno ako sve njegove sagorive komponente potpuno oksidiraju. Pri nepotpunom sagorijevanju proizvodi sagorijevanja sadrže komponente koje još mogu oksidirati (npr. CO u gasovima sagorijevanja može oksidirati u CO₂), a taj proces nastaje kada nema dovoljno vazduha, odnosno kiseonika.

4.4. BIOLOŠKE OSOBINE OTPADA

Biološke osobine su, kao uostalom i sva druga kvalitativna svojstva otpada, podložna promjenama usljed starenja i procesa razgradnje otpadnog materijala. Biološka degradacija organske frakcije otpada ima za posljedicu promjenu hemijskih, mehaničkih i drugih svojstava. Mikroorganizmi koji razgrađuju otpad (bakterije, alge, gljivice, plijesni i dr.) za rast i razmnožavanje trebaju određene uslove, kao npr: odgovarajuću vlažnost, temperaturu, pogodan udio C, O i N, određenu pH vrijednost, i dr. Razgradnja organskog dijela otpada praćena je stvaranjem gasova. Gasovi koji se stvaraju prilikom aerobne i anaerobne razgradnje organskih materija na deponijama mogu posredno ili neposredno uticati na životnu sredinu. U najvećoj količini prisutni su CH₄ i CO₂, dok u manjoj H₂S, NH₃, N₂, razni aldehidi, merkaptani, amini, sulfidi, gasoviti ugljovodonici, te heksan, heptan i oktan i dr.

Biološke osobine komunalnog otpada važne su za razumijevanje samog procesa razgradnje organskog otpada, odnosno za definisanje tehnologije biološkog tretmana u cilju proizvodnje energije ili iskoristivih produkata. Biološki tretman (obrada) se može izvesti pomoću jednog od sljedećih procesa: anaerobna probava, kompostiranje ili biosušenje. U anaerobnom procesu koriste se mikroorganizmi koji razgrađuju otpadne komponente i proizvode biogas i sredstva za poboljšanje tla. Biogas se može koristiti za proizvodnju električne i toplotne energije. U procesu kompostiranja aerobni tretman nastaje tamo gdje mikroorganizmi ne proizvode gorivo, već stvaraju ugljen dioksid i kompost. U trećem režimu, biosušenjem, aerobni mikroorganizmi proizvode toplotu i suše otpad, koji tada postaje pogodan za dalju obradu. Nastala toplota stvorena u biohemijskim reakcijama unutar mikroorganizama tokom aerobne biorazgradnje otpada uklanja

vlagu i biorazgradivi dio otpada²¹. U zavisnosti od toka procesa, anaerobnom fermentacijom postiže se inaktiviranje patogenih mikroorganizama. Za uspješnu inaktivaciju patogenih mikroorganizama, proces se mora odvijati u termofilnim uslovima, iznad 45 °C. Međutim, i kod ovakve fermentacije pojedini virusi i paraziti mogu preživjeti.

Neki organski dijelovi otpada nepovoljni su za procese biološke razgradnje (plastika, guma, koža i drvo), što zavisi od njihovih sastojaka (masnoće, ulja, proteina, lignina, celuloze, sastojaka topivih u vodi). Osim drveta, koji sadrže neprobavljive sastojke, poput lignina, bakterije mogu razgraditi gotovo sav biološki materijal.

²¹ Često se pojam biootpada miješa sa širim pojmom biorazgradivog otpada, koji osim biootpada uključuje i druge vrste biorazgradivog otpada poput: papira, kartona, tekstila i slično.

5. SAKUPLJANJE I TRANSPORT KOMUNALNOG OTPADA

Sakupljanje i transport otpada predstavlja jednu od najznačajnijih karika u sistemu upravljanja otpadom. Funkcija sistema sakupljanja i transporta komunalnog otpada jeste sakupiti otpad iz domaćinstava i otpad iz komercijalnog sektora i transportovati ga do postrojenja za sortiranje, tretman i/ili odlaganje otpada. Načini prikupljanja otpada variraju od države do države, odnosno od regiona do regiona i mogu biti organizovani od strane državnih komunalnih preduzeća, privatnih preduzeća ili javno-privatnog partnerstva. U zemljama u razvoju u okviru sakupljanja i transporta komunalnog otpada mogu se izdvojiti sljedeći problemi: neodgovarajući broj i struktura posuda za sakupljanje otpada, neodgovarajući raspored posuda, nedostatak odgovarajućih vozila za transport otpada, nedovoljna učestalost transporta otpada, neodgovarajuće rute kretanja vozila, neriješeno pitanje transporta otpada iz zdravstvenih ustanova i nekih privrednih subjekata.

Postupci sakupljanja i odnošenja otpada predstavljaju najskuplju operaciju u cijelom sistemu rukovanja otpadom, a kako modeli nastanka otpada postaju sve više difuzni i kako se ukupne količine otpada povećavaju, logistika sakupljanja postaje sve kompleksnija. Zato se velika pažnja mora posvetiti, kako samoj organizaciji, tako i upotrebi najefikasnijih sredstava i opreme za sakupljanje i transport otpada, jer se time može znatno poboljšati čitav sistem upravljanja otpadom.

5.1. SAKUPLJANJE OTPADA

Sakupljanje komunalnog otpada predstavlja prvi korak u sistemu upravljanja otpadom. Istorijski gledano, svrha sakupljanja komunalnog otpada, na samom početku, bila je uklanjanje otpada iz dvorišta i sa ulica grada, sa ciljem poboljšanja higijene u naseljenim mjestima i sprečavanje širenja bolesti i zaraza. Otpad bi trebalo da se što kraće zadržava na mjestima za sakupljanje, prvenstveno zbog lošeg uticaja na životnu sredinu i zdravlje (organski otpad je pogodna podloga za niz patogenih bakterija, poput salmonele, kao i razvoj i razmnožavanje štetnih glodara i insekata, vektora zaraznih bolesti). Sa druge strane, učestalost sakupljanja mora da bude takva da proces sakupljanja ima ekonomsku opravdanost (dobra popunjenost kamiona za transport otpada do krajnjeg odredišta).

Komunalni otpad, tehnički gledano, predstavlja jako heterogenu i voluminoznu masu, male vrijednosti, male specifične težine, neravnomjernog oblika i veličine, različitog hemijskog sastava, biološki lako razgradljivu, koja se sa većeg broja mjesta prikuplja u manjim količinama i transportuje na velike daljine. To je izrazito nepodesan materijal za transport, tretiranje i skladištenje.

Problem uklanjanja komunalnog, i uopšte čvrstog otpada, ima dva aspekta: zaštita životne sredine i racionalno iskorišćavanje otpada. Za komunalni otpad se često koriste termini gradski ili opštinski otpad, jer predstavlja mješavinu otpada koji se sakuplja od strane opštinskih nadležnih organizacija. Opštinski otpad uključuje sav otpad iz domaćinstava, otpad od čišćenja ulica, kancelarija i određeni komercijalni otpad iz radnji i malih prodavnica koje su pod ugovorom s lokalnom vlašću o sakupljanju otpada.

Prikupljanje komunalnog otpada se vrši na za to određenim mjestima. Kod sakupljanja komunalnog otpada razlikuju se dva osnovna načina:

- 1) Zajednički (sakupljanje svih vrsta otpadaka zajedno i njihova zajednička evakuacija do mjesta tretmana).
- 2) Odvojeni (sakupljanje otpadaka odvojeno po vrstama – staklo, plastika, metali, biootpad i slično, sa specijalnim transportnim sredstvima do mjesta tretmana).

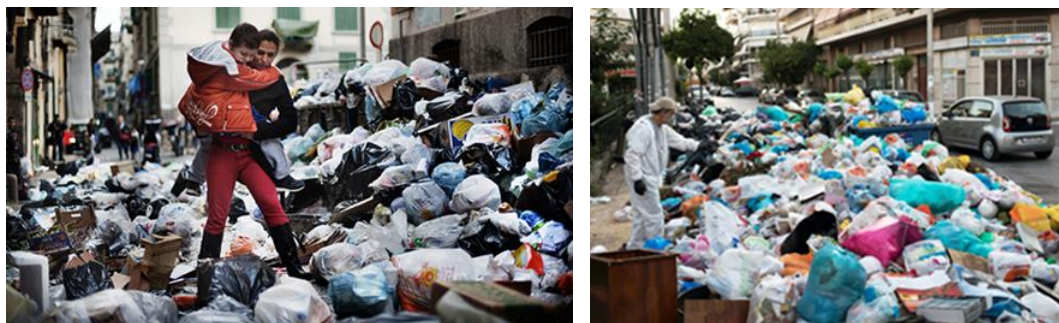
Načini sakupljanja otpada veoma se razlikuju u različitim regionima i zemljama. Usluge sakupljanja kućnog otpada redovno pružaju vlasti lokalne samouprave ili privatne kompanije za komercijalni i industrijski otpad. Neke oblasti i regioni, posebno oni u manje razvijenim zemljama, nemaju formalni sistem za prikupljanje otpada. Sakupljanje sa ivičnjaka (od engl. *curbside collection*) je najpopularnija metoda odlaganja u većini evropskih zemalja, Sjevernoj Americi i mnogim drugim dijelovima razvijenog svijeta, gdje se otpad sakuplja u redovnim intervalima od strane specijalizovanih preduzaća. U nekim ruralnim područjima, sa manjim brojem stanovnika, otpad je potrebno odnijeti ili odvesti do centralnih mjesta za sakupljanje i dalji transport. S druge strane, u urbanim područjima (u razvijenim regionima) sa velikom gustom naseljenosti se koristi sistem s pneumatskim transportom otpada – vacuum sistem, o čemu će više biti riječi u nastavku teksta. U velikom broju regiona miješani komunalni otpad se sakuplja na obodu ulica ili sa stanica za transport otpada i razvrstava u reciklažne materijale i nereciklažni otpad. Takvi sistemi omogućavaju sortiranje velikih količina čvrstog otpada, iskorišćavanje reciklažnih materijala, kao i ostataka otpada u uređajima za kompostiranje, proizvodnju biogasa ili za dobijanje energije. Primjera radi, u San Francisku, lokalna uprava uspostavila je svoj Pravilnik o obaveznom recikliranju i kompostiranju u svrhu postizanja cilja „nula otpada” do 2020. godine, zahtijevajući

od svih proizvođača otpada da reciklažne i kompostabilne proizvode ne odlažu na deponiju (Awuchi, 2020). Stanovnici imaju mogućnost za skladištenje u tri različite kante (za reciklažu, kompostiranje i miješani otpad), a gradski sistem naplaćuje kupcima po količini odbačenog miješanog otpada po principu: „plati koliko baciš“ (engl. „*Pay-As-You-Throw*“), što pruža finansijski podsticaj za odvajanje kompostabilnog otpada i reciklažnih materijala od druge vrste otpada.

Proces evakuacije zavisi od sanitarnih uslova i stanja opremljenosti i uređenosti tretiranih objekata (selo, grad, pojedinačni objekti, ulične površine i dr.). Na osnovu utvrđene količine i sastava otpada, kao i zakonomjernosti njegove izmjene, utvrđuju se i planiraju radnje na sakupljanju i odvozu, te rezervišu adekvatne mašine i uređaji radi obrade, utilizacije (iskorišćavanja) i deponovanja. Ture u kojima se sakuplja otpad se temelje na frekvenciji punjenja kontejnera i kapacitetu vozila, a poboljšanja u službi sakupljanja zavise od poboljšanja u načinu smještanja otpada i nabavke opreme.

Uslugu sakupljanja (i odlaganja) otpada najčešće sprovodi komunalno preduzeće, koje je često nadležno i za ostale opštinske usluge kao što su: čišćenje ulica, održavanje javnih parkova i zelenila i čišćenje snijega. Najveći problem javnih komunalnih preduzeća, u zemljama u razvoju, je nezavidna finansijska situacija, što za posljedicu ima zastarjelu mehanizaciju za sakupljanje i transport otpada, a to utiče i na efikasnost funkcionisanja cjelokupnog sistema upravljanja otpadom.

Moguće posljedice lošeg sistema sakupljanja i transporta otpada, ne samo u pogledu rizika po zdravlje građana, već i potpunog saobraćajnog kolapsa i nefunkcionisanja većine službi u gradu pokazuju primjeri Napulja iz 2010. godine ili Soluna i Atine iz 2017. godine (slika 5.1.).



Slika 5.1. Gomile smeća na ulicama Napulja (2010) i Atine (2017), (nytimes.com)

Poboljšanja u operaciji sakupljanja mogu imati za posljedicu značajnu uštedu u ukupnim troškovima cjelokupnog sistema upravljanja otpadom. U zemljama sa niskim prihodima, poput nekih afričkih zemalja, samo prikupljanje može isprazniti

80–90% ukupnog budžeta za upravljanje otpadom (UNDESA, 2010). Mogućnosti za smanjenje troškova ogledaju se u optimizaciji procesa sakupljanja kroz konkretnu analizu i planiranje ovog složenog procesa (efikasno rutiranje, pravilan izbor učestalosti sakupljanja, optimalan broj radnika), korišćenju adekvatne opreme (izbor posuda za sakupljanje, izbor kamiona odgovarajuće zapremine u konkretnoj situaciji), raspored i pristupačnost kontejnera i kanti, itd. (Cvetanović, 2017).

Planiranje procesa sakupljanja otpada podrazumijeva donošenje odluka u vezi sa sljedećim osnovnim elementima sistema upravljanja otpadom (USAID, 2009):

- 1) Mjesto sakupljanja.
- 2) Metod sakupljanja.
- 3) Vrste kanti i kontejnera za prikupljanje otpada.
- 4) Učestalost (frekvencija) sakupljanja.

Pri planiranju procesa sakupljanja otpada se mora voditi računa o usaglašenosti sa zakonima i uredbama u ovoj oblasti, rentabilnosti procesa, bezbjednosti, efikasnosti, kompatibilnosti sa životnom sredinom, itd. Postoji komunalni otpad koji se ne može uklopiti u konvencionalni sistem sakupljanja otpada, jer neke vrste otpada mogu da zahtijevaju specijalne sisteme sakupljanja, kao npr. kabasti otpad (namještaj, kućni aparati i auto dijelovi, koji zbog njihove zapremine/veličine zahtijevaju specijalno sakupljanje i upravljanje), otpad od izgradnje i rušenja (građevinarstvo), biljni organski otpad iz dvorišta, opasan otpad iz domaćinstava...

5.1.1. Mjesto sakupljanja

U zavisnosti od stepena razvoja sistema upravljanja otpadom i od zainteresovanosti generatora (proizvođača) otpada da se posvete primarnoj separaciji, postoji više načina prikupljanja otpada:

- 1) Sa centralizovane lokacije za sakupljanje otpada.
- 2) Uz zgradu ili duž ulice.
- 3) Sakupljanje od vrata do vrata (*door to door*).
- 4) Prikupljanje u reciklažnim dvorištima.
- 5) Sistem s pneumatskim transportom otpada – vakuum sistem.

U različitim državama ovi principi su se različito pokazali i u zavisnosti od toga i zaživjeli. Prikupljanje u reciklažnim dvorištima i sistem s pneumatskim

transportom otpada (vakuum sistem) su novijeg datuma i sve više se primjenjuju, posebno u razvijenim državama.

5.1.1.1. Sakupljanje sa centralizovane lokacije – putem kontejnera

Sakupljanje otpada sa centralizovane lokacije podrazumijeva upotrebu velikih komunalnih kontejnera za sakupljanje otpada, obično na javnom zemljištu, pa na prvi pogled ovaj princip sakupljanja otpada izgleda vrlo prihvatljiv i ekonomski opravdan. Međutim, dešava se da proizvođači otpada ne prihvate ovaj princip sakupljanja zbog prevelike udaljenosti kontejnera od mjesta nastanka otpada, kada dolazi do nekontrolisanog odlaganja na mjestima koja su pogodnija za proizvođača otpada, što rezultira nastavljanjem problema u procesu sakupljanja. Kod ovakvog načina sakupljanja postoji potencijalni negativni uticaj na životnu sredinu, zbog pojave preliivanja otpada iz kontejnera, što privlači: insekte, ptice, glodare, pse i mačke, a koji mogu kasnije biti prenosioci zaraze.

U slučajevima kada se komunalni otpad skladišti izvan zgrada, veliki problem predstavlja tačno lociranje mjesta ili punktova za sakupljanje otpada, jer obično dijelovi visokog stepena naseljenosti su ispunjeni drugim pratećim sadržajima do te mjere da nekad nema slobodnog prostora za lociranje potrebnih punktova.

Često je onemogućeno čišćenje i pranje okolnog prostora koji je obično kontaminiran od procjednih tečnosti iz otpada koje stvaraju neprijatan miris, a prateća pojava je rasuti otpad pored kontejnera koji stvara slične poteškoće. Neugledni nefunkcionalni kontejneri i otvorena nekontrolisana smetlišta predstavljaju dva osnovna vida nepoželjnog skladištenja (slika 5.2. lijevo).

Mjere koje je potrebno sprovesti za zaštitu životne sredine, prilikom postavljanja kontejnera su:

- 1) Kontejnere treba smjestiti na posebno izrađene betonske platoe, ograđene različitim tipovima ograde i natkriveni, u zavisnosti od položaja, zaštitnih, higijenskih i estetskih zahtjeva (slika 5.2. desno).
- 2) Platoe treba postaviti tako da zadovoljavaju uslove saobraćaja (plato ne smije biti na rastojanju većem od 15–20 m od saobraćajnice kojom se kreće kamion za odvoz otpada), vodovoda i kanalizacije, elektroenergetike, TT i toplifikacije, sa ciljem da zadovolje potrebe građana, u skladu sa rasporedom stambenih i stambeno-poslovnih objekata.
- 3) Platoe treba izrađivati sa nagibom od 2%, zbog slivanja vode nakon pranja platoa i kontejnera, a površina mora biti lako periva.

4) Broj potrebnih kontejnera određuje se prema formuli:

$$N = \frac{O * S * D}{V * k} \quad (5.1.)$$

Gdje je:

- N – broj potrebnih kontejnera,
- O – količina otpada (m^3 /dan/stanovniku),
- S – broj stanovnika određen za sabirni punkt,
- D – broj dana između dva odvoza otpada,
- V – zapremina kontejnera (m^3),
- k – koeficijent popunjenosti kontejnera (obično 0,8).

5) Za održavanje higijene platoa i kontejnera, predlažu se sljedeći elementi:

- a) Priključak na vodovod sa vodomjerom i crijevom pogodnim za pranje platoa i kontejner.
- b) Priključak na mješovitu ili fekalnu kanalizaciju.
- c) Odgovarajući slivnik koji će spriječiti zagušenje najbližih uličnih slivnika.

6) Za pranje kontejnera potrebno je na njima obezbijediti otvor sa zapašaćem, kakav postoji na kontejnerima novije konstrukcije. Pranje treba obavljati neposredno posle pražnjenja kontejnera, periodično svakih mjesec dana, a po potrebi i češće. Pranje platoa obavljati jednom nedjeljno.

7) U ulicama gde je zastupljeno individualno stanovanje treba insistirati na uvođenju manjih posuda, a po potrebi i pojedinačno za svako domaćinstvo.



Slika 5.2. Primjer loše prakse pri postavljanju kontejnera na trotoare (Banjaluka, 2021), lijevo i dobre prakse sa prekrivenim boksovima za smještaj kontejnera (Pale, 2020), desno

U slučajevima kada gustina zgrada sprečava pristup vozilima za prikupljanje otpada, centralizovane lokacije za prikupljanje otpada treba da budu posljednja

opcija. U ovakvom sistemu sakupljanja, vrlo dobro su se pokazali podzemni kontejneri.

5.1.1.2. Sakupljanje uz zgradu ili duž ulice

Ovaj način sakupljanja podrazumijeva sakupljanje iz kontejnera ili kanti postavljenih izvan ili uz zgrade i smatra se prihvatljivom opcijom sakupljanja ukoliko se obezbijede adekvatni kontejneri za otpad i učestalost usluge (može se desiti da neki otpaci ostanu napolju oko kontejnera, ako učestalost usluge nije adekvatna).



Slika 5.3. Kante za reciklabilni i nereciklabilni otpad, „Univerzitetski grad”, Banjaluka, 2021.

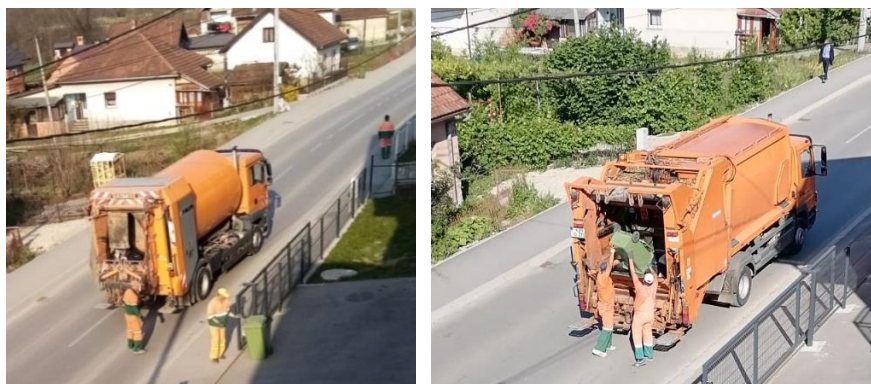
Korisnici istresaju smeće/otpad u zajedničke posude/kontejnere postavljene uz rub ulice ili unutar naselja, s uspostavljenim sistemom odvojenog odlaganja ili bez njega (slika 5.3.). Na tržištu postoji cijeli niz različitih rješenja posuda, oblika kontejnera i načina njihove ugradnje ili pražnjenja (slika 5.4.). U ovom sistemu, vozilo za sakupljanje putuje na redovnoj liniji prema ugovorenoj frekvenciji i prema utvrđenom rasporedu.



Slika 5.4. Eko ostrvo u Banjaluci (2007), lijevo i (2021), desno

5.1.1.3. Sakupljanje „od vrata do vrata” (*door to door*)

Ovaj sistem sakupljanja je vrlo efikasan, uz uslov da proizvođači otpada poštuju pravila (ostavljaju svoj otpad u plastične kese ili male kontejnere, u zakazano vrijeme na zadato mjesto, tj. ispred vrata). Međutim, ovaj sistem nije ekonomičan jer zahtijeva najviše opreme i radne snage, te se ubraja u skuplje varijante sakupljanja. Prednost ovog sistema sakupljanja je mogućnost odvajanja pojedinih frakcija otpada već u domaćinstvima u posebne kese ili kante (najčešće tri – miješani otpad, suhe reciklažne materijale i biološki razgradljiv otpad). Ovakav sistem razdvajanja otpada na mjestu nastajanja i prikupljanje pojedinih vrsta otpada omogućava plaćanje naknade prema količini generisanog otpada pri čemu se stimuliše manja produkcija otpada, u skladu sa principom hijerarhije otpada, tj. smanjenja otpada na izvoru. Što se tiče prihvatljivosti za životnu sredinu, ovaj sistem je najprihvatljiviji, jer postoji kontrola otpada na izvoru. Kod ovog tipa sakupljanja otpada, vlasnik kuće je odgovoran za postavljanje vreća ili kanti koje će biti ispražnjene na dan sakupljanja, kao i vraćanje praznih kanti na njihovo mjesto skladištenja do sljedećeg prikupljanja (slika 5.5).



Slika 5.5. Sakupljanje od vrata do vrata (Banjaluka, 2022)

5.1.1.4. Prikupljanje u reciklažnim dvorištima

Reciklažna dvorišta su uređena i opremljena mjesta za savremeno sakupljanje razdvojenih komponenti komunalnog otpada iz domaćinstava, javnih ustanova i pogona. To je kontrolisani ograđeni prostor namijenjen odvojenom prikupljanju i privremenom skladištenju manjih količina posebnih vrsta otpada, kao i problematičnog/opasnog otpada iz domaćinstava. Reciklažna dvorišta su organizovana na pogodnim mjestima u gradskim četvrtima sa kompletnom infrastrukturom (kvalitetni pristupni putevi, nadstrešnice i sl.) ili na lokaciji

sanitarne deponije sa već izgrađenom infrastrukturom, što je ekonomski povoljnije. U reciklažnim dvorištima postavljene su razne vrste i veličine kanti i kontejnera za odlaganje pojedinih korisnih komponenti iz kućnog i njemu sličnog otpada. Izmiješani kućni otpad, odnosno smeće, ne smije se odložiti u reciklažnom dvorištu. Uslov za uspješno korišćenje reciklažnih dvorišta je ispravno odvojeno prikupljanje otpada u domaćinstvu. Sve odvojene sakupljene korisne komponente otpada iz reciklažnog dvorišta upućuju se na postupke reciklaže u odgovarajuća postrojenja.

Građani u reciklažnim dvorištima mogu odložiti brojne vrste otpada, npr.: papir, karton, plastiku, staklenu i metalnu ambalažu, ravno staklo, limenke, stiropor, stare baterije, PET boce, otpadne gume, krupni/glomazni otpad, elektronski otpad, akumulatore, fluorescentne cijevi, stare lijekove, otpadna motorna i jestiva ulja, nauljenu ambalažu, te ambalažu kontaminiranu opasnim materijama (boje, lakovi, rastvarači, razne hemikalije i sl.)²² iz domaćinstava. Opasne komponente otpada nije dozvoljeno miješati u jednoj kanti ili kontejneru, zbog mogućnosti međusobnih reakcija, pri čemu mogu nastati štetni gasovi i tečnosti.

Za vrste i količine korisnih komponenti otpada koje se odvojeno sakupljaju u domaćinstvima, prilagođena su i opremljena reciklažna dvorišta prema zahtjevima oblasti sakupljanja u gradovima i naseljima. Reciklažna dvorišta bitna su ne samo zbog sakupljanja otpada za reciklažu, već i zbog izbjegavanja stvaranja divljih deponija, koje često nastaju zbog neprihvatanja glomaznog otpada od strane komunalnih preduzeća i drugih ovlašćenih sakupljača otpada. U većini evropskih zemalja glomazni otpad se uopšte ne sakuplja, već su građani dužni ostaviti ga u reciklažnim centrima. Ipak, tamo ih je dovoljan broj, pa građani ne trebaju ići daleko od kuće kako bi odložili otpad.

²² Otpadna jestiva ulja mogu se iskoristiti (npr. u proizvodnji biodizela), te se time potpuno izbjegava zagađenje voda i troškovi čišćenja otpadnih voda.

- 1) Sredstva za čišćenje šporeta, pećnica i roštilja mogu sadržavati baze i organske rastvarače i zato se ne smiju izljevati u odvod ili odlagati u kućni otpad.
- 2) Hemijska sredstva za čišćenje podova i namještaja mogu sadržavati organske rastvarače i aromatične ugljikovodonike.
- 3) Baterije i akumulatori mogu sadržavati teške metale koji direktno ugrožavaju životnu sredinu i zdravlje ljudi (živa je npr. jaki nervni otrov, a kadmijum ugrožava jetru, pluća i kosti).
- 4) Sredstva za odstranjivanje mrlja mogu sadržavati hlorovane ugljikovodonike (najmanja bočica takve tečnosti dovoljna je da zagadi milion litara pitke vode).



Slika 5.6. Reciklažno dvorište u Pločama sa presom za baliranje otpada (ploce.com.hr)



Slika 5.7. Vaga za mjerenje težine dopremljenog otpada u reciklažno dvorište

Reciklažna dvorišta se odavno koriste u razvijenim zemljama Zapadne Evrope. I u zemljama u okruženju je u proteklom periodu izgrađen veći broj reciklažnih dvorišta. Na ovoj lokaciji često se nalazi i presa za otpad, namijenjena za baliranje (slika 5.6.), čime se olakšava transport tog otpada, kao i vaga za mjerenje težine dopremljenog otpada u reciklažno dvorište (slika 5.7.). U reciklažnom dvorištu smještena je i stanica za odlaganje starih akumulatora, starog ulja i korišćenih filtera za ulje. Na ovoj lokaciji mogu da se odlažu i stare gume, kao i školjke automobila. Građani koji imaju veće količine ovog otpada mogu ga donijeti i za to dobiti odgovarajuću novčanu nadoknadu.

Prikupljeni glomazni otpad najprije se sortira zavisno od vrste (gume, mašine za pranje veša, hladnjaci, itd.) te privremeno skladišti do daljnjeg zbrinjavanja kod ovlaštenih firmi za recikliranje glomaznog otpada. U natkrivenom dijelu uglavnom se nalaze otvoreni kontejneri, automatska presa/balirka i izdvojeni prostor za privremeno odlaganje opasnih komponenata komunalnog otpada. Ta izdvojena površina mora imati posebnu opremu poput eko-kontejnera, spremnika za akumulatore, te set za zaštitu od požara. Na nenatkrivenom dijelu reciklažnog dvorišta smještaju se zatvoreni kontejneri s poklopcima, odnosno otvorima za ubacivanje otpada.

Mobilna reciklažna dvorišta su pokretne jedinice namijenjene za odvojeno prikupljanje i skladištenje manjih količina iskoristivih i drugih vrsta otpada iz domaćinstava (slika 5.8.). Uloga mobilnih reciklažnih dvorišta je da budu dostupna svim građanima koji mogu predati manje količine otpada bez naknade. U mobilno reciklažno dvorište mogu se odložiti: rastvarači, kiseline, baze, fotohemikalije, pesticidi, fluo-cijevi, ulja i masti, boje, štamparske boje, ljepila i smole, deterdženti, citotoksici i citostatici, baterije i akumulatori, manja električna i elektronska oprema, drvo i ambalaža koja sadrži opasne materije, metalna ambalaža, papir i karton, ambalaža od metala, staklena ambalaža, staklo ravno, auto

staklo, ambalaža od plastike, plastika, odjeća, tekstil, jestiva ulja i masti, lijekovi, glomazni otpad i sl. Mobilna reciklažna dvorišta mogu da imaju solarne module koji osiguravaju snabdijevanje električnom energijom. Opremljena su sa sanitarnim čvorom, umivaonikom, aparatom za gašenje požara te ormarićem za prvu pomoć. Mobilno reciklažno dvorište opremljeno je opremom za vaganje prikupljenog otpada te ima radnika koji je zadužen za vaganje, odlaganje i vođenje evidencija o vlasniku otpada. Vlasnik otpada ima pravo na isplatu povratne naknade kao stimulativnu mjeru za razdvajanje otpada.



Slika 5.8. Mobilno reciklažno dvorište (KOVA, 2022)

5.1.1.5. Sistem s pneumatskim sakupljanja otpada – vakuum sistem

Ubrzano širenje urbanih površina i nedostatak slobodnih površina za mnoge aktivnosti, pa time i sakupljanje otpada, naveo je urbaniste da se sve više okreću korišćenju podzemnog prostora, nudeći rješenje pomjeranja infrastrukture za sakupljanje otpada ispod površine zemlje. Automatizovani vakuum (pneumatski) sistemi za sakupljanje otpada ide korak dalje od podzemnih samostojećih sistema.

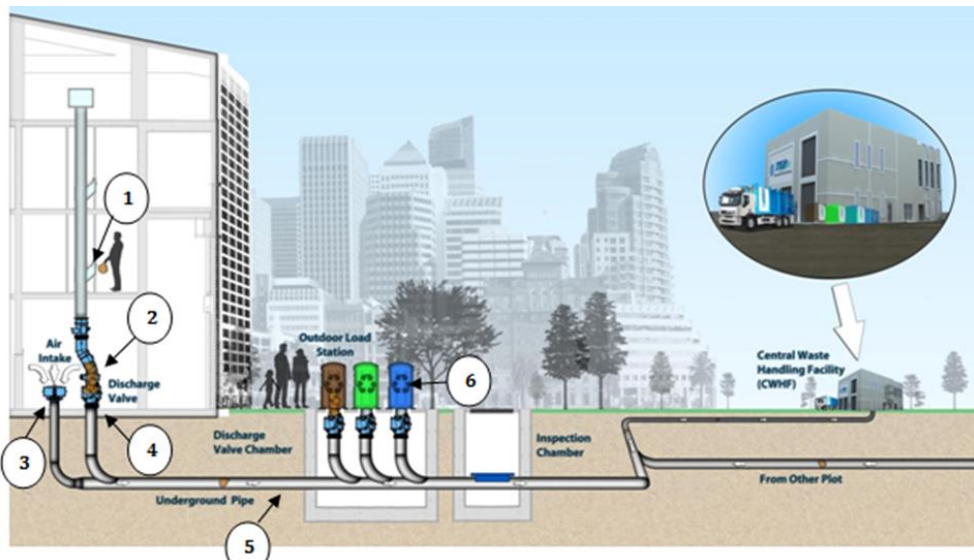
Pneumatski sistem za prikupljanja otpada (vakuum sistem) funkcioniše na način da se otpad odlaže kroz otvore u posebne podzemne kontejnere, a zatim se u određenim vremenskim intervalima odvija njihov automatizovani transport, usisavanjem kroz podzemnu cijevnu infrastrukturu prema centralnom objektu pomoću vakuum tehnologije. Tamo se otpad sortira i odlaže u velike kontejnere, da bi se odvezio konvencionalnim metodama (kamionima) za daljnju obradu, recikliranje, spaljivanje ili odlaganje na deponije.

Automatizovani vakuum sistem za sakupljanje otpada uključuje sljedeće dijelove (slika 5.9.):

- 1) Cijevi za prijem otpada u sistema.
- 2) Prostor za skladištenje otpada između transportnih ciklusa – usisavanja.

- 3) Primarni dovod vazduha (priključak koji stvara brzu vazдушnu putanju u mreži cijevi).
- 4) Ispusni ventil koji se povremeno otvara kako bi omogućio kretanje otpada.
- 5) Transportne cijevi između skladišnih komora i centra za upravljanje otpadom.

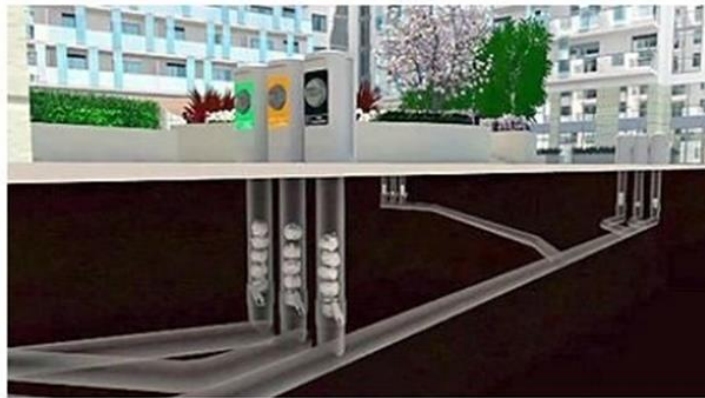
Kontejneri na javnim površinama za prikupljanje otpada (mogu primiti manje količine otpada i sprovesti ga u sistem).



Slika 5.9. Pneumatski sistem prikupljanja otpada (Stream environment, 2020)

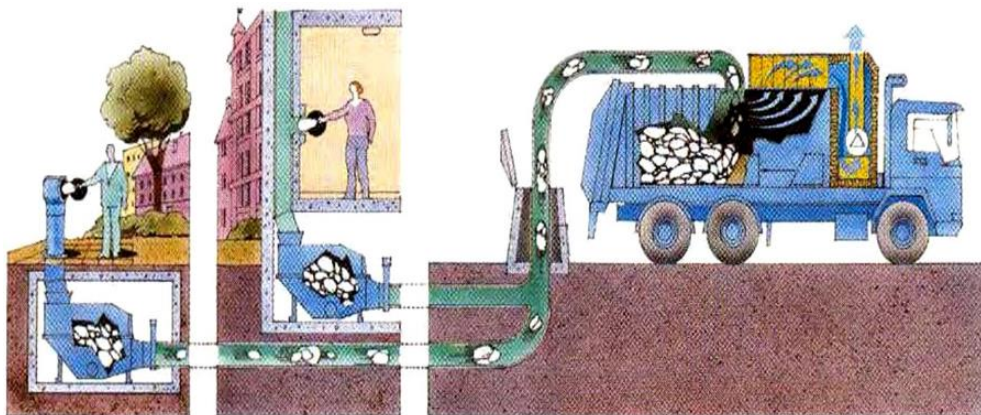
Metoda se može definisati kao pneumatski kanalizacioni sistem u koji se komunalni otpad automatski sakuplja i odvozi (slika 5.10.). To znači da nema potrebe za ručnim sakupljanjem iz podzemnih kontejnera pomoću kamiona i radne snage. Umjesto toga, kamioni se koriste samo od centralnog objekta nadalje. Međutim, sistem je neprikladan za velike predmete, opasni otpad, otpadnu električnu opremu i tečni otpad. Centralna postojenja za iskorišćavanje otpada (centri za upravljanje otpadom) mogu se zasnivati na svim vidovima korišćenja otpada (recikliranje, kompostiranje, prerada otpada u gorivo i dr.)

Automatizovani vakuum sistem je primjenljiv u razvijenim državama, za: velike gradove, stambene četvrti, trgovačke centre i slično. Sistem pneumatskog prikupljanja otpada podrazumijeva i odgovornost pojedinca: o načinu upotrebe sistema, o vrsti, sastavu i veličini frakcija otpada koje se mogu ubacivati u sistem. Neugodni mirisi i sitne čestice u cjevovodu uklanjaju se ugrađenim filter sistemima za prečišćavanje vazduha u sistemu, prije nego se ispusti u životnu sredinu.



Slika 5.10. Detalj kretanja otpada kod pneumatskog sistema prikupljanja otpada (HEBA MEGA, 2020.)

Pneumatski sistem nudi veliku fleksibilnost u postavljanju kontejnera za otpad. Mogu se postaviti na javna mjesta ili čak u kuće ili stambene zgrade. U nedostatku cjevovodne infrastrukture dostupne su pokretne vakumske jedinice (ugrađene u kamione) koje usisavaju otpad iz podzemnih kontejnera i odvoze ih na obradu (slika 5.11.). Pokretne vakumske jedinice se takođe koriste u uslovima kada se posude za prikupljanje otpada nalaze na nepristupačnim mjestima gdje se sistem može prazniti jedino „usisavanjem“ otpada (slika 5.12.). U tom slučaju, udaljenost posude od vozila je maksimalno 100 m.



Slika 5.11. Pokretne vakumske jedinice koje olakšavaju rukovanje otpadom iz podzemnih kontejnera (ISWA Report, 2013)

Automatizovani vakuum (pneumatski) sistemi za sakupljanje otpada pružaju integrisani okvir za rješavanje problema sa otpadom, jer ne samo da obezbijeduju

privremeno skladištenje, već se i prevoz otpada odvija podzemnom cjevovodnom mrežom do centralnog objekta (sabrne stanice) za prikupljanje otpada²³.

Glavna korist od korišćenja ovog sistema je minimalni operativni trošak za zbrinjavanje otpada. Naravno, potrebna su veća početna ulaganja (Teerioja et al., 2012), ali ekonomičniji rad sistema može dugoročno otplatiti taj nedostatak (Honkio, 2009).



Slika 5.12. Prikupljanje otpada pomoću vozila s vakuumom (Aerbin, 2019)

Automatizovani vakuum sistemi pružaju atraktivnu alternativu konvencionalnom sakupljanju otpada na vozilima, jer nude prednosti u pogledu smanjenih problema povezanih sa saobraćajem, poput buke, nesreća, emisije CO₂, zagušenja i poboljšavaju ukupni nivo sigurnosti i higijene. Ovo ubrzava cijeli proces odvoza smeća, posebno u slučajevima kao što je velika gustina naseljenosti, omogućavajući istovremeno nesmetan rad sistema čak i u teškim situacijama bilo kao rezultat teških vremenskih uslova ili spoljnih događaja (npr. štrajkovi, protesti itd.).

Podzemni automatizovani vakuum sistem za prikupljanje otpada pušten je u rad početkom 1970-ih u Diznilendu na Floridi, i bio je prva podzemna šema za prikupljanje otpada ikad korišćena u SAD, a ujedno i u svijetu. Ovaj sistem je razvijen i na ostrvu Ruzvelt (Njujork), Abu Dabiju (UAE), Barseloni, Stokholmu (slika 5.13.), Hong Kongu (slika 5.14.) i mnogim drugim gradovima u Francuskoj, Velikoj Britaniji, Portugalu i dr.

²³ Skoro pola vijeka, komunalnim otpadom na ostrvu Ruzevelt (u blizini Njujorka) rukuje se automatizovanim sistemom s pneumatskim sakupljanjem otpada, bez potrebe za kamionskim transportom.



Slika 5.13. Sabirne tačke automatizovanog vakuum sistema integrisane u gradsko okruženje Štokholma (Envacgroup, 2012)



Slika 5.14. Unutrašnji izgled podzemnog kanala i procesnih instalacija u centralnoj podzemnoj stanici u Hong Kongu (ISWA Report, 2013)

5.1.2. Metod sakupljanja

Sakupljanje čvrstog otpada uključuje pružanje usluge i izbor odgovarajućih tehnologija. Način usluge utvrđen je sporazumom između proizvođača otpada i sakupljača, a izvođač bira tehnologiju koja će se koristiti za prikupljanje. Način sakupljanja bitno utiče na kvalitet reciklabilnih sirovina, komposta i količinu energije koja se može proizvesti u sistemu upravljanja otpadom. Osim toga, treba naglasiti da su zaposleni na sakupljanju otpada izloženi značajnim zdravstvenim rizicima zbog radnih opterećenja (izloženost velikoj težini), isparljivih komponenti otpada, otrovnih, pa čak i potencijalno infektivnih otpadnih materija.

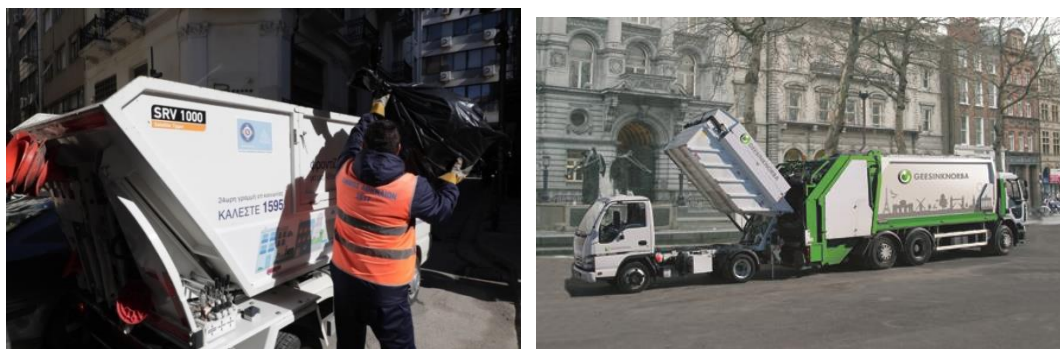
Postoji tri metoda sakupljanja otpada:

- 1) Manuelno (ručno),
- 2) Poluautomatizovano,
- 3) Automatizovano.

Sakupljanje može biti u obliku procesa pražnjenja bez pomjeranja kante ili kontejnera (istresanje), zatim zamjena za drugi prazni kontejner (razmjena) ili proces odvoza punog kontejnera na drugo odredište. Samo se prvi oblik pražnjenja može smatrati ručnom metodom. Sve ostale metode su mehaničke, označene u literaturi kao poluautomatski ili automatski sistem za prikupljanje otpada. Sakupljanje čvrstog otpada je intenzivan posao, često zahtijeva troje radnika po vozilu za podizanje i pražnjenje kontejnera.

5.1.2.1. Manuelno (ručno) sakupljanje

Kod ovog metoda, radnici nose otpad od mjesta privremenog odlaganja (npr. ispred kuće) do vozila za sakupljanje, gdje ručno istovaraju otpad u vozilo za sakupljanje, bez korišćenja bilo kakve mehaničke opreme za utovar. Ručno sakupljanje se koristi u dijelovima naselja u kojima je količina preuzimanja na svakoj lokaciji mala, a vrijeme utovara kratko. Sa aspekta rentabilnosti ovo je vrlo skup metod sakupljanja jer zahtijeva znatne resurse radne snage i opreme, pri čemu je njihovo korišćenje uglavnom neefikasno (naročito u visokim zgradama) (Cvetanović, 2017). Manuelno sakupljanje se primjenjuje i u uskim ulicama, tržnicama, trgovima ili prolazima, gdje je moguć pristup samo manjim (satelitskim) vozilima (slika 5.15. lijevo) na koje radnici ručno odlažu otpad na kontejner smješten na vozilu. Kada se završi utovar, satelitsko vozilo se vozi do vozila za sakupljanje, gdje se kontejner mehanički izbacuje u veći kamion (slika 5.15. desno).



Slika 5.15. Satelit vozilo za ručno sakupljanje otpada (lijevo) iz kojih se mehanički prebacuje otpad u veći kamion (desno) (Smart Cities World, 2020)

5.1.2.2. Poluautomatizovano

Upotreba vozila za skupljanje otpada, sa zadnjim ili bočnim utovarivačem, kao glavne metode koja se koristi u transportu i premještanju čvrstog otpada više nije nova, čak ni u zemljama u razvoju. Međutim, ova metoda uključuje brojnu radnu snagu (3 radnika, od kojih je jedan vozač), grozan smrad i prosipanje toksičnih ispiranja. Ovaj metod zahtijeva korišćenje specijalizovanih kontejnera za držanje otpada, koji mogu manuelno da se pomijeraju (vuku na točkovima) do vozila za sakupljanje (ili da vozilo za sakupljanje dođe do kontejnera, ako je prevelik za pomjeranje) da bi se mehanički (hidraulički) ispraznio (slika 5.16.). Ovaj metod je

rentabilan jer je potrebno mnogo manje manuelnog rada, a mehaničko pražnjenje snižava troškove.



Slika 5.16. Polautomatizovano sakupljanje otpada – Banjaluka (2022)

5.1.2.3. Automatizovano

Moderniji oblik vozila za sakupljanje otpada uključuje mehanizme za dizanje kante i kontejnera za otpatke tako da se eliminiše upotreba ljudskog rada. Za prikupljanje miješanog komunalnog otpada ili selektivno prikupljenog otpada u upotrebi su novije konstrukcije vozila sa automatskim zadnjim (slika 5.17.), bočnim (slika 5.18.) i prednjim utovarom (slika 5.19.). Mehaničko pražnjenje kontejnera u vozilima za prikupljanje je metoda smanjenog rizika u odnosu na ručno rukovanje, zbog izbjegavanja podizanja i pražnjenja kontejnera. Dokazano je da automatizovano sakupljanje značajno smanjuje ozljede radnika, što rezultira smanjenim troškovima za kompenzacije radnika, smanjenjem zahtjeva za invaliditet, smanjenjem broja dana na bolovanju i smanjenjem troškova naknada na plate (Rogoff et al., 2010).



Slika 5.17. Vozilo za sakupljanje otpada sa zadnjim utovarom (MAG Centar, 2012.)



Slika 5.18. Vozilo za sakupljanje otpada sa bočnim utovarom (AD „Čistoća”, Banjaluka, 2019.)



Slika 5.19. Vozilo za sakupljanje otpada sa prednjim utovarom (Tnq hydraulics, 2017)



Slika 5.20. Vozilo za prikupljanje otpada s dvije komore („Flora”, Virovitica, 2010)

Savremeno vozilo za prikupljanje otpada ne mora imati samo dobar efekat, maksimalan kapacitet i stabilnost, već i ekološki sistem za odvojeno sakupljanje različitih vrsta otpada (npr. miješanog komunalnog i izdvojenog korisnog otpada). Za takve potrebe dizajnirano je vozilo za prikupljanje otpada s dvije komore (slika 5.20).

Osnovni nedostatak automatizovanog sakupljanja su veći inicijalni troškovi nabavke specijalizovanog vozila i obezbjeđivanje odgovarajućih kontejnera za vlasnike kuća.

Možda je budućnost sakupljanja otpada pneumatski sistem prevoza otpada, koji se takođe naziva i automatizovani sistem odvoza otpada (*Automated Waste Collection System – AWCS*), o čemu je već bilo riječi u prethodnom dijelu teksta. Ovaj sistem sastoji se od mreže podzemnih cijevi koje prevoze otpad velikom brzinom (60–70 km/sat) do određenog mjesta za prikupljanje otpada bez ljudske intervencije. Primjena ovog sistema uštedit će puno resursa kao što su troškovi osoblja, otpadnih vozila i goriva. Takođe će smanjiti emisiju ugljen-dioksida u atmosferu kao rezultat smanjenog prometa otpadnih vozila. Međutim, u zemljama u razvoju tehničke i finansijske sposobnosti za uključivanje, rad i upravljanje takvim sofisticiranim automatskim sistemima mogu biti još decenijama daleko.

5.1.3. Vrste kanti i kontejnera za prikupljanje otpada

Da bi se otpad upješno prikupio od strane komunalnih preduzeća, potrebno ga je skladištiti u adekvatne posude. Na tržištu postoji cijeli niz različitih rješenja posuda, oblika i veličina kontejnera i načina njihove ugradnje i pražnjenja. Sama konstrukcija kante, poklopca i točkova omogućava lakši manevar i manji broj radnika koji rade na prikupljanju otpada. Kante su najčešće zapremine od 120 i 240 litara. Kante i kontejneri mogu se koristiti za odlaganje miješanog otpada ili razvrstanog na mjestu nastajanja. Zbog razvrstavanja otpada na mjestu nastajanja, kante i kontejneri se proizvode u različitim bojama sa oznakama za predviđeni otpad (papir, staklo, metal, organski otpad, plastika, e-otpad i dr.), (slika 5.21.).



Slika 5.21. Kante za selektivno prikupljanje otpada (Waste management – vector, 2019)

Za sakupljanje otpada uglavnom se koriste kontejneri koji se prema načinu rada mogu klasifikovati u dvije kategorije: prenosivi kontejneri i stacionarni kontejneri. Prenosivi kontejneri su većih dimenzija (5 m^3 i 7 m^3) i idealni za mjesta na kojima je brzina nastajanja otpada velika, kao što su tržni i poslovni centri, industrijska postrojenja, kao i mjesta gdje se sakuplja otpad od gradnje ili rušenja (kabasti otpad). Za njihovo pražnjenje koriste se specijalna vozila sa funkcijom zamjene kontejnera, tzv. „autopodizači“ (slika 5.22.), koja služe za prevoz kontejnera većih od 5 m^3 .

Ukoliko se otpad sakuplja u stacionarne kontejnere koriste se različiti tipovi vozila, a skoro sva vozila danas imaju sistem za kompaktiranje – sabijanje (rotacione prese ili pravolinijski sistem ploča). Stacionarni kontejneri ostaju na mjestu sakupljanja otpada. Vozila za sakupljanje uglavnom se zaustavljaju pored kontejnera, a radnici otpremaju otpad iz skladišnih kontejnera u sakupljačka vozila i zatim odvoze otpad na mjesto za preradu, iskorišćavanje ili odlaganje. Stacionarni kontejneri mogu

biti različitih zapremina (najčešće: $V=1,1 \text{ m}^3$) i napravljeni od različitih materijala, a najčešće limeni, pocinčani ili plastični (HDPE) (slika 5.4.). Kontejneri su napravljeni u standardnim bojama prema vrsti otpada za koji su namijenjeni. Komunalni otpad iz domaćinstava u prigradskim naseljima i ruralnim dijelovima opština stanovništvo odlaže i u plastične vreće koje samo nabavlja.



Slika 5.22. Vozilo za prevoz prenosivih kontejnera – autopodizač (Tehnoeko, 2020)

U gradovima se često javlja problem lociranja mjesta ili punkta za sakupljanje otpada, jer obično dijelovi visokog stepena naseljenosti ispunjeni su do te mjere drugim pratećim sadržajima da jednostavno nekad nema slobodnog prostora za lociranje i postavljanje potrebnih punktova.

Širom svijeta postoje pokušaji poboljšanja sakupljanja otpada, ulažu se naponi da se odmakne od starijih sistema prikupljanja i transporta otpada ulicama do odvoza otpada podzemnim kanalom. Jedan od načina da se poboljša ovaj sistem je pneumatskog sistema sakupljanja i transporta otpada, o čemu je bilo riječi u predhodnom dijelu teksta. Ovaj sistem se sastoji od mreže podzemnih cijevi koje prevoze otpad velikom brzinom (60–70 km/h) do određenog mjesta za prikupljanje otpada bez ljudske intervencije. Primjena ovog sistema uštedila bi mnogo resursa kao npr. troškova osoblja, otpada i troškova goriva. Takođe bi smanjili emisiju ugljen-dioksida i drugih aeropolutanata u atmosferu kao rezultat smanjenog broja vozila za prevoz otpada.

5.1.3.1. Podzemni kontejneri

Upotreba podzemnih (i polupodzemnih) sistema za prikupljanje komunalnog (gradskog) otpada široko je uvedena u evropskim metropolama i drugim urbanim sredinama u posljednje 2 decenije. Glavna razlika koju ovi sistemi imaju u odnosu na tipično prikupljanje putem nadzemnih kontejnera je ta što se kontejneri za smeće

postavljaju većim dijelom pod zemlju na unaprijed fiksirana mjesta, u obliku stalne infrastrukturne mreže, kako bi se olakšale aktivnosti sakupljanja otpada.

Kontejneri za otpad su najčešće u obliku cilindričnog oblika, kao što je prikazano na slici 5.23., a obično su postavljeni duž putnih pravaca. Kapacitet ovih kontejnera kreće se od 0,6 do 5 m³. Sistem se sastoji od dva dijela, spoljne školjke i unutrašnje kese u koju se smješta otpad. Njihov veći dio je zatrpan pod zemljom, dok je iznad nivoa zemljišta vidljiva samo ulazna struktura karakterističnog oblika. Sakupljanje i transport otpada vrši se upotrebom posebno prilagođenih kamiona (slika 5.24.).



Slika 5.23. Različite dimenzije polupodzemnih kontejnera (Molok Oy, 2012)



Slika 5.24. Pražnjenje podzemnih kontejnera (Moloc, 2018).



Slika 5.25. Hidraulično podignuti podzemni kontejneri, spremni za proces pražnjenja (Compoman, 2021).



Slika 5.26. Polupodzemni kontejner za selektivno prikupljanje otpada - Makarska (2021)

Sakupljanje otpada u podzemnim posudama pokazalo se kao pogodno rješenje iz sljedećih razloga:

- 1) Prednost iz higijensko – sanitarnih razloga (onemogućeno je rasipanje, te znatno otežan pristup životinjama, kao potencijalnim prenosnicima zaraze).
- 2) Stalni temperaturni uslovi, usporavanje razvoja bakterija i kontrola problema s mirisom, posebno u ljetnom vremenu.
- 3) Prednost iz vizuelno – estetskih razloga.
- 4) Bolje rješenje za centralne dijelove grada.
- 5) Obezbeđenje većeg broja parking mjesta, kao i pješačkih prolaza u centralnim zonama grada.
- 6) Veliki kapacitet (veća zapremina, samosabijanje smeća usljed gravitacije).
- 7) Zamjenjuju i do pet standardnih kontejnera od 1,1 m³.
- 8) Omogućuju rjeđe pražnjenje.



Slika 5.27. Podzemni kontejneri sa pražnjenjem sa dizalicom (LPUO grada Beograda, 2012)

Gore navedene karakteristike omogućavaju smanjenje operativnih troškova (prevoz, radna snaga itd.) u rasponu od 5% do 30%. Za manipulaciju nisu potrebna visoko sofisticirana vozila, već vozilo s kranom kakvo posjeduje većina komunalnih poduzeća.

Novija generacija podzemnih kontejnera radi na principu hidrauličnog dizanja. Otpad se prikuplja i akumulira u standardnim kontejnerima za otpad postavljenim na podiznoj platformi spuštеноj u zatvoreni podzemni prostor. Rukovanjem mehanizma za podizanje, kompanija za upravljanje otpadom podiže kontejnere na površinu radi čišćenja i pražnjenja, a zatim ih spušta nazad pod zemlju (slika 5.28.).

Nedostaci podzemnih kontejnera su neophodni građevinski radovi, moguća pojava podzemnih voda, što skraćuje vijek njihovog trajanja (posebno ako su napravljeni od hrđajućih materijala), klizeći otvor za bacanje smeća često nije u funkciji, a ponekad je otvor premalen za odbacivanje većih kutija i sličnog otpada (slika 5.29.).



Slika 5.28. Izgled podzemnog dijela kontejnera sa mehanizmom za podizanje, (HEBA MEGA, 2020)



Slika 5.29. Zelena ostrva u vidu polupodzemnih kontejnera – Dubrovnik (2021)

U posljednje vrijeme pojavljuju se novi tipovi podzemnih kontejnera koje je moguće nadzirati putem računara (prazni se samo onda kada je 100% pun).

5.1.3.2. „Pametni” kontejneri

U području automatizacije procesa uobičajena je praksa razvijanja pametnih kanti za otpatke, koja će moći otkriti i prijaviti svoje nivoe popunjenosti otpadom u centralni sistem upravljanja odakle se provode aktivnosti za zakazivanje i

usmjeravanje vozila za sakupljanje otpada. Uporedo se razvija i poluautomatska intervencija u procesu upravljanja otpadom, koristeći izvještaje klijenata putem globalnih sistema za mobilnu komunikaciju umjesto pametnih kanti za smeće i tako planira usmjeravanje vozila za prikupljanje otpada, ali i lakši obračun pružaocima usluge (Ogunwolu, et al., 2019).

Ovi kontejneri mogu imati tzv. „pametni“ mehanizam koji radi na solarnu energiju i sabija smeće. Ove vrste posuda imaju GPS koji reaguje svaki put kada neko ubaci smeće i onda ga presuje, a kada u posudi nestane prostora sistem šalje SMS poruku komunalnom preduzeću da je vrijeme da se isprazni. Postoje i druga tehnička rješenja za izradu pametnih kontejnera, kao npr. da putem aplikacije, na popunjenosti oko 80%, sam dojavljuje središnjem softveru koji je povezan s komunalnim vozilima. Upotrebom pametnih kontejnera se smanjuje potrošnja goriva i broj radnika koji bi trebali provjeravati popunjenost ovih posuda. Njihova upotreba može biti opravdana i u okviru tzv. „zelenih ostrva“, pri čemu se svaki „pametni“ kontejner koristi za posebnu vrstu otpada (papir, staklo, plastika, metal i sl.).



Slika 5.30. Digitalni kontejneri (Gradska uprava Beograda, 2019)

Kontejneri u centralnim dijelovima velikih gradova, kao što je Beograd, su često preopterećeni jer ih, osim stanara okolnih zgrada, nedozvoljeno koriste i brojni ugostiteljski objekti, prodavci sa pijaca i dr. Iz tog razloga se posljednjih godina uvode tzv. „digitalni“ podzemni kontejneri za klasičan komunalni otpad sa sistemom zaključavanja (slika 5.30.), a svako domaćinstvo tog dijela grada dobije po dva ključa, dok sva pravna lica imaju obavezu da sa nekim od operatera potpišu ugovor o odnošenju otpada koji generišu. U kontejnerima se nalaze i specijalni senzori preko kojih radnici nadležnog sakupljača dobijaju podatke o popunjenosti kontejnera, na osnovu čega će biti planirano pražnjenje i izbjegavanje zastoja u saobraćaju u ovim centralnim, i po pravilu, prometnim ulicama. Takođe, na ovaj način je obezbjeđeno efikasnije i rentabilnije poslovanje.

5.1.4. Učestalost (frekvencija) sakupljanja

Frekvencija (učestalost) sakupljanja kućnog otpada zavisi od raspoloživosti vozila za sakupljanje otpada (koju ograničava kapitalni trošak vozila, troškovi rada povezani s gorivom za prevoz i cijenom radne ekipe, udaljenost od mjesta sakupljanja do deponije gdje se vozilo prazni) i broju kontejnera na jednoj lokaciji. Dodatno, na kapacitet kontejnera i frekvenciju sakupljanja utiče i priroda otpada. Kabasti otpad će ispuniti kontejner i zahtijevati češće sakupljanje. Dakle, vremenski intervali u kojima se vrši sakupljanje otpada zavise od frekvencije punjenja kontejnera i kapaciteta vozila, a poboljšanja u službi skupljanja zavise od poboljšanja u načinu smještanja otpada i nabavci opreme. Učestalost sakupljanja komunalnog otpada, kao i uređivanje načina sakupljanja svih vrsta otpada, određuju jedinice lokalne samouprave.

Kao opcije učestalosti sakupljanja mogu biti:

- 1) Sakupljanje jednom sedmično,
- 2) Sakupljanje dva puta sedmično,
- 3) Svakodnevno sakupljanje,
- 4) Po potrebi,
- 5) Ostalo.

Frekvencija sakupljanja otpada u Republici Srpskoj se razlikuje od opštine do opštine, odnosno od urbanog i ruralnog dijela grada ili opština. U većini urbanih dijelova opština komunalni otpad se prikuplja svakodnevno ili svaki drugi dan, dok se frekvencija smanjuje na jednom sedmično u predgrađima, do jednom ili dva puta mjesečno u ruralnim područjima (Topić i dr., 2013).

5.2. SORTIRANJE PRI SAKUPLJANJU OTPADA

Način na koji se sakupljaju i sortiraju otpadni materijali određuje koje se opcije upravljanja otpadom mogu naknadno koristiti, a posebno da li su metode poput recikliranja materijala, biološkog tretmana ili termičke obrade izvodljive u pogledu ekonomske i ekološke održivosti. Metoda sakupljanja značajno utiče na mogućnost ponovne upotrebe materijala, kvalitet komposta ili količinu energije koja se može proizvesti, a to zauzvrat određuje da li se mogu naći tržišta za ove proizvode.

Pri odlučivanju o potrebi i načinu sortiranja pri sakupljanju otpada trebao bi uzeti u obzir sljedeće:

- 1) Kvalitet materijala,
- 2) Ekonomičnost troškova,
- 3) Efikasnost,
- 4) Društvenu prihvatljivost.

Važnost tržišta za ponovnu upotrebu materijala ne može se preuveličati: u nedostatku odgovarajućeg tržišta, proizvodnja korisnih proizvoda iz otpada se zaustavlja. U svakom slučaju, mora postojati podudaranje između potreba tržišta i prikupljenih i sortiranih materijala (McDougall, et al., 2008).

Postoje razni načini sakupljanja otpada pri čemu se razlikuju dva osnovna modela: razdvojeno prikupljanje otpada (sakupljanje posebno izdvojenih frakcija) i sakupljanje neselektovanog (miješanog) otpada.

Sistem gdje se sortiranje vrši u kući ili u posebne kontejnere zahtijeva da vozila za sakupljanje mogu odvojeno skladištiti različite materijale, odnosno da imaju više komora, što ih čini složenim za izradu i funkcionisanje. Pored toga, sistem koji očekuje da stanovnici odvoje reciklabilne i druge materijale zahtijeva od njih da koriste više kontejnera i omogućuje radnicima komunalnog preduzeća da isprazne kontejnere bez potrebe za sortiranjem na mjestu prikupljanja.

Stope učešća u dobrovoljnim programima sortiranja će zavistiti od ekonomskih razloga ili zakonskih odredbi. Ako se domaćinstvima ponudi smanjenje komunalne naknade zbog manje količine materijala koji se odloži u kantu za miješani otpad, vjerovatnoća učešća u programima sortiranja će biti veća. Međutim, ukupne stope povrata otpadnih materijala ne zavise samo od broja domaćinstava koja učestvuju, već i od efikasnosti sortiranja u domaćinstvima. Na motivaciju, a samim tim i na stope učešća i efikasnost odvajanja, utiće faktori kao što su potrebno vrijeme ili prostor za skladištenje posebnih vrsta otpada prije sakupljanja. Svaki gubitak nivoa komfora (npr. ako miris postane problem kada se organski materijal ne sakuplja redovno), sniziće nivo motivacije za razdvojeno prikupljanje otpadnih materijala.

5.2.1. Sakupljanje neselektovanog (miješanog) otpada

Sa stanovišta domaćinstva, prikupljanje svih frakcija komunalnog otpada zajedno vjerovatno predstavlja najpogodniju metodu u pogledu vremena i prostora koje takvo sakupljanje zahtijeva. Ova metoda sakupljanja će, međutim, ograničiti naredne mogućnosti tretmana. U razvijenim državama svijeta sakupljanje

miješanog otpada podrazumijeva njegovo sortiranje u centralnom postrojenju (sekundarna separacija) koja se izvodi na dva načina: ručno ili automatizovano. Najjednostavnija tehnika sortiranja jeste ručno sortiranje i izdvajanje ciljanih materijala sa pokretne trake. Automatizovane operacije mogu da budu: mašinsko razdvajanje (fizičko odvajanje komponenti), separacija na osnovu veličine, oblika ili težine materijala i separacija na osnovu osobina materijala (magnetizma, boje). Neke od brojnih tehnologija iz ove oblasti su: klasifikacija pomoću vazduha, flotacija, magnetna separacija, elektromagnetna separacija i elektrostaticka separacija.

Dva su osnovna tipa centralnog sortiranja miješanog otpada: izdvajanje i/ili baliranje reciklabilnih sirovina (MRF, engl. *Material Recovery Facility*) i izdvajanje sirovina iz kojih može da se dobije energija (RDF, engl. *Refuse-Derived Fuel*). Cilj MRF sortiranja jeste izdvajanje korisnih sirovina. Postoje različite konstrukcije postrojenja za izdvajanje reciklabilnih sirovina iz neselektovanog otpada. Prosječna potrošnja energije za ovu vrstu sortiranja raste sa porastom nivoa automatizovanosti procesa sortiranja. RDF sortiranje podrazumijeva izdvajanje gorivih frakcija iz otpada. Nakon automatizovanog razdvajanja sagorivih i nesagorivih frakcija, izdvojene sagorive komponente se šalju na doradu (formiranje malih grudvica ili usitnjavanje) (Koneczny i dr, 2007). Tokom RDF sortiranja izdvajaju se i organske frakcije koje se sprovode na kompostiranje.

Nedostaci miješanog sakupljanja otpada su:

- 1) Manje izdvojenog materijala za recikliranje.
- 2) Rizik od kontaminacije nekih materijala, npr. papira i kartona, zbog miješanja sa biootpadom.
- 3) Sabijanje može onemogućiti recikliranje nekih materijala, posebno aluminijuma, plastike i stakla.
- 4) Miješani otpad je teži zbog više vlage u biootpadu.
- 5) Trend na tržištima za reciklažu vjerovatno će biti usmjeren ka zahtijevanju materijala višeg kvaliteta (prerađivači u Kini trenutno kupuju reciklabilne materijale sa slabijim kvalitetom, ali u budućnosti se mogu očekivati zahtjevi za višim kvalitetom materijala) (BiPRO/CRI 2015).
- 6) Povećanje cijena energije vjerovatno će rezultirati povećanjem cijena recikliranih materijala, posebno onih koji zahtijevaju veću potrošnju energije: aluminijuma, čelika, stakla, papira i plastike. To će dati prednost odvojenom sakupljanju otpada da bi se održao kvalitet.

Međutim, ovdje se mora napomenuti da zajedničko sakupljanje dvije ili tri vrste reciklabilnog materijala može imati prednosti, npr:

- 1) Sakupljanje dvije vrste materijala u istu kantu/kontejner (npr. ako se domaćinstvima isporučuju dva kontejnera za reciklažu za odvojeno sakupljanje različitih materijala, obično papir/karton u jednom, a plastika, staklo i limenke u drugom) mogu se smanjiti neki problemi kod zajedničkog sakupljanja svih materijala, smanjujući mogućnost povezivanja materijala.
- 2) Sistem zajedničkog sakupljanja dvije vrste otpada ima niže neto troškove od sistema miješanog sakupljanja, a razdvajanje plastike i metala prikupljenih zajedno nije problematično.

Modeli prikupljanja miješanog otpada u jednu kantu ili kontejner za sve reciklirajuće materijale koji će se naknadno sortirati u centru za upravljanje otpadom) mogu biti prikladne u okolnostima kada su druge opcije nepraktične. To mogu biti urbana područja u kojima parkiranje na ulici i gusti saobraćaj zahtijevaju brz utovar, bez potrebe za vraćanjem kontejnera na mjesto sakupljanja, ili za dijelove grada velike gustine naseljenosti, tranzitna područja i multi-funkcionalna područja.

5.2.2. Razdvojeno prikupljanje otpada

S obzirom da komunalni otpad sadrži mnoge komponente, koje se mogu koristiti kao sekundarne sirovine, najracionalnije ih je izdvajati na mjestu nastajanja, ne dozvoljavajući da se miješaju sa ostalim otpadom koji ih zagađuje i nepotrebno povećavaju cijenu njihovog odvoženja.

Iako su troškovi sakupljanja odvojenog otpada veći, troškovi tretmana su niži jer rezultiraju manjim brojem odbacivanja i višim prihodima od reciklažnih materijala (ETC/SCP, 2014).

Prednosti razdvajanja komunalnog otpada na mjestu nastajanja:

- 1) Rezultira sa manjom kontaminacijom reciklažnih materijala i na taj način se veći dio njih može reciklirati.
- 2) Povećani prihod od prodaje materijala.
- 3) Niži kapitalni troškovi.
- 4) Ukupni troškovi prikupljanja i tretmana (zajedno posmatrano) su niži u sistemima odvojenog sakupljanja nego u sistemima sakupljanja miješanog otpada (WRAP (2009)).

Primjera radi, u Austriji je jasno vidljiv pomak u reciklaži pojedinih vrsta otpada. Tokom 1989. godine samo 14% komunalnog otpada je reciklirano, dok je deset godina kasnije udio otpada koji se koristi za recikliranje već dostigao 50%. To se moglo postići samo velikim proširivanjem tehničke infrastrukture, kao i informisanjem i motivisanjem korisnika sistema za prikupljanje. Novija statistika, za period od 2009. do 2017. godine, pokazuje da je stopa reciklaže (sa kompostiranjem) komunalnog otpada u Austriji smanjena u ovom periodu sa 61,9% u 2009. na 57,7% u 2017. godini (Statista, 2022).

Ono što predstavlja najveći problem prilikom planiranja novih sistema upravljanja otpadom jeste pretpostavka da će sakupljanje organskog otpada dodatno poskupiti uslugu odvoza otpada, jer ima nestabilnu i vrlo malenu tržišnu vrijednost. Uprkos tome, u mnogo slučajeva pažljivo planiran sistem vodio bi ka optimizaciji troškova koji mogu biti čak i uporedivi s tradicionalnim sistemima sakupljanja miješanog otpada.

5.3. TRANSPORT OTPADA

Tehnologija transporta otpada je uslovljena i određena: količinom i sastavom otpada, veličinom i vrstom kontejnera za prikupljanje otpada, prostornim razmještajem kontejnera i njihovom udaljenošću od mjesta tretmana, raspoloživim transportnim vozilima i osobinama transportnih puteva.

Za transport čvrstog otpada koriste se različiti tipovi vozila u zavisnosti od izbora sistema za prikupljanje otpada, raspoloživih materijalnih sredstava, širine ulica u kojima se prikuplja otpad i udaljenosti lokacije za konačno zbrinjavanje. Otpad se u našim uslovima sakuplja uglavnom primjenom sljedećih vrsta vozila: vozila sa otvorenim sandukom za samoistovar (tzv. kiperi), specijalna vozila za kompaktiranje otpada i kamioni autopodizači za kontejnere zapremine veće od 5m³. Specijalna vozila za kompaktiranje otpada posjeduju sposobnost sabijanja otpada u zatvorenom bunker, kao i istovara sadržaja posredstvom odgovarajućeg mehanizma. Bunker mogu biti podijeljeni u više komora za selektivno prikupljanje otpada i različitim uređajima za sabijanje otpada, s ciljem da se maksimalno poveća nosivost otpada (slika 5.20.). Najveći broj ovih vozila posjeduje mehanizam za utovar otpada, najčešće sa hidrauličnim pogonom (slika 5.17–19.).

Higijenski uslovi u gradovima se mogu održavati samo ako je obezbjeđeno redovno uklanjanje otpada sa privremenih skladišta otpada (kanti ili kontejnera). Međutim, sakupljanje i transport otpada zahtijeva potrošnju energije i doprinosi značajnim emisijama u vazduh, kao i druge medijume životne sredine (vodu i

zemljište) usljed čišćenja i pranja posuda (kontejnera i kanti) i vozila za sakupljanje otpada.

Potrošnja goriva usljed transporta zavisi od: broja domaćinstava koja koriste ove usluge, količine sakupljenog otpada, gustine naseljenosti, udaljenosti zone u kojoj se sakuplja otpad do postrojenja za tretman otpada ili deponovanje i prosječne dužine puta koju pređu vozila za sakupljanje otpada. **Na faktor troškova transporta otpada uglavnom utiču troškovi rada, troškovi vozila, vrijeme, udaljenost i vrsta puta.**

Optimizacija sakupljanja i prevoza komunalnog čvrstog otpada postaje jedna od glavnih briga u dizajniranju sistema upravljanja otpadom, jer postojeći sistemi upravljanja komunalnim otpadom imaju visoke troškove prikupljanja i transporta – približno 80–90% u državama sa niskim prihodima i 50–80% u državama sa srednjim prihodima (Das & Bhattacharyya, 2015). Među svim komponentama sistema upravljanja komunalnim čvrstim otpadom, prevoz (transport) zauzima glavni dio budžeta, a neplanirani sistem transporta može prouzrokovati velike gubitke sredstava. Transportni sistem mora biti dizajniran tako da bude efikasan, a istovremeno i isplativ. Da bi sistem sakupljanja i transporta bio efikasan mora biti zasnovan na analizama frekvencije punjenja posuda za sakupljanje otpada i optimizaciji putanja kojima se kreću vozila za transport otpada. Neracionalnim korišćenjem vozila za transport otpada povećava se potrošnja goriva i frekvencija saobraćaja. U posljednje vrijeme su predloženi mnogi modeli kako bi se optimiziralo prikupljanje i transport otpada širom svijeta. Za optimizaciju troškova sakupljanja i transporta otpada, kao najskupljih funkcionalnih elemenata u sistemu integrisanog upravljanja komunalnim otpadom, koristi se inovativne metodologije, između ostalog i geografski informacioni sistem (GIS). GIS je pogodan alat za ovu vrstu studija jer je u stanju da čuva, preuzima, analizira i primjenjuje veliku količinu podataka na osnovu kojih se priprema izlazna vizualizacija. Na osnovu takvih istraživanja moguće je odrediti optimalne trase za transport otpada od mjesta njegovog sakupljanja do lokacija za pretovarne stanice ili mjesta za konačno zbrinjavanje otpada. Rješenje problema transportne udaljenosti i troškova u regionalnom sistemu upravljanja otpadom, jednim dijelom se može potražiti u izboru optimalne lokacije regionalne deponije, odnosno regionalnog centra za upravljanje otpadom. Treba pomenuti i da je evidentna međusobna povezanost potrošnje goriva i količine otpada, odnosno gustine naseljenosti nekog područja, pa je sa tog aspekta nesporno najveća potrošnja goriva u ruralnim područjima zbog velike udaljenosti i male količine otpada koja se sakupi, dok je obrnuta situacija u gradskim naseljima.

Transport može da podrazumijeva dva koraka:

1) Prenos otpada sa manjih vozila za sakupljanje do mjesta za pripremu za dalji transport (transfer ili pretovarne stanice).

2) Naknadni transport otpada od pretovarne stanice, obično na velike udaljenosti, odnosno do mjesta za konačno zbrinjavanje.

5.3.1. Pretovarna (transfer) stanica

Izgradnjom regionalnih sanitarnih deponija otvara se pitanje racionalnog ili ekonomičnog prevoza otpada za opštine koje su udaljene više desetina kilometara od regionalne deponije. Iz tog razloga u regionalnom konceptu upravljanja otpadom važnu ulogu imaju pretovarne ili transfer stanice, jer povećavaju racionalizaciju odvojenog sakupljanja i transporta otpada. Neophodnost izgradnje transfer stanice treba preispitati konkretnim matematičkim proračunima, jer je opravdanost izgradnje u funkciji dva parametra, i to: količine otpada i analize transportnih troškova (koji zavise od udaljenosti od sanitarne deponije i vrste transportnih sredstava).

Pretovarna stanica je građevina za privremeno skladištenje, pripremu i pretovar otpada namijenjenog za prevoz (transport) prema centru za upravljanje otpadom ili deponiji. S obzirom na regionalni koncept upravljanja otpadom, koji podrazumijeva prevoz otpada vozilom većeg kapaciteta na veću udaljenost, pretovarna stanica ima važnu ulogu u smanjenju transportnih troškova. Otpad se u pretovarnu stanicu dovozi relativno malim vozilima kojima se obavlja sakupljanje otpada, a onda pretovara u veće kontejnere ili na veća vozila i vozi se u centar za upravljanje otpadom ili na deponiju. Smisao pretovara je ostvarenje ušteda u troškovima prevoza otpada i radnog vremena lokalnih sakupljača otpada. U pretovarnim stanicama komunalni otpad se istovara iz vozila za sakupljanje otpada, pregleda uz eventualno izdvajanje gabaritnog otpada, kratko zadržava, utovara u veća vozila i **transportuje na dalju obradu u centar za upravljanje otpadom**. U pretovarnim stanicama je moguće prethodno sortiranje i presovanje otpada sa ciljem smanjivanja volumena radi lakšeg transporta do mjesta konačnog zbrinjavanja. U pojedinim slučajevima, posebno u gradovima i većim naseljima, na lokaciji pretovarnih stanica mogu biti smješteni i posebni objekti s pratećom opremom za prethodnu obradu otpada, te privremena skladišta za prihvrat posebnih vrsta otpada sakupljenih u reciklažnim dvorištima. Do sada je razvijen veliki broj rješenja i sastava samih transfer stanica, pa u zavisnosti od potreba regije ili grada, transfer stanice mogu sadržati i razna pomoćna postrojenja. Tako, na primjer,

postoje transfer stanice u kojima se vrši samo privremeno skladištenje otpada i njegovo sabijanje, poslije čega se šalje na deponiju, dok su neka postrojenja kompleksnija i sadrže npr. postrojenje za separaciju, postrojenje za reciklažu, kompostiranje, objekte za privremeno skladištenje raznih vrsta otpada, itd. U zavisnosti od vrste otpada koji je predviđen za skladištenje na transfer stanici, zavisi i sastav, odnosno, izgled postrojenja. Isto tako, na lokaciji pretovarnih stanica moguće je postavljanje postrojenja za obradu građevinskog otpada prije ponovne upotrebe ili odlaganja neiskoristivog dijela otpada. Takvo postrojenje mora imati odgovarajuću dozvolu.

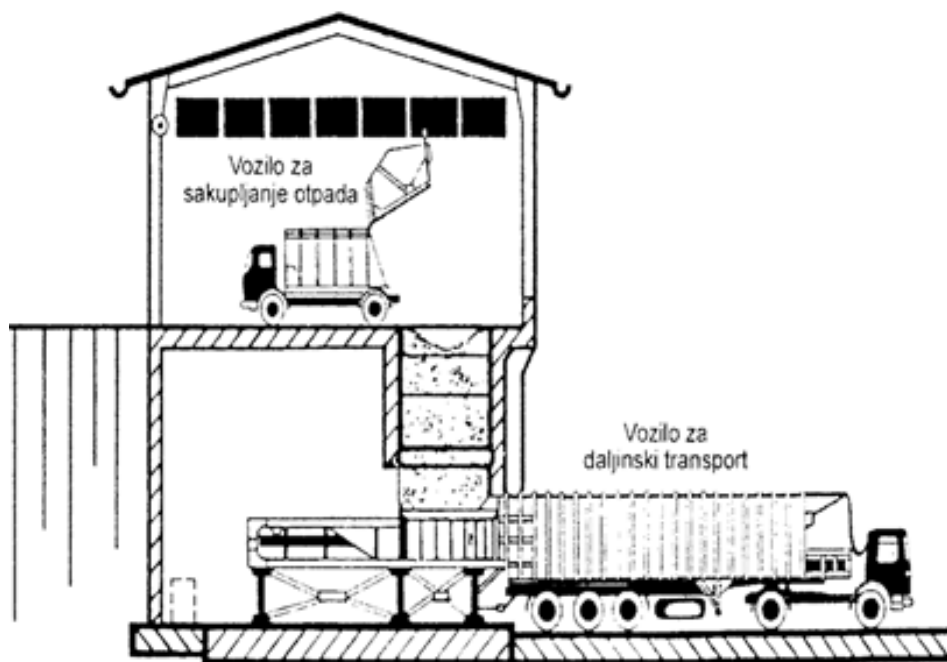
Pretovar otpada iz vozila za sakupljanje u specijalna vozila može biti direktni ili indirektni.

Direktni pretovar se vrši iz manjih vozila za sakupljanje u vozilo većeg kapaciteta (poluprikolice), na pretovarnim rampama (slika 5.31.). Pri pretovaru se ne vrši zbijanje otpada u vozilu za prevoz na veće udaljenosti, što podrazumijeva nepotpuno iskorišćavanje nosivosti vozila. Osnovna prednost ovog sistema su mali troškovi pretovara.



Slika 5.31. Pretovarna stanica u Gradišci (Glas Srpske, 2009)

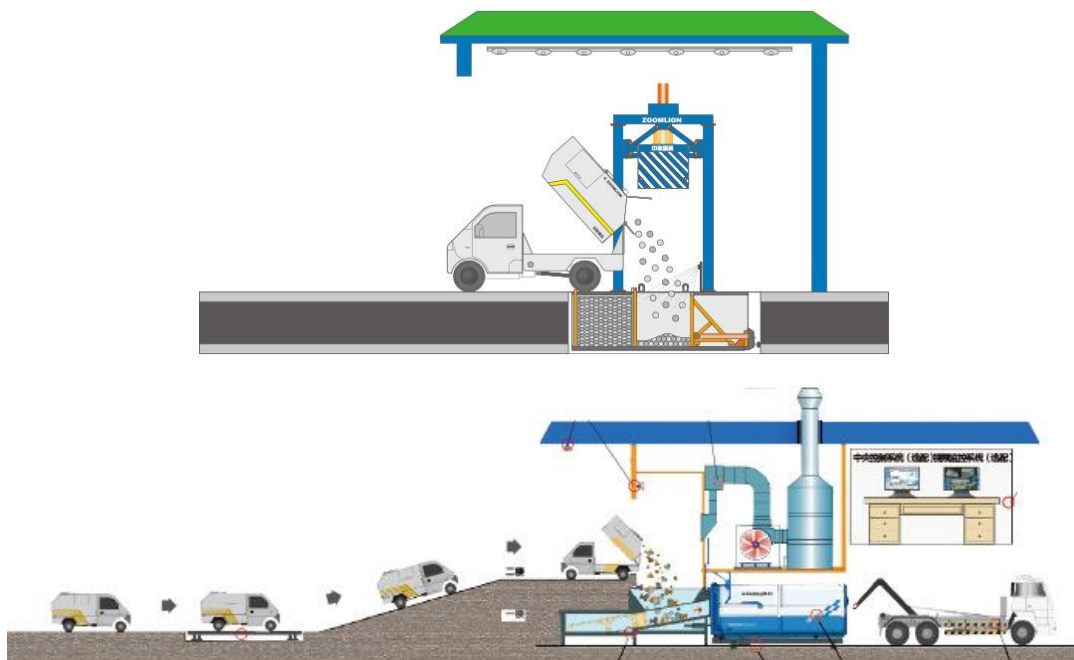
Indirektni sistem pretovara otpada podrazumijeva korišćenje prese za otpad. Pretovar sa korišćenjem prese podrazumijeva da se otpad istresa u presu koja je spojena za vozilo za daljinski transport (slika 5.32.). Osim toga, postoji i sistem pretovara kod koga je presa čvrsto spojena sa kontejnerom koji se puni i nakon završetka punjenja vrši se utovar punog kontejnera na specijalno vozilo za daljinski transport (slika 5.33–34).



Slika 5.32. Pretovarna stanica sa pretovarom preko prese sa zbijanjem otpada u vozilu za daljinski transport (Sredojević, 2003)



Slika 5.33. Automatska pretovarna stanica (Tehniks, 2020)



Slika 5.34. Pretovarna stanica sa indirektnim pretovarom preko prese za zbijanje otpada u zamjenljivom kontejneru (Inforenviro, 2020)

Vertikalni kompaktor smeća usvaja tehnologiju vertikalnog zbijanja u cilju da kompaktuje, dehidrira i smanjuje količinu rastresitog otpada u blokove, a zatim ih prebacuje u vozilo za prenos smeća.

Dužina transporta otpada se povećava i do 1000 km s obzirom da mnogobrojne oblasti Zapadne Evrope, ali i drugih razvijenih zemalja, nisu u mogućnosti da na adekvatan način izvrše zbrinjavanje otpada (nedostatak deponija ili dozvola za deponovanje, nepostojanje postrojenja za iskorišćavanje otpada i sl.) U takvim slučajevima otpad se najčešće transportuje kontejnerima sa specijalnim željezničkim vagonima zbog nižih transportnih troškova.

6. RECIKLAŽA

6.1. OSNOVNI POJMOVI I KARAKTERISTIKE

Reciklaža se često definiše tako da obuhvata i aktivnosti pretvaranja otpada u energiju i biološki tretman. Iz praktičnih razloga ovde se koristi uža definicija po kojoj se reciklaža definiše kao ponovno korišćenje materijala iz otpada (obično papira, stakla, metala i plastike). Reciklaža predstavlja niz aktivnosti kojima se smanjuje potrošnja, odnosno racionalizuje korišćenje prirodnih resursa i kojima se smanjuje količina otpada za deponovanje, čime se produžava vijek korišćenja sanitarnih deponija. Reciklaža je jednokratno ili višekratno korišćenje otpadnog materijala kao adekvatne zamjene za komercijalni proizvod ili kao sirovine u industrijskim procesima. Reciklažom se štede dragocjeni ograničeni resursi, smanjuje potreba za crpljenjem izvornih materijala, što smanjuje uticaj na životnu sredinu od rudarstva i prerade i smanjuje količinu potrošene energije. Sama riječ „reciklirati“ dolazi od engleske riječi *recycle* što znači ponovno kružiti. Proces reciklaže uključuje sakupljanje, razdvajanje (sortiranje), transport i preradu reciklabilnih materijala, te izradu novih proizvoda iz iskorišćenih i odbačenih proizvoda i materijala. S obzirom da se reciklaža u javnosti često predstavlja kao profitabilna privredna grana sa značajnim ekonomskim efektima, mora se naglasiti da to nije u svim slučajevima potvrđeno. Sakupljanje i transport razdvojenih materijala zahtijevaju značajne količine energije i radne snage, zbog čega mnogi programi recikliranja nisu zaživjeli bez subvencionisanja. **Osnova uspješnog programa reciklaže je da postoji potreba za izdvojenim reciklabilnim materijalima i da je obezbjeđeno tržište, odnosno da vrijednost tih materijala može pokriti sve nastale troškove.**

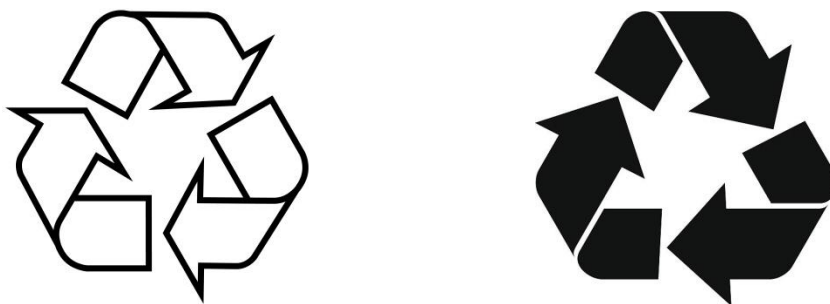
Neke vrste materijala se uspješno recikliraju decenijama, posebno materijala kod kojih je visoka potrošnja energije pri izradi iz prirodnih sirovina, npr. metala. Ušteda energije pri recikliranju metala je 60–95%, u zavisnosti od vrste. Troškovi reciklaže zavise i od sistema sakupljanja i sortiranja koji se primjenjuje. Za uspješne programe reciklaže otpada neophodno je izdvajanje njegovih korisnih komponenti i to na mjestu nastanka otpada, od strane samih građana.

Recikliranje može prouzrokovati probleme ako se ne radi na ekološki prihvatljiv način. Mnogo zagađenih lokacija ostalo je zbog loše organizovanih postupaka reciklaže, iz razloga što se u skoro svim tim procesima uklanjaju toksični kontaminanti koje treba pravilno tretirati.

U cilju promocije reciklaže osmišljeni su i primjenjuju se odgovarajući simboli. Univerzalni simbol za reciklažu koji se danas najčešće koristi predstavlja Mobijusovu petlju koja sadrži tri povezane strelice u obliku trougla sa zaobljenim uglovima (slika 6.1.). Svaka strelica je povratno presavijena i sve tri se nadovezuju jedna na drugu, koje označavaju tri faze recikliranja: sakupi, preradi i ponovo upotrijebi (što uslovno predstavlja ciklus reciklaže). Ovaj simbol nije zaštićen i koristi se na razne načine i u raznim varijacijama, ali generalno se može reći da predstavlja:

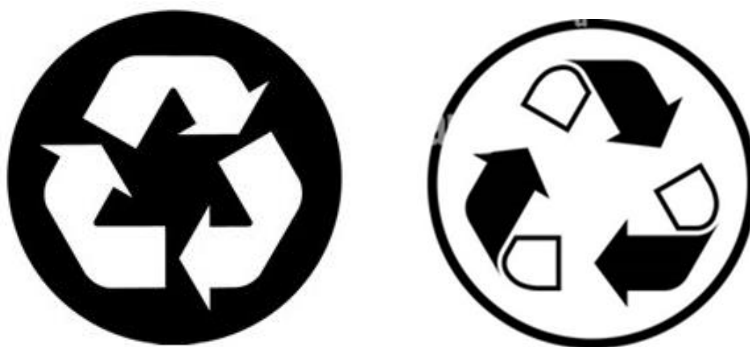
- 1) Reciklirajuće (reciklabilno) – na proizvodima koji se mogu reciklirati (slika 6.1.).
- 2) Reciklirano – na proizvodima koji sadrže već reciklirane materijale (slika 6.2.).

Proizvodi koji se mogu reciklirati se uglavnom prikazuju sa dva simbola koji predstavljaju dvije varijacije originalnog simbola: simbol za Mobijusovu petlju sa strelicama bijele boje (slika 6.1. lijevo) je prihvaćen kao tradicionalni, univerzalni simbol, dok simbol sa strelicama crne boje (slika 6.1. desno) predstavlja njegovu modifikaciju koja se koristi da bi se obezbijedila bolja vidljivost prilikom štampanja na nekim materijalima i u manjem formatu.



Slika 6.1. Proizvodi koji se mogu reciklirati (lijevo – univerzalni simbol; desno – modifikovani simbol)

Ako je Mobijusova petlja u krugu, označava proizvode ili ambalažu koji su izrađeni od recikliranog materijala. Bijele strelice u crnom krugu koriste se za označavanje proizvoda koji je 100% urađen od recikliranog materijala (slika 6.2. lijevo), a crne strelice u bijelom krugu koriste se za označavanje proizvoda koji sadrži određeni procenat recikliranog materijala (slika 6.2. desno). Ponekad se unutar petlje nalazi postotak koji označava udio recikliranog materijala u proizvodu.



Slika 6.2. Oznaka za proizvode ili ambalažu koji su izrađeni od recikliranog materijala

Na osnovu originalnog simbola izveden je generički simbol za označavanje reciklaže, pri čemu se simbolu pridodaju specifične oznake i akronimi materijala od koga su izrađeni, na primjer: *steel* – od gvožđa, *alu* – od aluminijuma.

Simboli za označavanje plastike: plastične boce, posude i druga ambalaža imaju jedan od najstarijih i najrazrađenijih sistema za označavanje. Simboli imaju dvostruku ulogu. Potrošačima oni uglavnom ukazuju da se ambalaža može reciklirati, a onima upućenijima i onima koji se bave reciklažom ukazuju i na vrstu upotrijebljene plastike (PET, PVC, PS).

Reciklaža je ključna komponenta savremenog sistema upravljanja otpadom i to je treća komponenta 3R principa „smanjiti, ponovo koristiti, reciklirati” (engl. *Reduce, Reuse, Recycle*) hijerarhije upravljanja otpadom. Tendencije u svijetu pokazuju da se sve više ide ka konceptu 5R – „Odbaciti, smanjiti, ponovo upotrijebiti, prenamijeniti, a zatim reciklirati” (*Refuse, Reduce, Reuse, Repurpose, Recycle*). U praksi 5R koncept znači da reciklažu treba tretirati kao posljednje sredstvo nakon pokušaja odbijanja (npr. odbijati nepotrebno pakovanje proizvoda i zatražiti posude za višekratnu ili povratnu upotrebu), smanjivanja (npr. smanjenje plastike za jednokratnu upotrebu, plastične ambalaže, čaša od stiropora i sl.), ponovne upotrebe (npr. upotreba punjivih baterija i kertridža za štampač, višekratne posude za hranu i dr.) i prenamjene (upotreba bilo koje ambalaže za pakovanje za čuvanje drugih predmeta).

Tri elementa čine osnovne sastavne dijelove uspješne reciklaže otpada:

- 1) Dostupnost odgovarajućih količina i vrsta otpada na izvoru sakupljanja po prihvatljivim cijenama.
- 2) Izradnja odgovarajućih objekata za preradu.

- 3) Iznalaženje pogodnih tržišta za reciklirane materijale što bi omogućilo dugoročne ugovore sa proizvođačima otpada uz prihvatljive cijene otkupa, koje bi bile dovoljne za pokrivanje dijela troškova reciklaže.

Od svih komponenti komunalnog čvrstog otpada najviše se recikliraju papir i karton, ferozni i neferozni metali (najviše aluminijum), staklo i plastika.

Proces reciklaže zahtijeva određene fizičko-mehaničke postupke kojima će se povećati količina sirovina iz otpada, redukovati volumen i na taj način lakše i efikasnije transportovati do mjesta njihove prerade.

6.2. FIZIČKO-MEHANIČKI TRETMAN OTPADA

Mehanički tretman otpada je skup postupaka ili procesa u kojima se otpad podvrgava jednoj ili više mehaničkih operacija s ciljem razdvajanja i pripreme za dalji tretman i iskorišćavanje (ponovna upotreba, reciklaža, termički tretman, kompostiranje). Mehanički procesi tretmana obuhvataju: usitnjavanje i paletizaciju, drobljenje i mljevenje, prosijavanje i druge mehaničke metode i separaciju otpada. Mehaničkim postupcima se povećava količina sirovina izdvojenih iz otpada (metal, staklo, papir, plastika), uklanjaju neprikladne komponente iz miješanog komunalnog otpada, smanjuje volumen i vlažnost otpada i dr.

U fizičko-mehaničke postupke tretmana čvrstog otpada spadaju:

- 1) Sortiranje (separacija/selekcija) komponenti otpada (manuelno i mašinsko).
- 2) Mehanička redukcija veličine otpada (rezanje, mljevenje, drobljenje).
- 3) Mehanička redukcija volumena otpada (presovanje otpada).

6.2.1. Sortiranje (selekcija) otpada

Pod pojmom sortiranje ili selekcija (separacija) čvrstog otpada podrazumijeva se razdvajanje odbačenih materijala po vrsti i sastavu. Razlikujemo primarnu i sekundarnu selekciju otpada. Primarna selekcija predstavlja razdvajanje komponenti otpada na izvoru, odnosno mjestu nastanka, i prikupljanje tako razdvojenih frakcija čvrstog otpada, dok sekundarnu selekciju čini centralizovano razdvajanje reciklabilnih komponenti iz dopremljenog miješanog otpada.

Primarna selekcija. Razdvajanje pojedinih materijala na mjestu nastajanja je obično najlakši metod, ali zahtjeva učešće onih koji materijale odbacuju, što oni nerado čine. Uvođenje reciklaže u naseljima i gradovima počinje odlukom lokalnih

vlasti da se reciklabilni dijelovi komunalnog otpada ne odlažu više na sanitarne deponije, nego da se izdvajaju i koriste kao sekundarne sirovine. Preduslovi za primarnu selekciju su: da se obezbijedi kompletna infrastruktura, obezbijedi transport za različite vrste reciklabinog materijala i prilagodi prostor za prihvatanje, selekciju i skladištenje reciklabilnog otpada, zaposle i obučeni radnici, te kontinuirano sprovodi kampanja podizanja svijesti među stanovništvom (slika 6.3.). Prvi preduslov za primarnu selekciju na nivou lokalne zajednice je postavljanje kontejnera ili kanti za različite vrste reciklabilnog materijala (za stari papir i karton, konzerve, staklenu ambalažu, plastiku i druge reciklabilne komponente otpada). Sortiranje pojedinih korisnih komponenti komunalnog otpada može se organizovati postavljanjem posebnih kontejnera na mjestima čestog okupljanja i kretanja većeg broja stanovnika (rekreaciono-sportski tereni, škole, veliki trgovački centri, prometne ulice i sl.) ili u domaćinstvima na način da im se podjele kante za različite frakcije otpada. Primarno se mogu razdvajati različite vrste otpada, a najosnovnija je tzv. „mokra – suva“ podjela. Pod „mokrom“ frakcijom se podrazumijeva sav biorazgradivi otpad, koji s vremenom mijenja svoja svojstva, samim tim i upotrebnu vrijednost (ostaci od hrane, baštenski otpad i sl.). Pod „suvom“ frakcijom se podrazumijeva sav čvrsti otpad, a prvenstveno onaj ambalažnog porijekla (plastika, papir, karton, tetrapak, aluminijske konzerve, staklo, folije i dr.).



Slika 6.3. Sortiranje plastike u namjenske kontejnere (Beč, 2021)

Nakon sakupljanja potrebno je organizovati i redovan odvoz selektovanog otpada, koji se može vršiti i posebnim vozilima kao što su mobilna reciklažna dvorišta sa posebnim odjeljenjima za: staru hartiju, konzerve, staklenu ambalažu, plastiku i

druge reciklabilne komponente otpada²⁴. Selektovan otpad se može predati i u stacionarna reciklažna dvorišta, čije postojanje je važno za rješavanje glomaznog otpada ili za vrste otpada za koji nije predviđen poseban kontejner. Dalje sortiranje (npr. po boji plastike, vrsti materijala i sl.) i kompaktiranje ovih otpadnih materijala obavlja se u centru za reciklažu, odakle ih preuzimaju kupci, koji ih koriste kao sekundarne sirovine.

Sekundarna selekcija otpada. Sakupljanje miješanog komunalnog otpada i njegovo naknadno razdvajanje u postrojenju za reciklažu predstavlja sekundarnu selekciju (separaciju) otpada. Sekundarna selekcija, odnosno razdvajanje otpada, može se organizovati kao manuelno (ručno) sortiranje ili mašinsko (automatizovano). Postupci razdvajanja i prerade otpada se izvode u objektima pod nazivom reciklažni centri ili postrojenja za obnavljanje materijalnih resursa (engl. *Material Recovery Facility – MRF*). U ovim objektima materijali se razdvajaju u svaku komponentu koja se može reciklirati (staklo, metalne limenke, plastične boce, itd.). Operacije prerade u reciklažnim centrima mogu varirati od objekata sa relativno niskom mehanizacijom, u zavisnosti prije svega od ručnog sortiranja otpadnih materijala, do visoko mehanizovanih procesa automatizovanog sortiranja (slika 6.4.). Izdvojene sirovine se baliraju i odlažu u skladište, odakle ih preuzimaju ovlašćeni operateri sa odgovarajućom dozvolom za njihovu preradu.

Postrojenje u San Hozeu, Kalifornija, je jedan od uspješnih MRF-a koje obrađuje sav komercijalni otpad nastao u ovom mjestu i obnavlja više od 80 procenata materijala, uveliko smanjujući količinu otpada koja se šalje na deponiju. Ranije je komercijalnim otpadom San Hozea upravljalo 20 različitih prevoznika i pružalo usluge reciklaže za manje od polovine preduzeća. Novi program posmatra otpad kao resurs i obezbijeduje standardnu reciklažu za sva preduzeća. Pored toga što opslužuje više od 8.000 preduzeća u San Hozeu, sistem takođe obrađuje reciklirane materijale iz 85.000 domaćinstava i ima kapacitet da preradi 420.000 tona materijala godišnje. Jasno definisanje i ciljanje svakog toka otpada (organski, komercijalni i stambeni) je ključ za postizanje visokih ciljeva njegovog iskorišćavanja.

²⁴ Više informacija o načinima prikupljanja otpada se može pronaći u poglavlju ove knjige pod naslovom „Sakupljanje i transport otpada“.



*Slika 6.4. Postrojenje za obnavljanje materijalnih resursa (OMR) (BHS, 2012)
(www.bulkhandlingsystems.com)²⁵*

Manuelno (ručno) sortiranje je najstariji način razdvajanja, odnosno selekcije otpada koji se primjenjuje od davnina u vidu ručnog izdvajanja iskoristivih dijelova otpada, posebno na deponijama. U svijetu se sve više zabranjuje prebiranje po smeću na deponiji jer je svako takvo postupanje izuzetno opasno po zdravlje ljudi, a prate ga i povremene nezgode uz smrtne posljedice zbog urušavanja na deponijama. Savremeno ručno sortiranje podrazumijeva kretanje materijala na pokretnim trakama, pri čemu radnici manuelno izdvajaju različite materijale za dalju preradu. Što se preciznije klasifikuju iskoristive komponente, to će sekundarna sirovina postići višu tržišnu cijenu.

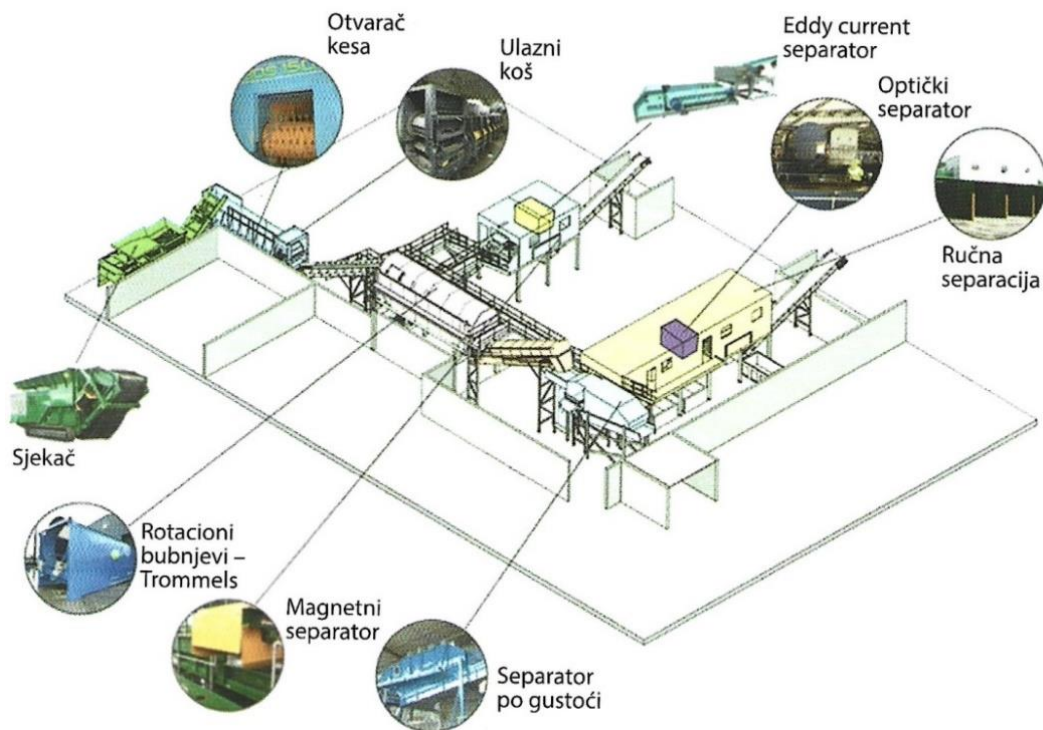
Zbog vremenskih uslova i sprečavanja raznošenja laganih frakcija, ručne sortirnice se nalaze u zatvorenoj hali. Uglavnom se linija na kojoj radnici razdvajaju otpad nalazi u posebno izolovanom prostoru – kabini, koja je izdignuta 3 metra iznad nivoa hale, a ispod kabine se nalaze odvojeni prostori (boksovi, veliki kontejneri i sl.) u koje dopijeva razdvojeni otpad iz kabina (slika 6.5.). U cilju obezbjeđivanja boljih uslova za rad, neophodno je osoblju osigurati udobnost uz maksimalne higijenske uslove i korišćenje zaštitne opreme (zaštitne rukavice, naočale, pregača, zaštitna maska i dr). Pored toga, vazduh iz kabine se isisava, a prostor klimatizuje.

²⁵ <https://bulkhandlingsystems.com/wp/republic-services-opens-worlds-largest-material-recovery-facility/>.



Slika 6.5. Kabina za manuelno (ručno) sortiranje na lokalitetu deponije Uborsk kod Mostara (tehnix.com)

Automatizovano mašinsko sortiranje se odvija u postrojenjima koja su opremljena kombinacijom mašina i elektronskih uređaja za: usitnjavanje, prosijavanje, razdvajanje i zbijanje čvrstog otpada. Za postupke automatske separacije otpada na tržištu postoji širok spektar opreme i pogona različitog stepena složenosti i tehnologija, uključujući: drobilice, magnete, rotaciona sita, hidrociklone, optičku separaciju i dr. (slika 6.6.).



Slika 6.6. Postrojenje za separaciju otpada (Serdarević, 2016)

Poredeći efekte primarne i sekundarne selekcije može se zaključiti da razdvajanje pojedinih materijala iz otpada na mjestu nastajanja zahtijeva visok stepen učešća proizvođača otpada (lokalnih stanovnika) i ima visoke troškove sakupljanja, ali niske troškove tretmana. S druge strane, sekundarna selekcija otpada, odnosno sakupljanje mješovitog otpada, ne zahtijeva dodatni napor od strane proizvođača i ne rezultira povećanjem troškova sakupljanja, ali je praćeno visokim troškovima tretmana plus određenim rizikom u pogledu tehnologije, operativnih troškova i tržišne ekonomije zbog neizvjesnih kapitalnih i operativnih troškova i potencijalno niske efikasnosti iskorišćavanja kao posljedice niske čistoće materijala. U praksi se često susreću kombinovane tehnike koje podrazumijevaju mašinsko i manuelno sortiranje i izdvajanje iz otpada, čime se koriste prednosti oba načina selekcije u zavisnosti od vrste otpada i cilja izdvajanja.

Osnovnim procesima, koji se koriste za automatsku separaciju, omogućava se izdvajanje korisnih komponenata i zagađujućih supstanci iz miješanog otpada. Razdvajanje se može provoditi na osnovu veličine (rotaciona sita), na osnovu gustine (vazdušni i inercioni separatori, te flotacioni separatori) i razdvajanje uz pomoć magneta (za razdvajanje metala).

6.2.2. Mehanička redukcija veličine otpada

Usitnjavanje otpada je tehnika koja se u pravilu primjenjuje na početku raznih procesa mehaničkog, biološkog ili termičkog tretmana čvrstog otpada. Usitnjavanje je postupak koji se ostvaruje u mlinovima čekićarima, sjeckalicama za pojedine vrste otpada i reciklata (kao što su aluminijum, automobilske gume i plastika) i mlinovima za baštenski otpad. Recikliranje otpada od rušenja građevinskih objekata započinje usitnjavanjem, često drobilicom, a i druge vrste krupnog otpada se moraju usitniti (npr. hidrauličnim makazama). Na tržištu se nalazi veliki broj mašina (i postrojenja) za usitnjavanje otpada, a može se grupisati na opremu za: rezanje, sječenje, kidanje, drobljenje, mljevenje. Mašine za usitnjavanje su najčešće velikih dimenzija i relativno složene pa zahtijevaju posebnu obuku zaposlenika.

6.2.3. Mehanička redukcija volumena otpada (presovanje)

Redukcija volumena otpada ili kompaktiranje najčešće podrazumijeva presovanje ili baliranje čime se olakšava manipulacija, uštedi na prostoru i troškovima prevoza. Postoji niz različitih veličina i dizajna presa za zbijanje i baliranje otpada (za okrugle ili četvrtaste bale, sa umotavanjem u plasične folije ili bez njih,

vezivanje žicom i sl.). Prese ili balirke se najviše koriste za odvojeno prikupljeni otpad (papir, karton, plastika, metalna ambalaža i slično) (slika 6.7.). Za različite vrste otpada se mogu postaviti dodaci kojima će se povećati redukcija volumena. Prilikom baliranja PET ambalaže postavlja se uređaj za bušenje plastičnih boca kako bi se iz nje oslobodio vazduh i povećala efikasnost presovanja. Bušenje se vrši pomoću dva rotirajuća bubnja na kojima se nalaze naoštreni šiljci. Šiljci su montažni radi lakog oštrenja i zamjene, a mogu se izvući iz prese kad nisu potrebni, tj. kada se ne presa PET nego neka druga vrsta otpada.



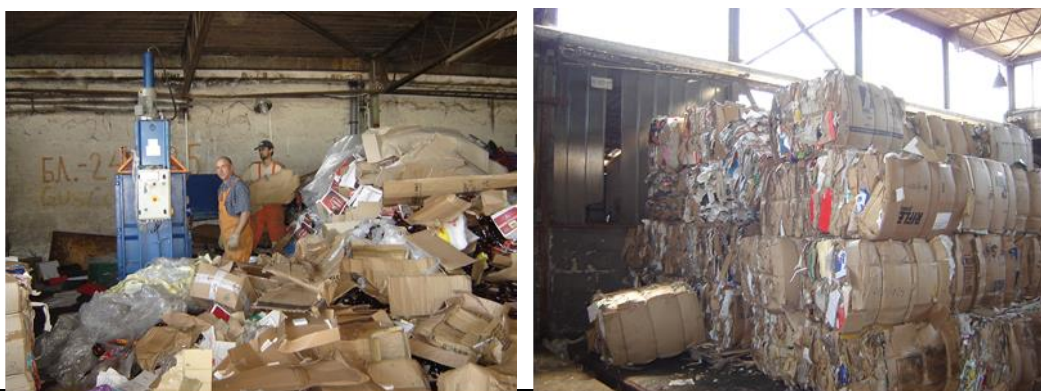
Slika 6.7. Automatska presa balirka u MBT postrojenju na lokalitetu deponije Uborak kod Mostara (tehnix.com) (lijevo). Prototip hidrulične prese za plastični otpad, Prirodno-matematički fakultet u Banjoj Luci (desno)

6.3. RECIKLAŽA POJEDINIH KATEGORIJA OTPADA

6.3.1. Reciklaža papira i kartona

Papir i karton predstavlja značajnu komponentu otpada iz domaćinstava. U ukupnoj masi komunalnog otpada papir i karton čini od 25% do 40%. Prosječna godišnja potrošnja papira i kartona u svijetu iznosi oko 55 kg po stanovniku, odnosno ukupna proizvodnja papira i kartona u svijetu iznosi preko 340 miliona tona (Sredojević, 2006). Najviše je zastupljen u otpadu iz: škola, administrativnih i upravnih zgrada, trgovina, itd. U stari papir i karton svrstava se: novinski papir, papirna i kartonska ambalaža, stare knjige i sveske, propagandni materijali, otpisana arhiva i sl. Tetrapak ambalaža, metalizirani i zauljeni otpad ne treba odlagati u kontejnere za papir jer se ne može reciklirati zajedno sa papirom. Prikupljeni papir se uglavnom presuje zbog lakšeg privremenog skladištenja i transporta (slika 6.8.).

Papir se dobija iz celuloze, sirovine koja je osnovni sastojak drveta. Da bi se proizveo papir potrebno je posjeći brojna stabla koja predstavljaju vrijedan prirodni resurs. Za proizvodnju jedne tone papira potrebno je pet tona drveta. Reciklaža papira ima dugu istoriju. Vlakna od recikliranog papira mogu se pretvoriti u druge tržišne proizvode kao što su: trake, zavoji ili izolacija. Međutim, papir se ne može reciklirati neograničeno, jer se njegova vlakna skraćuju sa svakom upotrebom, generalno gube svoju fleksibilnost i sposobnost vezivanja. Nakon potpunog iskorišćenja stari papir se najčešće koristi kao energetsko gorivo. Reciklažom 1 tone kancelarijskog papira sačuva se 17 stabala, uštedi približno 4100 kWh energije i 26 000 litara vode (Liu & Liptak, 2000), a značajno se smanjuje i količina odloženog otpada na deponije.



Slika 6.8. Presovanje prikupljenog papira i kartona u komunalnom preduzeću A.D. „Čistoća“, Banjaluka (lijevo) i preduzeću „Nova sirovina“, Banjaluka (desno) (Pešević, 2009)

Ekonomski uslovi najviše utiču na napredak u reciklaži papira. Kao i kod mnogih drugih materijala, tržište otpadnog papira je nestabilno, a miješani papirni otpad ima malu vrijednost. Najviše se reciklira ambalažni karton, za koji postoji stabilno tržište i koji se uglavnom koristi za izradu novog ambalažnog, talasastog kartona. Kvalitetnije vrste papira se, uz prethodnu preradu (obezbojavanje, bijeljenje i pranje) koriste za proizvodnju novog kvalitetnog papira. Manje kvalitetne vrste, se poslije obavezne prerade, koriste za proizvodnju: roto-papira, toaletnog papira, papirnih maramica i kartona za kutije. Miješani papir se bez obezbojavanja koristi za izradu: različitih ambalažnih kutija, ambalaže za jaja i različitih presovanih proizvoda koji se koriste u građevinarstvu. Najmanje kvalitetan stari papir koristi se za proizvodnju goriva iz otpada zbog svoje ogrevne vrijednosti.

U postupku reciklaže papir je prvo potrebno odvojiti od ostalog otpada, a zatim sortirati po kvalitetu. Papir se usitnjava u drobilici, nakon čega se dodaje voda i stvara se pulpa. Čišćenjem i prosijavanjem se nastavlja odvajanje zaostalih sitnih čestica otpada od vlakana celuloze, kao što su: plastika, gumene trake, lje pilo, lateks, i druge nečistoće. Jedan od najvećih izazova u recikliranju papira predstavlja uklanjanje štetnih primjesa kao što su polimerna mastila i premazi. Nakon toga pulpa ide na izbjeljivanje i ostale operacije koje slijede u fabrici papira. Otpad, otpadne vode i muljevi koji nastaju procesom reciklaže uključuju: mastila i čvrste pigmente, čestice lje pila, male plastične čestice i vosak, kratka celulozna vlakna, čestice punila i premaza za papir i čvrste materijale kao što su žica (spajalice). Tretman i odlaganje otpada koji nastaje reciklažom papira ima tendenciju da bude komplikovaniji i skuplji od tretmana i odlaganja otpadnih voda i mulja iz fabrika neobrađene celuloze. Sve ove činjenice treba uzeti u obzir pri proračunu troškova reciklaže papira i kartona.

6.3.2. Reciklaža stakla

Staklo je jedan od najstarijih materijala koje je čovjek napravio. Teoretski, staklo je materijal koji se može neograničeno reciklirati bez ikakvog gubitka kvaliteta. Osnovne primarne sirovine za proizvodnju stakla su: kvarcni pijesak (oko 60%), soda (oko 18%), dolomit ili krečnjak (oko 15%), feldspat (oko 6–7%) i dodaci za bojenje, odnosno uklanjanje boja i ubrzanje procesa topljenja. Reciklaža stakla ima mnoge prednosti kao što su očuvanje prirodnih resursa i minerala, smanjenje potrošnje energije i smanjenje zagađenja vazduha. Za proizvodnju stakla je potreban izvor toplote, koji se obično proizvodi sagorijevanjem fosilnih goriva.

Staklo iz otpada može se vratiti u upotrebu na dva načina. Jedan je: prikupljanje staklene ambalaže, sortiranje i pranje neoštećenih staklenih predmeta (uglavnom boca) i njihovo ponovno korišćenje. Drugi način je: izdvajanje i prerada cjelokupnog staklenog materijala iz otpada, bez obzira na stepen oštećenja, njegovo manuelno ili optičko sortiranje po boji i prerada dobijenih frakcija usitnjavanjem u jednobojni stakleni krš, koji se zatim topi u staklarskoj peći i koristi za proizvodnju novih proizvoda (reciklaža). Zbog relativno visokih manipulativnih troškova i organizacionih problema danas se za vraćanje staklenih proizvoda u upotrebnii ciklus koristi najčešće ovaj drugi način (preradom staklenog krša), a sve manje primjenjuje povratna ambalaža. Tokom 1950-ih i 1960-ih, pa i kasnijih godina, bilo je uobičajeno da se boce vraćaju u prodavnice odakle bi se sakupljale i vraćale u fabriku. Kako su proizvodni pogoni postajali sve veći i počeli da snabdijevaju bocama udaljenija mjesta, postalo je preskupo da se boce vraćaju u fabriku, tako da

je ova praksa polako zamrla. U nekim razvijenim zemljama se zadržala tradicija da se mlijeko dostavlja na kućni prag u staklenim flašama. U zemljama u razvoju, ponovna upotreba staklenih flaša je češća, pa tako npr. pivo često dolazi u staklenim flašama koje se sakupljaju i vraćaju u fabriku. Prozirne staklene posude, kao što su tegle za džem, često se ponovo koriste u domovima za pravljenje džema i kisele salate. Primjenom bilo kojeg načina vraćanja stakla iz otpada u upotrebu štede se primarne sirovine, smanjuje se potrošnja energije, racionalnije koriste kapaciteti sanitarnih deponija, te se na taj način štiti životna sredina. Stakleni krš predstavlja značajan sastojak komunalnog smeća koji na deponiji sve vrijeme zadržava prvobitnu zapreminu jer nije podložan razgradnji, čime doprinosi bržem punjenju deponijskog prostora.

Staklo se može vrlo lako reciklirati i to bez ikakvog gubitka kvaliteta. Danas se veliki procenat cjelokupnog stakla reciklira. Na primer, u Finskoj i Švajcarskoj se reciklira čak 90% stakla. Stakleni krš se topi na nižoj temperaturi nego primarna sirovina. Iz tog razloga reciklažom stakla uštedi se 50% energije u odnosu na staklo iz primarne sirovine, a recikliranje samo jedne staklene posude štedi energiju dovoljno da sijalica od 100 vati svijetli četiri sata. Pored uštede energije, reciklažom staklenog krša postiže se i ušteda vode za predtretman sirovine, a štede se i primarne sirovine kojih u prirodi ima u ograničenim količinama. Reciklažom 1 t stakla uštedi se oko 30 tona nafte. Recikliranjem stakla se postiže 20% manje zagađenja vazduha i 50% manje zagađenja vode (Gencer, 2015). Staklo je moguće 100% reciklirati, i to bezbroj puta, a da ne gubi na kvalitetu.

Sakupljanje otpadnog stakla je najefikasnije njegovim sortiranjem na mjestu sakupljanja korišćenjem posebnih kontejnera za obojeno i bijelo staklo (slika 6.9.). Nakon sortiranja stakla poželjno je mljevenje u drobilicama radi smanjenja volumena, čime se postiže racionalnije i ekonomski isplativiji transport do otkuplivača. Pored otpadne staklene ambalaže, recikliraju se stakla starih automobila, prozorska stakla, stakla od starog namještaja i dr.



Slika 6.9. Kontejner namjenjen za razdvojeno prikupljanje obojenog i providnog stakla (Beč, 2021)

Proces reciklaže stakla. Reciklaža stakla počinje prikupljanjem korišćenih flaša i drugih posuda. Staklo se odvaja na čistu, zelenu i ćilibarsku (braon) boju od strane potrošača ili postrojenja za preradu. Prva faza ponovne obrade stakla se obično sastoji od ručnog sortiranja radi uklanjanja krupnih zagađivača, nakon čega slijedi automatsko sortiranje radi uklanjanja primjesa gvožđa i materijala male gustine (papirne etikete, aluminijumski vrhovi flaša). Prvo se postiže magnetnom ekstrakcijom, a drugo kombinacijom tehnika drobljenja, prosijavanja i razdvajanja po gustini. Zdrobljeno staklo je tada spremno za miješanje sa osnovnim sirovinama, prije topljenja u peći i duvanja ili oblikovanja finalnih staklenih proizvoda. Od recikliranog stakla se ne prave samo nove posude kao što su boce i tegle, već se koristi i za sekundarna tržišta kao što su staklena vlakna, za popločavanje asfalta korišćenjem drobljenog stakla koji zamjenjuje kameni agregat. Istraživanja su utvrdila da se 30% staklenog praha može ugraditi kao zamjena agregata ili cementa u betonu bez ikakvih dugotrajnih štetnih efekata (Shayan & Xu, 2004). Građevinska industrija je pokazala velike uspjehe u reciklaži industrijskih nusproizvoda i otpada, uključujući otpadno staklo. Reciklaža ovog otpada, pretvaranjem u agregat, ne samo da štedi prostor na deponiji već i smanjuje potražnju za ekstrakcijom prirodnih sirovina za građevinske aktivnosti.

6.3.3. Reciklaža plastike

Naziv „plastika“ potiče od grčke riječi *plastikos* što znači „imati sposobnost oblikovanja“. Plastika se sastoji od lanaca (polimera) nastalih povezivanjem pojedinačnih molekula bogatih ugljenikom (monomera). Monomeri mogu biti raznovrsni, ali je veoma bitan i način njihovog međusobnog povezivanja što

značajno povećava raznovrsnost plastičnih materijala. Sintetički polimerni materijali proizvode se hemijskim reakcijama (polimerizacija) od monomera dobijenih uglavnom iz nafte i prirodnog gasa. U širokoprimjenjive polimerne materijale ubraja se plastika niske cijene koja se upotrebljava u širokom rasponu primjena i u velikim količinama. Primjena plastičnih masa prisutna je danas u: područjima pakovanja (ambalaže), transporta, građevinarstva, elektronike, medicine, poljoprivrede, itd. Posljednjih decenija plastika se sve više upotrebljava za izradu ambalaže zbog niza prednosti koje ima u odnosu na staklenu ili metalnu ambalažu, posebno zbog male mase i različite mogućnosti oblikovanja i prerade. Izuzetno važna osobina svakog polimera je plastičnost. Međutim, nedostatak kod svakog polimera je nedovoljna ili sasvim slaba termička otpornost. Sa aspekta uticaja na životnu sredinu problem predstavlja činjenica da je plastika uglavnom biološki nerazgradiva i ukoliko se nepravilno odlaže na deponije, neće doći do njihove brze razgradnje te posljedično dolazi do velike akumulacije i brzog popunjavanja deponijskog prostora.

Zbog njene relativno niske cijene, lakoće proizvodnje, visoke funkcionalnosti i nepropustivosti za vodu, plastika se sve više koristi u različite namjene. Statistički pokazatelji ukazuju na eksponencijalni porast proizvodnje plastike. Naime, 1950. godine proizvodnja plastike iznosila je 1,5 miliona tona, 2014. godine svijet je došao i do brojke od 311 miliona tona godišnje, a 2018. godine svjetska proizvodnja plastike dostigla je 359 miliona tona.

Porastom primjene plastičnih materijala porasle su i količine plastičnog otpada, a time i problem njegovog konačnog zbrinjavanja. Glavni problemi zbog kojih se ne reciklira dovoljno su svojstva i cijena plastičnih proizvoda. Obrada plastike zahtijeva velike količine plastike za recikliranje, koja se proizvodi pod kontrolisanim uslovima i uz konkurentnu cijenu. Međutim, s obzirom da se plastika jednostavno može prilagoditi potrebama proizvođača, različitost materijala komplikuje postupak reciklaže i čini ga skupljim, te utiče na kvalitet završnog proizvoda. U 2018. godini potražnja za recikliranom plastikom iznosila je samo šest posto ukupne potražnje za plastikom u Evropi.

U Evropi svake godine nastane 25 miliona tona plastičnog otpada, od čega se manje od 30 posto prikuplja radi recikliranja, a dio se izvozi u strane zemlje. Ostatak završi u deponijama, spalionicama ili kao otpad u životnoj sredini čime se zagađuju šume, plaže, rijeke i mora. Jedno od tijela Evropske unije, Evropska Komisija, 2015. godine donijela je Akcioni plan Evropske unije za cirkularnu ekonomiju kojim je obuhvaćen i problem reciklaže plastike. U njemu je Komisija identifikovala plastiku kao ključni prioritet, a 2017. godine potvrdila da će raditi na

cilju osiguravanja mogućnosti recikliranja za svu plastičnu ambalažu do 2030. godine. Velike količine plastičnog otpada potiču od plastike za jednokratnu upotrebu čije ostake nalazimo u mnogim morskim vrstama – poput morskih kornjača, tuljana, kitova i ptica, ali i u ribama i školjkama te na kraju u ljudskom prehrambenom lancu. U svim zemljama članicama Evropske unije u julu 2021. godine, na snagu je stupila Direktiva o plastici za jednokratnu upotrebu kojom se zabranjuje proizvodnja i prodaja jednokratnih plastičnih proizvoda kao što su: plastični tanjiri, čaše, jednokratni pribor za jelo, slamke, štapići za uši i drugi plastični proizvodi za koje postoje odgovarajući zamjenski proizvodi.

Prema podacima Evropskog parlamenta u 2010. godini na svakog stanovnika Evropske unije otpadalo je čak 200 plastičnih vrećica. Evropski parlament je podržao smanjenje korišćenja plastičnih vrećica 2015. godine i pozvao Komisiju da osmisli daljnje djelovanje u pogledu zabrane mikroplastike. Uvedene su mjere kao što je obavezna naplata za vrećice u prehrambenom sektoru i zamijena s biorazgradivim vrećicama. Plastične vrećice su odgovorne za zagađivanje životne sredine, posebno u vodenim ekosistemima.

Svojom težinom PET zauzima samo 9% od ukupnog otpada na deponiji, a zbog male nasipne gustine, zapreminom zauzima više od 30%. Zbog toga plastični otpad, posebno plastična ambalaža, zauzima veliki deponijski prostor i uzrokuje njegovo brzo popunjavanje. I pri transportu u reciklažni centar PET zauzima veliki prostor što zahtijeva presovanje i mehaničku pripremu sirovine za dalji transport.

Vrste plastike. Na tržištu postoje različite vrste plastike koje na sebi nose oznaku sa brojem koji označava vrstu plastike, njene osobine i mogućnost recikliranja: polietilen-tereftalat (PET), polietilen visoke gustine (HDPE), polivinil hlorid (PVC), polietilen male gustine (LDPE), polipropilen (PP), polistiren (PS) i polikarbonati i ostale vrste plastike (PC) (slika 6.10.).



Slika 6.10. Vrsta plastike i oznake

U nastavku je dat kratak pregled najzastupljenijih vrsta plastike, s akcentom na upotrebu i mogućnost reciklaže.

1. PET ili PETE. Oznaka za plastični materijal čiji polimer se naziva **polietilen-tereftalat**. On je providan, savitljiv i na sobnoj temperaturi dovoljno mekan materijal. PET je otporan na uticaj vlage i gasova (ugljen-dioksid i kiseonik), kao i na mineralna ulja, toplotu, kiseline, rastvore, ali ne i na baze. PET se u najvećoj mjeri koristi za proizvodnju poliesterskih vlakana u tekstilnoj industriji, a potom za proizvodnju flaša. Osobine koje posjeduje su razlog njegove velike upotrebe, a to su: providnost kao kod stakla, sposobost zadržavanja gaziranosti pića, otpor na lomljenje i mala težina. Sam naziv nam govori da ovaj materijal u sebi sadrži ftalate (plastifikatore). S obzirom da ftalati mogu da se odvoje od polimera ne savjetuje se višekratna upotreba PET pakovanja i flašica. Ovaj tip plastike se reciklira u najvećoj mjeri. Reciklirani PET se koristi za: proizvodnju novih PET boca, vreća za spavanje, jastuka, tepiha, izolacija, pakovanja za hranu i plastika za automobilsku industriju.

2. HDP ili HDPE. Skraćenica od *high density polyethylene* – **polietilen visoke gustine**. Ova vrsta plastike se uspješno reciklira. Ujedno se smatra i najsigurnijom vrstom plastike te je stoga pogodna za višekratnu upotrebu. To je jak i čvrst materijal sposoban da izdrži konstantno zagrijavanje na temperaturi do 110 °C. To je čvrsta plastika od koje se proizvode: plastični lavori, kante, saksije za cveće, lenjiri, čepovi, boce za mlijeko, ambalaža deterdženata za suđe, boce za šampon, neke igračke. Takođe ulazi u sastav nekih vrsta namještaja, vodovodnih i gasovodnih cijevi. Takođe, ovaj materijal u svojoj proizvodnji zahtijeva velike količine sirove nafte (1.75 kg za 1 kg HDPE).

3. PVC ili 3V. Skraćenica od *polyvinylchloride* – **polivinil-hlorid**. PVC je mekana, savitljiva plastika koja se koristi: za plastičnu ambalažu za hranu, kese za smeće, kese iz prodavnica, kese za zamrzavanje hrane, boce za ulje, igračke za djecu i kućne ljubimce, pakovanja od baterija, lijekova, te kao ambalaža za mnoge proizvode široke potrošnje. Jedan od najvećih problema u životnom ciklusu PVC-a je stvaranje toksičnih hemijskih jedinjenja pod nazivom dioksini. Ova jedinjenja spadaju u grupu hemikalija koje se stvaraju kao nusprodukt proizvodnje i spaljivanja PVC-a. Upravo zbog toga se ne preporučuje zagrijavanje hrane upakovane u PVC ambalažu, kako ne bi došlo do otpuštanja ovih jedinjenja. To je ujedno i razlog zbog kojeg se ova vrsta plastike vrlo rijetko reciklira. Dioksini su kancerogeni i dokazano je da izlaganjem ovim štetnim materijama dolazi do mnoštva zdravstvenih problema, a najviše utiču na reproduktivni i imunološki sistem.

4. LDPE. Skraćenica od **low density polyethylene** – **polietilen male gustine** – materijal koji se koristi za izradu pakovanja za hranu, za kese za smeće, pelene, u poljoprivredi i gradnji. Nekoliko država je razmatralo zabranu plastičnih kesa i pelena, a u mnogim zemljama se uvodi obavezna upotreba biorazgradivih kesa. Može se reciklirati, iako se u praksi do sada to slabo provodilo.

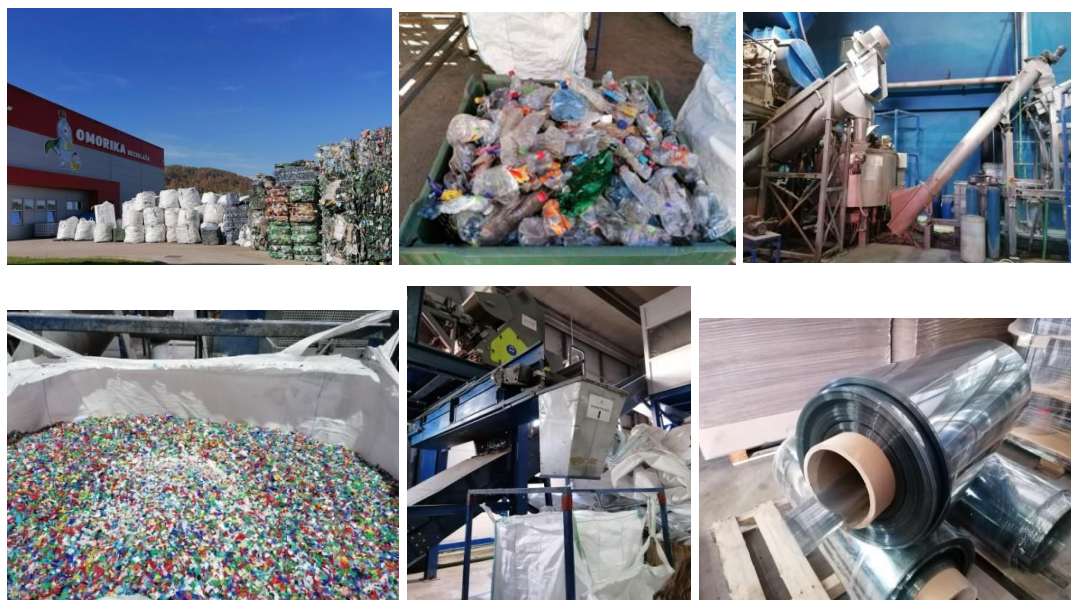
5. PP. Skraćenica od **polypropylene** – **polipropilen** - najčešća plastika u pakovanjima za hranu (kantice pavlake, sladoleda, jogurta), kao i pakovanja krema, šampona i drugih kozmetičkih proizvoda. Dobar je izolator protiv vlage, masnoće i hemikalija. Zbog svojih karakteristika ovo je polimer koji se proizvodi u najvećim količinama širom sveta. Iako može da se reciklira, manje je isplativ u odnosu na PET i HDPE, a podaci pokazuju da se danas reciklira jako malo ove vrste plastike.

6. PS. Skraćenica od **polystirene** – polistiren – jeftina, lagana plastika sa širokim rasponom namjene. Polistiren je lagan materijal koji postoji u solidnoj formi ili formi pjene (stiroform). Stiroform se prevashodno koristi za pakovanje i transport različitih proizvoda i za izolaciju. Solidni PS ulazi u sastav nekih čaša od pića za ponijeti. Upotreba PS za čuvanje hrane i pića se ne preporučuje zbog otpuštanja stirena. PS je teško reciklirati, zbog čega je danas sve više istraživanja na ovu temu. Najčešće se koristi za izradu: jednokratnih čaša za piće, posude za hranu za dostavu, kutije za jaja i plastičnog pribora za jelo. Takva plastika oslobađa određene kancerogene materije prilikom zagrijavanja, te se ne smije dugotrajno koristiti za spremanje hrane ili pića. Može se reciklirati. Ono se slabo provodi.

7. PC i sva druga plastika. Koristi se kao oznaka za ostalu plastičnu ambalažu, stoga obuhvata sve plastične proizvode od polikarbonata (PC) i „ostalnih“ plastika. Ubraja se u najnesigurniju vrstu plastike, jer se ne može znati sadrži li bisfenol (BPA) ili ne, zbog čega je ovakvu ambalažu u obliku boca ili posuda za hranu preporučljivo izbjegavati. BPA označava bisfenol koji se koristi u proizvodnji tvrdih polikarbonatnih plastičnih masa čineći je fleksibilnom u tehnološkom pogledu. Ovoj kategoriji pripada i sva plastika koja nije obuhvaćena prethodnim grupama. To je vrlo heterogena grupa za koju ne postoji generalno pravilo o recikliranju. U ovu grupu spada i nova generacija lako razgradive plastike, napravljene od bio-polimera (npr. škroba), koja obično dolazi s oznakom „PLA“ ili natpisom „biorazgradivo“ pored simbola s brojem 7.

Proces reciklaže plastičnih materijala. Relativno je noviji industrijski postupak koji pokazuje tendenciju razvoja. Određena svojstva plastičnih materijala određuju mogućnost različitih procesa recikliranja. Nekompatibilnost polimera u otpadu onemogućava uspješan proces reciklaže, što dodatno naglašava važnost separacije

različitih vrsta plastike i uspostavljanje primarne selekcije. Od reciklirane plastike dobija se sintetički materijal koji može da se upotrijebi za: proizvodnju odjevnih predmeta, folija, nove ambalaže i drugih proizvoda.



Slika 6.11. Reciklaža PET ambalaže i proizvodnja PET mljevenca, regranulata i folije za termoformiranje, „Omorika“, Doboj (oktobar, 2020)

Za recikliranje plastike koriste se različiti postupci: mehanički, iskorišćavanje energije i hemijski procesi. Postupak mehaničkog recikliranja polimera, koje se još naziva i sekundarno recikliranje, je počeo 70-tih godina prošlog vijeka. Mehaničko recikliranje se ne može primijeniti za polimere iste vrste, npr. polivinil hlorid (PET), polipropilen (PP), polistiren (PS), tako da glavni problem predstavlja heterogenost plastičnog otpada i obavezno razvrstavanje. Prvi korak kod mehaničkog recikliranja kojim se iz korišćene PET ambalaže proizvodi PET mljevenac je razvrstavanje po vrstama plastike i po boji, mljevenje, (frakciono) predpranje sa odvajanjem papira i drugih nečistoća, vruće frakciono pranje, hladno ispiranje i flotacija, te centrifugalno sušenje. Navedeni procesi se primjenjuju i u postrojenju „Omorika – reciklaža”, prvoj fabrici za reciklažu plastike u Bosni i Hercegovini, osnovanoj 2007. godine u Doboju, sa ciljem da pokrene proces reciklaže PET ambalaže kao i ostalih plastika (PE, PP i PS). Ova fabrika vrši otkup PET ambalaže, njeno sortiranje i preradu u PET mljevenac, preradu PET mljevenca u granule, preradu PET granula i distribuciju PET poluproizvoda i proizvoda (slika 6.11).

6.3.4. Reciklaža gume

Šezdesetih godina prošlog vijeka uvozom jeftine nafte koja predstavlja osnovnu sirovinu za proizvodnju sintetičke gume, cijena recikliranog materijala je pala, a sve popularnija varijanta gume ojačane čeličnim žicama zakomplikovala je i poskupila proces reciklaže, tako da je ona skoro i napuštena. Stare gume (pored plastike) spadaju u komponente komunalnog otpada koje su najmanje pogodne sa sanitarno odlaganje, zbog sve većeg zapreminskog udjela u ovom otpadu, i zbog svoje biorezistentnosti. Iz tog razloga je u većini zemalja zabranjeno odlaganje guma na sanitarne deponije. Za korišćene gume na snazi je zabrana deponovanja, kao i ostala ograničenja prema Direktivi o deponijama 1999/31/EC, a od 2006. godine nije dopušteno ni odlaganje izrezanih auto-guma. U zemljama u razvoju, u slučaju nedostatka drugih rješenja, gume koje ipak dospiju na deponiju (u miješanom otpadu ili izdvojene) bivaju poslagane na nekom slobodnom prostoru deponije do preuzimanja od strane zainteresovanih otkupljivača. Gomile naslaganih starih guma ne samo što zauzimaju veliki prostor na deponijama otpada, već predstavljaju i prijetnju po zdravlje i bezbjednost zbog čestih požara kojima su izložene. Pri nekontrolisanom spaljivanju u okolini nastaje gust dim, koji može da sadrži polutante štetne po ljudsko zdravlje, uključujući: policiklične aromatične ugljovodonike, benzen, stiren, fenole i dr.

Prema Pravilniku o načinu upravljanja otpadnim gumama RS, njihovo odlaganje na deponiju je zabranjeno, a stare gume treba predati licima koja sakupljaju, skladište ili vrše tretman otpadnih guma. Po ovom pravilniku propisani tretman otpadnih guma obuhvata reciklažu i korišćenje u energetske svrhe.

Svake godine, 800 miliona otpadnih guma se odbaci širom svijeta kao posljedica ogromnog povećanja broja vozila na putu. Samo u Sjedinjenim Državama godišnje se proizvede oko 300 miliona otpadnih guma (preko 2,5 miliona tona otpadnih guma) i očekuje se da će se taj broj povećati za približno 2% svake godine. Količina otpadnih guma proizvedenih u drugim razvijenim zemljama je takođe ogromna; oko 2 miliona tona se generiše u Evropskoj uniji godišnje, a 0,5 miliona tona se stvara u Japanu (Galvagno et al., 2002). Međutim, problem otpadnih guma postaje sve izraženiji poslednjih godina. Sa brzim povećanjem broja vozila, količina otpadnih guma u zemljama u razvoju raste alarmantnom brzinom. Uzimajući Kinu kao primjer, godišnja proizvodnja guma je porasla na preko 350 miliona guma u 2007. godini, što je trostruko više nego u 2001. godini (Tsang, 2013).

Glavni načini korišćenja otpadnih guma u svijetu uključuju protektovanje, reciklažu (u građevinarstvu i primjenama mljevene gume) i obnavljanje energije (npr. sagorijevanjem u cementnim pećima i pirolizom).

Reciklažom auto-gume dobijamo 60% gumenog granulata, 35% čelične žice i 5% platna, koji nema štetnog uticaja na životnu sredinu. Preradom pneumatika odgovarajućim postupcima (rezanjem i drobljenjem) može se dobiti granulat željene veličine i gumeni prah. Razdvajanje komponenata (čelična žica i tekstil) se vrši dejstvom magneta i dejstvom vazdušne struje. Gumene granule služe za: izradu obloge u izolaciji krovova, podloge za sportske terene, zvučne barijere, punilac u asfaltu (povećava trajnost i kvalitet saobraćajnica), dok se dobijeni prah (čestice do 0,5 mm) koristi u izradi sportske opreme, automobilskih dijelova, kao izolacioni materijal kod kablova, kao zaštitni slojevi i zaptivne mase. Jedan od načina da se smanji količina otpadnih auto-guma i istovremeno uštedi novac je njihova regeneracija (obnavljanja gazeće površine – protektovanje) i ponovna upotreba. Obnavljanje guma – protektovanje je moguće samo kod potpuno ispravnih neoštećenih guma.

Zbog visoke kalorijske moći, gume predstavljaju kvalitetno gorivo. Spaljivanje guma u kontrolisanom procesu na visokim temperaturama (kao što je proces u cementnim pećima) zakonski je regulisano sa propisanim vrijednostima emisionih limita. Gorivo dobijeno od guma ima prednost u odnosu na ugalj zbog visoke kalorijske vrijednosti gume, koja je za oko 20% veća od uglja. U Evropskoj uniji i SAD-u otpadne auto-gume se najviše koriste kao: gorivo u pećima za proizvodnju cementa, u proizvodnji papira, u termoelektranama i industrijskim kotlovima. Ne samo u Evropi nego i u mnogim izvanevropskim zemljama spaljivanje korišćenih guma jedan je od najvažnijih načina rješavanja ove vrste otpada. Problemi koji nastaju pri ovakvom načinu rješavanja otpadnih guma odnose se na emisije gasova iz postrojenja za sagorijevanje. Da bi se kontrolisala količina proizvedenih zagađivača vazduha, neophodni su visoki troškovi u razvoju potrebne tehnologije, kao i instaliranju i radu specijalnih vrsta spalionica.

Uprkos potrošnji velike količine guma i uštedi fosilnih goriva, povrat energije iz guma ne smatra se optimalnim rješenjem iz ekološke perspektive. Kontrolisano sagorijevanje guma radi povrata energije predstavlja gubitak od tri četvrtine energije potrebne za proizvodnju novih guma, u poređenju sa samo 2% u reciklaži (EEA, 2003).

6.3.5. Reciklaža metala

Od metala se pravi veliki broj različitih proizvoda, od saobraćajnih sredstava (automobili, autobusi, vozovi, avioni), preko bijele tehnike iz domaćinstava (frižideri, šporeti, veš mašine), do robe široke potrošnje (bočice za dezodoranse, limenke za napitke, konzerve i sl.). Recikliranjem metala smanjujemo veličinu deponija otpada, štedimo energiju, doprinosimo očuvanju životne sredine, te štedimo vrijedne prirodne resurse – rude.

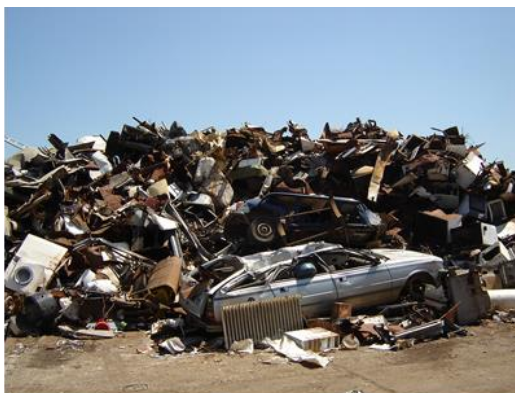
U većini zemalja Evrope, metal iz komunalnih otpadaka se sakuplja i koristi kao sekundarna sirovina. Metali, a naročito gvožđe, se lako odvajaju i na samim deponijama, iako bi trebalo da se to čini separatno. Odvojeno skupljanje metala (aluminijum, čelik, bakar, i dr.) omogućava njegovo kvalitetno recikliranje. Razlikuju se dvije osnovne grupe metala: željezni metali (čelik, bijeli lim, sivi lijev) i obojeni metali (bakar, aluminijum, cink, olovo, bronza, mesing itd.). Za uspješno recikliranje potrebno je odvojeno prikupljanje svih vrsta obojenih metala. Među metalnim otpacima najviše je gvožđa, zatim aluminijuma (bijeli limovi, konzerve), a manje je: bakra, olova, cinka i dr.

Neki metali se mogu reciklirati i više puta, a da recikliranjem ne izgube svoja svojstva. Od svih komponenti komunalnog otpada najpogodniji materijal za recikliranje je čelik koji se može reprocessirati praktično bezbroj puta. Čelik je jedan od najviše recikliranih materijala koji se danas koristi. Osnovna sirovina za proizvodnju čelika je sirovo željezo pomoću elektolučne peći. Dok je ruda gvožđa izvor oko 70% metalnih sirovina za proizvodnju čelika na globalnom nivou, ostatak se isporučuje u obliku recikliranog čeličnog otpada. On se sastoji od čeličnih proizvoda odbačenih nakon upotrebe (stari automobili, bijela tehnika, poljoprivredna oprema, željezničke šine, konzerve za hranu i piće). Posebnu pogodnost pri reciklaži gvožđa i čelika predstavlja mogućnost njihovog magnetnog izdvajanja.

Bakar je civilizacija koristila više od 10.000 godina i recikliran je od ranih vremena. Otpadni bakar je veoma tražena sirovina, a najviše ga ima u odbačenim kablovima, električnoj opremi i vodovodnim cijevima. Energetski zahtjevi recikliranog bakra su čak 85% do 90% manje od obrade novog bakra iz osnovne rude. SAD proizvode oko 8% svjetske proizvodnje bakra, a skoro polovina američke proizvodnje bakra dolazi iz recikliranog materijala.

Aluminijum je otkriven početkom 19. vijeka. Nalazimo ga u obliku aluminijum-oksida ili alumina koji se kopa iz rudnika stijena koju nazivamo boksit. Aluminijum se reciklira još od dana kada je počela komercijalna proizvodnja, a

danas se udio recikliranog aluminijuma kreće oko 1/3 ukupne svjetske potrošnje. Reciklaža aluminijuma ima niz ključnih ekoloških i ekonomskih prednosti. Recikliranjem 1 tone aluminijumskih limenki možemo sačuvati: 8 tona rude (boksita), 4 tone hemijskih produkata, 14.000 kW električne energije. U poređenju sa drugim materijalima velike količine, proizvodnja aluminijuma ima jednu od najvećih energetske razlika između primarne i sekundarne proizvodnje: 186 MJ/kg za primarnu u poređenju sa 10–20 MJ/kg za sekundarnu (Grin, 2007). Imajući na umu ove uštede energije i troškova, mnogi proizvođači sada povećavaju upotrebu sekundarnih materijala. Reciklirana aluminijumska konzerva je za oko 20% jeftinija od iste takve konzerve dobijene iz primarnih sirovina. U zapadnim zemljama aluminijumske konzerve predstavljaju komponentu koja se reciklira u najvećem stepenu. U velikom broju država postoji obaveza sakupljanja ambalaže za osvježavajuća pića, gdje su u tržnim centrima organizovani otkupni centri.



Slika 6.12. Metalni otpad – prikupljen u okviru preduzeća „Nova sirovina“, Banjaluka (Pešević, 2009)

Odvojeno prikupljanje pojedinih vrsta metala je osnova kvalitetnog recikliranja. Reciklažna dvorišta osiguravaju najveće mogućnosti za odvojeno prikupljanje metalnog otpada. Stari automobili i aparati bijele tehnike iz domaćinstava mogu se, kao sekundarne sirovine, koristiti u topionicama za proizvodnju sirovog željeza. U BiH za reciklažu su posebno značajna stara motorna vozila, jer broj putničkih automobila stalno raste, a treba imati u vidu i činjenicu da je posljednjih godina uvežen ogroman broj polovnih putničkih i transportnih vozila, čija je starost u prosjeku osam i više godina. S obzirom na starost ovih vozila, pooštavanjem propisa u oblasti saobraćaja i uvođenjem važećih evropskih propisa u oblast proizvodnje vozila, najveći broj ovih vozila ubrzo će postati otpad, što će dodatno opteretiti deponije otpada. Veliki broj polovnih automobila na ovim prostorima je odložen na divljim deponijama ili auto-otpadima, koje je potrebno riješiti nekom

od metoda reciklaže (slika 6.12.). U sve više zemalja stari automobili se daju na recikliranje, a uz doplatu se može kupiti nov auto. Za uspješan sistem recikliranja metala potrebno je prikupiti odbačene predmete u što boljem stanju, za šta je neophodno razdvajanje metalnog otpada na mjestu nastanka. To se može organizovati sistemom prikupljanja „od vrata do vrata”, uspostavljanjem reciklažnih dvorišta, zelenih ostrva ili drugim načinom selektivnog prikupljanja. Prikupljeni metalni otpad se prevozi do mjesta dalje selekcije i presovanja, te distribucije do prerađivača.

6.4. POZITIVNI EFEKTI RECIKLAŽE

Sakupljanjem i odvajanjem sekundarnih sirovina iz komunalnog otpada, mnogi gradovi su sačuvali prostor na deponijama, ostvarili prihod i obezbijedili zaposlenje za stanovnike. Lokalne zajednice mogu imati sljedeće koristi od programa reciklaže:

- 1) **Smanjenje troškova odlaganja otpada.** Reciklaža smanjuje količinu otpada koji se šalje na deponije, čime se produžava njihov vijek trajanja i smanjuju troškovi lociranja, izgradnje i funkcionisanja novih deponija.
- 2) **Smanjenje uticaja na životnu sredinu.** U mnogim zemljama u razvoju, neprikupljeni otpad se spaljuje na otvorenom kako bi se smanjio njegov obim. Smanjenje količine recikliranog materijala koji se otvoreno sagorijeva poboljšava kvalitet vazduha i smanjuje emisije gasova staklene bašte.
- 3) **Smanjenje upotrebe prirodnih resursa.** Usporavanje ekstrakcije izvornih sirovina čuva prirodne resurse kao što su drvo, voda i minerali, dok se povećava ekonomska sigurnost korišćenjem lako dostupnih materijala iz otpada.
- 4) **Jačanje ekonomskog rasta i socijalne jednakosti.** Reciklaža stvara nova radna mjesta i nudi lokalnom stanovništvu izvor prihoda.

Međutim, i pored nabrojanih prednosti treba imati u vidu da se svaki proces reciklaže mora razmatrati u kontekstu njegove specifične lokacije, dostupnosti sirovina i određenog procesa koji će se koristiti, kao i dostupnost tržišta. Treba imati u vidu da nekoliko korisnih komponenata (npr. papir) kod svakog novog reciklažnog ciklusa gubi određeni kvalitet (zbog skraćenja vlakana), što dovodi do smanjenja kvaliteta konačnog proizvoda.

Kao što je već navedeno, primarna selekcija otpada i njegov smještaj u posebne kontejnere od strane građana, u cilju njihove reciklaže i ponovne upotrebe, je sa tehničkog i ekonomskog aspekta povoljnije od sekundarne selekcije. Iskustva zemalja EU ukazuju na činjenicu da je izdvajanje na mjestu nastajanja i razdvojeno sakupljanje reciklabilnog materijala iz komunalnog otpada, tzv. reciklaža „čistih komponenata“, u velikoj i neuporedivoj prednosti nad izdvajanjem reciklabilnog materijala iz ukupne mase zaprljanog otpada, tzv. „prljava reciklaža“. Primarna selekcija otpada na mjestu njegovog nastanka od suštinske je važnosti za dalje postupke održivog upravljanja otpadom. Naime, izostajanje razdvajanja otpada na izvoru omogućava da se visoka vlažnost otpada organskog porijekla (otpaci od hrane) prenosi i na sve ostale komponente otpada, pogotovo na papir i karton koji zajedno čine sljedeću najznačajniju frakciju komunalnog otpada. Tako pomiješana, ova masa otpada teško se može iskoristiti za bilo koju ponovnu upotrebu.

Pri proračunu ekonomske održivosti primarne selekcije potrebno je uzeti u obzir sve troškove prikupljanja, razvrstavanja, obrade i skladištenja reciklabilnog otpada, pa ih uporediti sa prihodom od njegove prodaje. Praksa je pokazala da treba uložiti značajne napore u pronalaženju izvora održivog finansiranja za funkcionisanje sistema primarne selekcije, od lokalne samouprave, preko ministarstva zaštite životne sredine do stranih fondova i fondacija.

Uspješni programi reciklaže takođe zahtijevaju stabilna tržišta za reciklirane materijale. Primjere problema u ovoj oblasti nije teško pronaći – gomila papira se pojavila u Njemačkoj od 1984. do 1986. godine zbog neusklađenosti između vrsta sakupljanog papira i zahtijeva koje su postavile njemačke fabrike papira. Stabilna tržišta takođe zahtijevaju stabilnost zalihe koja se generiše. Čak i uz stabilna tržišta, javna edukacija je ključni sastavni dio povećanja količine recikliranja. Recikliranje predstavlja priliku za kulturnu promjenu kod potrošača u smislu kupovine proizvoda koji se mogu reciklirati i proizvoda napravljenih od recikliranog materijala. Zahtjevi se moraju postaviti i za preduzeća da koriste sekundarne materijale u proizvodnji proizvoda i da dizajniraju nove proizvode za lako rastavljanje i odvajanje komponentnih materijala.

Reciklažom se postižu sljedeći ciljevi:

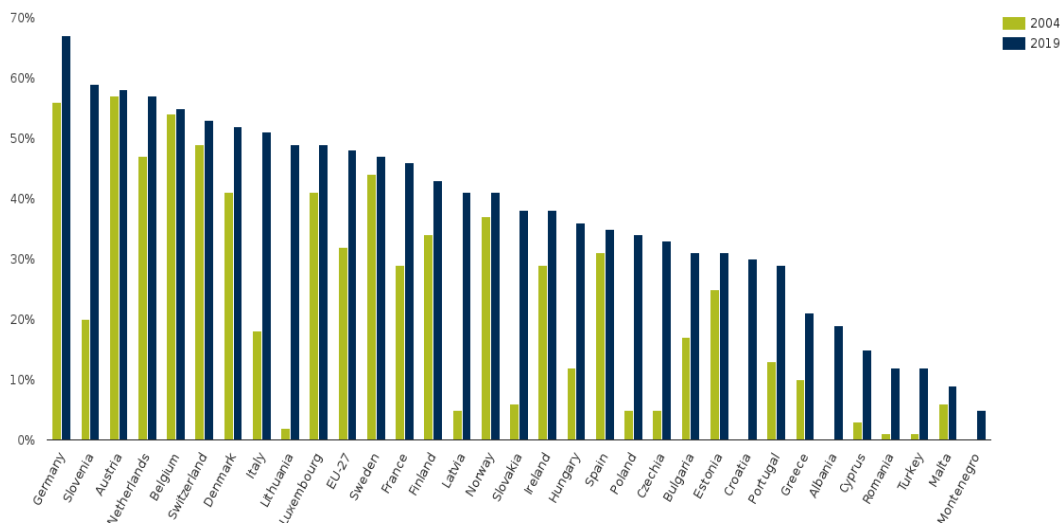
- 1) Ušteda sirovinskih resursa (u prirodi prisutni u ograničenim količinama).
- 2) Ušteda energije (u primarnim procesima, kao i u transportu koji te procese prati, a dobija se dodatna energija sagorijevanjem materijala koji se ne recikliraju).
- 3) Zaštita životne sredine (deponovani otpadni materijali ugrožavaju životni ambijent, a reciklažom se štiti životna sredina).

- 4) Otvaranje novih radnih mjesta (procesi u reciklaži materijala zahtjevaju znanje i rad, što stvara potrebu za radnim mjestima).

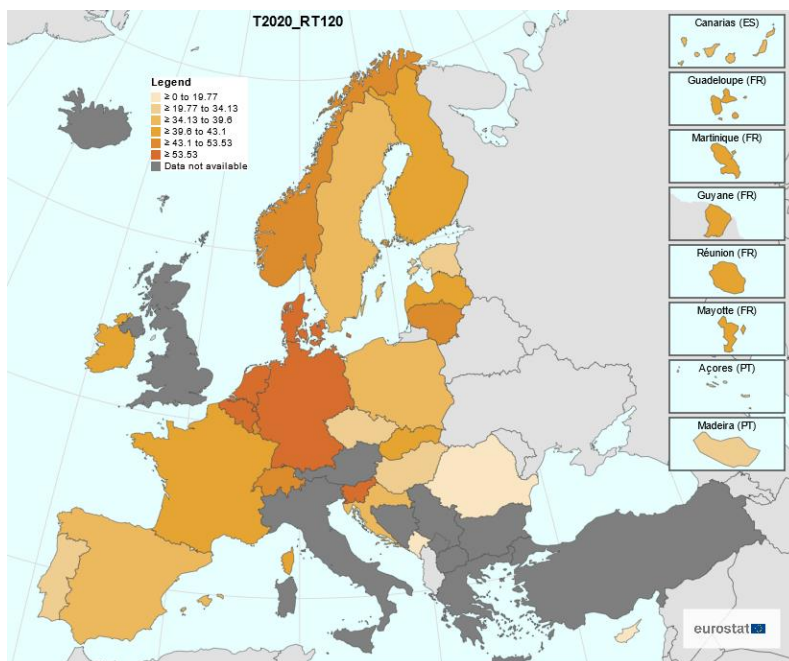
Kako se povećavaju troškovi odlaganja čvrstog otpada, tako se povećava i podsticaj za reciklažu. Kada troškovi deponovanja premaše cijenu reciklaže, reciklaža će biti razumna alternativa deponovanju.

6.5. RECIKLAŽA U EVROPI

Stope reciklaže kućnog otpada u većini razvijenih zemalja tokom 1980-ih su iznosile niske jednocifrene procenete. Moderni zapadni sistemi upravljanja otpadom su izgrađeni u poslednjih 20 godina. Na primer, stope reciklaže u Velikoj Britaniji su porasle na 31% do 2006/07 (DEFRA, 2007), a u nekim zemljama čak i do 50% (Eurostat, 2008). Ovo je postignuto integrisanjem odvajanja izvora čistih materijala za reciklažu u formalni sistem, a podržano je nizom instrumenata politike i finansirano iz različitih izvora, pored direktnih prihoda od prodaje prikupljenih materijala. Evropa je zabilježila značajan porast reciklaže otpada iz domaćinstava poslednjih godina, jer se povećava njihov cilj da Evropu učini klimatsko neutralnom do 2050. godine. Na slici 6.13. su prikazane stope reciklaže i kompostiranja/anaerobne digestije komunalnog otpada za pojedine evropske zemlje u 2004. i 2019. godini. Tokom ovog perioda Austriju, koja je imala najveću stopu reciklaže u 2004. Godini, je prestigla Njemačka i Slovenija, dok su Litvanija i Letonija zabilježile najveći rast stope reciklaže (EEA, 2021).



Slika 6.13. Stopa reciklaže i kompostiranja komunalnog otpada za pojedine evropske zemlje, u 2004. i 2019. godini (EEA, 2021)



Slika 6.14. Udio recikliranog komunalnog otpada u ukupnoj proizvodnji komunalnog otpada u Evropi 2020. godine (%) (Eurostat, 2021)

U 2018. godini, prema bazi podataka Eurostata (2020), preko 126 miliona tona komunalnog otpada (ili 43%) podvrgnuto je operacijama recikliranja u Evropskom ekonomskom prostoru (engl. *European Economic Area* – EEA–32 zemlje²⁶) (i to kroz operacije recikliranja materijala, kompostiranje i digestiju), s nacionalnim stopama recikliranja u rasponu od 6% (Malta) do 67% (Njemačka). Inače, baza podataka Eurostata (2020) definiše reciklažu kao „svaku operaciju oporavka kojom se otpadni materijali ponovo obrađuju u proizvode, materijale ili supstance“, a kompostiranje i anaerobna digestija se klasifikuje kao reciklaža kada se „kompost (ili digestat) koristi na zemlji ili za proizvodnju podloga za uzgoj“.

Udio recikliranog komunalnog otpada u ukupnoj proizvodnji komunalnog otpada u Evropi 2020. godine je prikazan na slici 6.14., na kojoj možemo uočiti da su vodeću ulogu u reciklaži komunalnog otpada zadržale sljedeće zemlje: Njemačka, Slovenija, Nizozemska i Belgija i Danska²⁷.

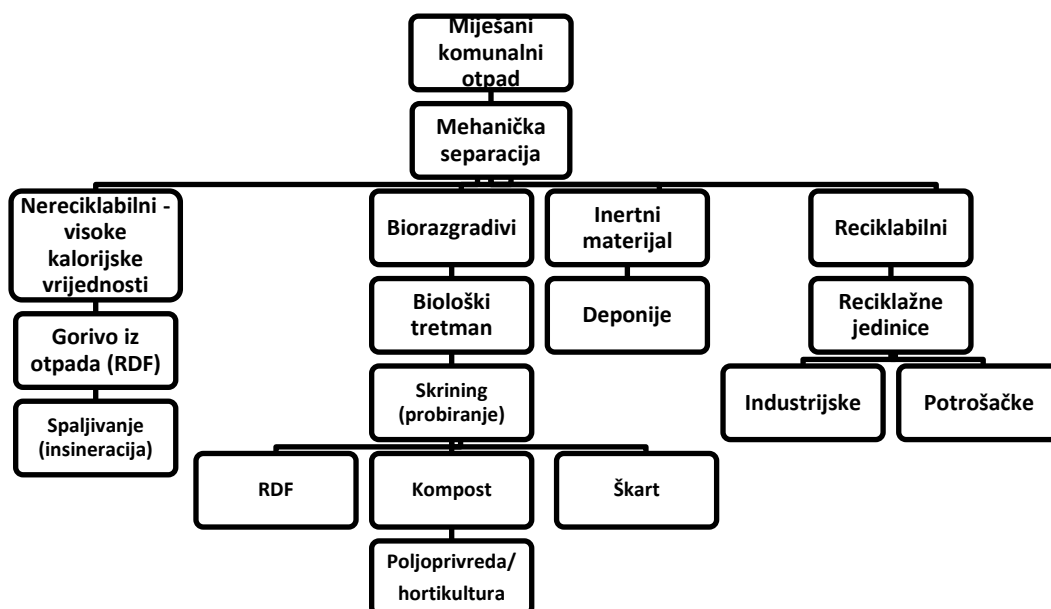
²⁶ EEP – skraćenica za Evropski ekonomski prostor (eng. *The European Economic Area* - EEA). EEP uključuje zemlje EU, kao i Island, Lihtenštajn i Norvešku. To im omogućava da budu dio jedinstvenog tržišta EU.

²⁷ Indikator mjeri udio recikliranog komunalnog otpada u ukupnoj proizvodnji komunalnog otpada. Reciklaža uključuje reciklažu materijala, kompostiranje i anaerobnu digestiju. Odnos je izražen u procentima (%).

Empirijski rezultati otkrivaju da na stope reciklaže i cirkularnosti pozitivno utiču faktori kao što su ekonomsko bogatstvo, nivo ekoloških poreza i rashodi za istraživanje i razvoj. Odlaganje na deponije gotovo da ne postoji u sjeverno-zapadnoj Evropi (Belgija, Nizozemska, Danska, Švedska, Njemačka, Austrija i Finska). Osim recikliranja, tamo je popularno i spaljivanje. Deponovanje je još uvijek popularno na istoku i jugu Europe. Prema dostupnim podacima (Eurostat, EEA) čak 10 država odlaže polovinu ili više otpada na deponije (Hrvatska, Rumunija, Bugarska i Slovačka odlažu preko 60% komunalnog otpada).

7. MEHANIČKO-BIOLOŠKI TRETMAN OTPADA

Mehaničko-biološki tretman²⁸ (engl. *mechanical–biological treatment, MBT*) podrazumijeva integraciju nekoliko procesa, pri čemu su osnovni ciljevi smanjenje količine biorazgradivog otpada na deponijama i stabilizacija organske frakcije koja se dalje može slati na proizvodnju čvrstog goriva iz otpada ili spaljivanje (insineraciju).



Slika 7.1. Generalni pristup mehaničko-biološkom tretmanu

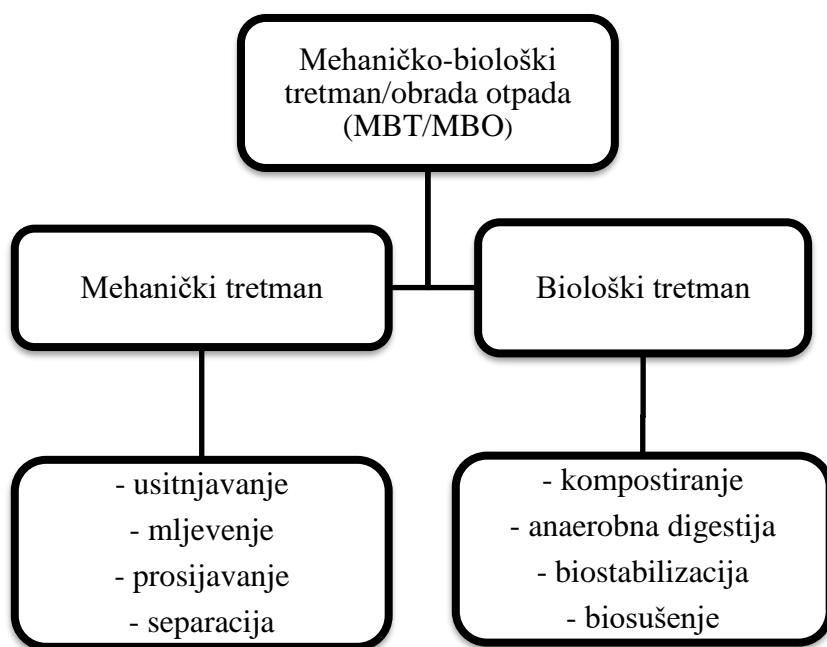
U pogledu upravljanja komunalnim čvrstim otpadom, MBT je sve češća opcija u Evropi, posebno zbog Direktive EU o deponijama koja je definisala zahtjeve u pogledu dizajna i rada deponije i obavezno postepeno smanjenje biorazgradive frakcije komunalnog čvrstog otpada koji se odlaze na deponije. Države članice imaju različite strategije za preusmjeravanje organske frakcije komunalnog otpada sa deponije na druge oblike iskorišćavanja otpada, na primjer: kompostiranje biorazgradivih frakcija otpada, spaljivanje komunalnog otpada, praćeno

²⁸ Pojam tretman/obrada otpada podrazumijeva neki postupak kojim se u: mehaničkom, fizičkom, termičkom, hemijskom ili biološkom procesu, uključujući razvrstavanje, mijenjaju svojstva otpada u svrhu smanjivanja količine i/ili opasnih svojstava, te olakšava rukovanje i poboljšava iskoristivost otpada.

odlaganjem ili recikliranjem ostataka sagorijevanja, i najnovije, mehanički biološki tretman (MBT) komunalnog otpada.

MBT postrojenja su dizajnirana za preradu mješovitog kućnog otpada kao i komercijalnog i industrijskog otpada. MBT nije jedna tehnologija niti cjelokupno rješenje, jer kombinuje širok spektar tehnika i postupaka obrade (mehaničkih i bioloških) diktiranih potrebama tržišta krajnjih proizvoda (slika 7.1).

Mehaničko-biološki tretman/obrada otpada (MBT/MBO) u osnovi obuhvata dva ključna procesa: mehanički i biološki tretman otpada. Pod mehaničkim dijelom tretmana podrazumijevaju se sve radnje kojima se pomiješane komponente unutar otpada nastoje razdvojiti u frakcije i u tu svrhu se koriste fizička svojstva samog otpada poput: oblika, gustine, težine, magnetizma i električne provodljivosti, boje i sl. Biološkim tretmanom nastoji se u što većoj mjeri razgraditi organska komponenta otpada.



Slika 7.2. Diferencijacija procesa kod MBT tehnologije

MBT sistemi se veoma razlikuju po svojoj složenosti i funkcionalnosti. S obzirom na to da je do sada razvijen velik broj varijanti MBT-a, pod tim su pojmom obuhvaćena postrojenja s velikim razlikama u tehničkoj opremljenosti i uslovima rada (slika 7.3.).

U mehaničkom dijelu otpad se fizički obrađuje sljedećim postupcima (slika 7.2.):

- 1) Usitnjavanje i paletizacija,
- 2) Drobljenje i mljevenje,
- 3) Prosijavanje i druge metode mehaničke separacije,
- 4) Separacija uslijed djelovanja elektromagnetskih sila.

Uz spomenute mehaničke postupke sortirnice imaju i ručno izdvajanje, gdje na ulazu miješanog otpada radnici ciljano s trake mogu odvojiti sve nepoželjno (opasne materije i glomazni otpad), čime se ciljano smanjuje količina otpada koja odlazi u naredni tretman. Glavni ciljevi mehaničkog tretmana su povrat reciklabilnih komponenata i komponenata za višekratnu upotrebu, kondicioniranje (smanjenje zapremine, smanjenje veličine čestica, koncentracije određenih jedinjenja) otpada za optimalnu naknadnu biološku ili termičku obradu.



Slika 7.3. Mehaničko-biološki tretman otpada (Sutco Recyclingtechnik, 2016)

Biološki tretman se može izvesti jednim od sljedećih procesa:

- 1) Kompostiranje,
- 2) Anaerobna digestija,
- 3) Biostabilizacija,
- 4) Biosušenje.

Kompostiranje se odvija u aerobnim uslovima (u prisustvu kiseonika) pri čemu se frakcija bogata organskom materijom razlaže u bubnjevima ili kantama, kao i u tunelima ili redovima koji zahtijevaju periodično miješanje (okretanje). Mehanički prevrtane ili statične gomile mogu biti opremljene ugrađenim sistemom za provjetravanje.

Anaerobna digestija ili fermentacija se odvija u anaerobnim uslovima (bez prisustva kiseonika) što zahtijeva zatvoreni sistem. Glavna prednost ove tehnologije je stvaranje biogasa koji se može koristiti za grijanje ili kao izvor

energije (npr. za automobile). Procesi anaerobne digestije i kompostiranja su detaljnije objašnjeni u poglavlju pod nazivom Biološki tretman/obrada otpada.

Biostabilizacija je tretman aerobne biokonverzije primijenjen na miješani komunalni otpad ili na kontaminirane organske frakcije (npr. nakon mehaničke selekcije) sa ciljem stvaranja stabilizovane organske frakcije pogodne za odlaganje na sanitarne deponije. Biostabilizacija uključuje pojačanu biološku degradaciju organske materije, u cilju smanjivanja težine i zapremine čvrstog komunalnog otpada, kao i smanjivanja zagađenje životne sredine od strane procjednih voda i deponijskih gasova. Biostabilizacijom se dobija stabilat – otpadni materijal sličan kompostu. Biostabilizovani proizvod može se koristiti i kao pokrivni materijal na deponiji.

Biosušenje je takođe tretman aerobne biokonverzije koji se primjenjuje na iste frakcije otpada, ali konačni proizvod je namijenjen za upotrebu kao RDF (*engl. Refuse Derived Fuel* – čvrsto gorivo iz otpada) ili za termički tretman u ovlaštenim postrojenjima (prema Direktivi 2000/76/CE). Oba procesa koriste aeraciju u masi otpada, ali sa različitim ciljevima: u slučaju biostabilizacije (dugotrajni proces) cilj je najveća konverzija organskog ugljenika, dok je za biosušenje (kratkotrajni proces) cilj iskorišćavanje egzotermnih reakcija za isparavanje većeg dijela vlažnosti u otpadu, sa najmanjom konverzijom organskog ugljenika

Neke od prednosti koje pruža biosušenje:

- 1) Znatno smanjenje vlage u otpadu;
- 2) Smanjenje volumena i mase otpada;
- 3) Djelomična biostabilizacija otpada;
- 4) Dobar predtretman otpada prije dalje obrade;
- 5) Mogućnost proizvodnje kvalitetnog goriva iz otpada (Bilgin & Tulun, 2015.).

U slučaju biosušenja, otpadni materijal prolazi kroz period brzog zagrijavanja dejstvom aerobnih mikroba. Biosušenje je jedan od postupaka biološke, aerobne razgradnje otpada koji je po svojim tehnološkim karakteristikama vrlo sličan procesu kompostiranja (toplota koju generišu mikrobi dovodi do brzog sušenja otpada). Postupak biosušenja koristi se kako bi se od komunalnog otpada, pomoću vazduha (kiseonika), dobio djelomično stabilan, suv i higijenski prihvatljiv proizvod, bez neugodnih mirisa, te sa visokom kalorijskom vrijednošću. Nakon što se dobije takav proizvod, on se može koristiti za proizvodnju visokokvalitetnog čvrstog goriva s visokim udjelom biomase koje se naziva SRF (*engl. Solid Recovered Fuel* – čvrsto obnovljeno gorivo).

Gorivo iz otpada proizvedeno iz krupnijeg otpada koji se uklanja iz materijala prije ulaska u fazu biološke obrade naziva se RDF. Takvo gorivo nije biostabilizovano, veće je vlage i bitno niže kalorijske vrijednosti od SRF. U postupku biosušenja aerobni mikroorganizmi proizvode toplotu i suše otpad, što ga čini pogodnim za dalju preradu. RDF može da sadrži sve gorive komponente otpada (papir, karton, tekstil, drvo, plastika, kuhinjski otpad i sl.), a SRF goriva samo određenu mješavinu: plastike, kartona i papira. Iz tog razloga SRF se smatra visoko kvalitetnim čvrstim gorivom definisanih karakteristika. RDF gorivo iz otpada se i dalje tretira kao otpad sa različitom kalorijskom moći i sadržajem Cl, Hg i teških metala. Vrijednosti za sadržaj hlora i žive su propisane normom u zavisnosti od namjene (hlor je nepoželjan zbog korozije, a živa zbog štetnosti po zdravlje).

Čvrsto gorivo iz otpada, SRF ili RDF, se može koristiti u cementarama ili elektranama, a uglavnom se sastoji od plastike i biorazgradivog organskog otpada. Uobičajena je zabluda da svi MBT procesi proizvode čvrsto gorivo iz otpada. To nije slučaj i strogo zavisi od konfiguracije sistema i pogodnih lokalnih tržišta za MBT proizvode. Inače, nakon izdvajanja reciklabilnih komponenata, zaostale frakcije mogu se spaliti radi smanjenja zapremine i povrata energije ili odložiti na deponije.

Koncept MBT otpada razvio se kao posljedica težnje da se redukuje količina biorazgradivog otpada koji se odlaže na deponije, čime se smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu, te da se sistemom automatske separacije omogući povrat korisnih sirovina iz otpada. U Evropi se poslednjih godina mehaničko-biološki tretman otpada primjenjuje kao alternativa ili dopuna spaljivanju otpada. Njemačka je globalni lider u dizajniranju i upotrebi ove tehnologije.

Važno je istaći da postoje postrojenja gdje se prvo izvodi biološka faza tretmana otpada i ona se nazivaju BMT postrojenja. Iako su ove dvije vrste tehnologije (MBT i BMT) slične, postoje značajne razlike u odnosima i kvalitetu materijala dobivenih iz miješanog komunalnog otpada.

7.1. PROIZVODI MBT PROCESA U ZAVISNOSTI OD PRIMIENJENIH TEHNOLOGIJA

Zavisno od primjenjenih tehnologija, sastava otpada i ciljeva tretmana proizvodi MBT mogu biti:

1. **Sirovina za recikliranje** – sortirane frakcije uključuju različite vrste polimernih materijala, staklo, metal, papir, i dr. Nakon sortiranja ove sekundarne sirovine se predaju specijalizovanim kompanijama za reciklažu, dok se preostali materijal prosljeđuje na dalji tretman u postrojenju za MBT.
2. **Kompost** – proizvod aerobnog tretmana čiji kvalitet zavisi od sastava otpada i niza faktora kao što su: temperatura, aeracija, odnos C/N, veličina čestica, sadržaj vlage i dr. Kompost boljeg kvaliteta se može dalje koristiti za poboljšavanje strukture zemljišta, kao i vraćanja hranljivih sastojaka, čime se povećava plodnost zemljišta.
3. **Biostabilat** – biostabilizovana izlazna frakcija, odnosno proizvod sličan kompostu (*engl. Compost Like Output – CLO*), nastao kontrolisanim procesom biorazgradnje u aerobnim uslovima. Zbog svojih fizičko-hemijskih osobina, „biostabilat“ u predviđenim uslovima deponovanja, obilježenih odsustvom procjednih voda u tijelu deponije, ima karakteristike inertnog materijala u kojem neće postojati uslovi za razvoj značajnijih količina deponijskog gasa, prvenstveno metana (CH_4).
4. **Biogas** – nastaje u anaerobnom procesu u kojem mikroorganizmi razgrađuju otpadne komponente. Biogas se može koristiti za proizvodnju električne i toplotne energije.
5. **Gorivo iz otpada** – sav organski otpad koji ima neku energetska vrijednost može postati gorivo iz otpada, a njegov kvalitet će zavistiti od primijenjene tehnologije.

Svaki od navedenih procesa zahtijeva primarno odvajanje opasnih materija (baterije, lijekovi, boje i lakovi, rastvarači, i sl.), a svaki od njih rezultira smanjenjem zapremine otpada (50–70% smanjenja zapremine), a samim tim i smanjenjem stakleničkih gasova, uglavnom na račun izbjegavanja stvaranja metana. Neke od najčešćih primjena primarnih produkata koji nastaju u određenim MBT procesima prikazane su u tabeli 7.1.

Osim jednog ili više primarnih produkata koji mogu nastati MBT procesom (čvrsto gorivo, biogas, kompost, biostabilizovani ostatak), u svim MBT procesima nastaju i sekundarni izlazni produkti, kao što su:

- 1) Materijali koji se mogu iskoristiti (papir, metali, plastika);
- 2) Otpadni materijal koji se odlaže na deponije;
- 3) Otpadne tehnološke vode;
- 4) Emisije u vazduh.

Tabela 7.1. Mogućnosti upotrebe izlaznih proizvoda iz MBT procesa

Izlazni produkt	Primjena
Kompost	U šumarstvu. Za poboljšanje kvaliteta zemljišta. Za poboljšanje kvaliteta pašnjaka. U vrtovima. Na kontaminiranom zemljištu.
Gorivo iz otpada	Sekundarno gorivo za spaljivanje u termoelektranama. Sekundarno gorivo u cementarama. Sekundarno gorivo za industrijske energane. Gorivo za energane na otpad („spalionice otpada”).
Biogas	Proizvodnja električne energije i toplote (kogeneracija) miješanjem sa zemnim gasom. Proizvodnja gasa za transport i industriju.
Ostatak za odlaganje	Odlaganje na deponijama. Biostabilizovani ostatak prikladan za odlaganje na deponijama.

Pored navedenih oblika mehaničkog tretmana otpada treba pomenuti i relativno novu tehnologiju upravljanja otpadom, pod nazivom baliranje, čime se omogućava privremeno odlaganje otpada, te njegov transport do mjesta gdje se može vršiti njegov tretman.

7.2. BALIRANJE OTPADA

Baliranje je mehanički tretman otpada koji podrazumijeva presovanje u bale i umotavanje u plastične folije. Baliranje spada u noviju tehnologiju upravljanja čvrstog otpada koja omogućava privremeno odlaganje otpada, te njegov transport do mjesta gdje se može obraditi. Bilo da ide na deponiju ili u postrojenje za reciklažu, sabijen i upakovan otpad omogućava lakše rukovanje i efikasiji transport do odredišta. Postupak baliranja smanjuje volumen otpada za 2–3 puta, te

je ekonomski prihvatljiviji od transporta otpada u rasutom stanju. Baliranje otpada se može primjenjivati i za potrebe transporta na velike udaljenosti. Sabijeni (presovani) materijal zauzima manje prostora u transportnom sredstvu, čime se smanjuje broj potrebnih putovanja, što rezultira smanjenjem troškova i smanjenom emisijom stakleničkih gasova iz transportnih vozila.

Sam proces baliranja traje nekoliko minuta, a dobijene bale su zamotane nepropusnom folijom od polietilena. Omotavanje se obavlja tako da se osigura vodonepropusnost sadržaja bale, štiti od ultraljubičastog UV zračenja, te sprečava curenje iz unutrašnjosti bale. Bale se koriste i za čuvanje energetske vrijednosti otpada jer se omatanjem u nepropusnu foliju prekida dotok vazduha čime se u bali zaustavljaju svi biološki procesi razgradnje otpada. Prije baliranja poželjno je izdvojiti otpad koji može probiti foliju (staklo, metal i sl.), kao i otpad namijenjen za recikliranje (papir, plastika i sl.). Nakon ove selekcije otpad se doprema u drobilicu, a po završetku drobljenja otpad se doprema do postojenja za presovanje i baliranje, odnosno umotavanje u elastičnu nepropusnu foliju.

Prednosti baliranja su: povećanje vijeka trajanja deponije zbog povećanja gustine otpada, smanjenje prašine, mirisa, saobraćaja i buke. U bali je otpad bez vazduha i dotoka vode, te se na neki način otpad mumificira, odnosno zaustavlja se njegova biološka razgradnja. Ako se bale odlažu na deponiju, prestaje potreba za ravnanjem, kompaktiranjem otpada i pokrivanje inertnim materijalima. Baliranjem komunalnog otpada smanjuje se: količina procjedne vode, emisija štetnih gasova u životnu sredinu, raznošenje lakih frakcija otpada, kao i širenje zaraznih bolesti putem glodara i ptica koje se hrane otpadom.

Nedostaci baliranja otpada se ogledaju u činjenici da komunalni otpad sadrži veliki udio organskog otpada (ostaci voća, povrća, prerađene hrane i drugih razgradivih materija), tako da je moguće da započne razgradnja otpada pod uticajem povećane temperature, te se različite fizičke i hemijske reakcije pokrenu u baliranom otpadu. Međutim, proces razgradanje otpada je mnogo sporiji u odnosu na otpad na deponijama, zbog sprečavanja dotoka vazduha i vode. Nedostatak baliranja se može ogledati u činjenici da u slučaju nepažljivog rukovanja balama, te zbog prisustva zaostalih oštih predmeta u otpadu, kao i zbog fotoraspada plastičnih folija i oštećenja usljed atmosferalija, dolazi do oštećenja i pucanja bala.



Slika 7.4. Balirani otpad na lokaciji Brezje u Varaždinu, Hrvatska (Regionalni Tjednik, 2018)

Iskustva iz Hrvatske, koja u nekim lokalnim zajednicama koristi baliranje otpada (npr. u Varaždinu), pokazuju da se ovaj tehnološki postupak ponekad počne koristiti kao privremeno rješenje u slučaju nemogućnosti deponovanja, a da se kasnije pretvori u dugogodišnji problem trajnog rješavanja baliranog otpada (slika 7.4).

7.3. UTICAJ MBT TEHNOLOGIJE NA ŽIVOTNU SREDINU

Pozitivni uticaji na životnu sredinu. Mehanički biološki tretmani (MBT) mogu se primijeniti kao jednostavne prakse koje mogu značajno smanjiti uticaje na životnu sredinu u odnosu na deponovnje otpada, budući da MBT postrojenja tretiraju nesortirani čvrsti otpad koji je u ranijoj praksi uglavnom završavao na deponijama. Organska frakcija komunalnog čvrstog otpada predstavlja ozbiljan ekološki rizik kada se odlaže na deponije, jer će naknadno biti podvrgnuta nekontrolisanoj biološkoj razgradnji. Stoga je osnovna ideja MBT-a da prethodno obradi takav otpad pod kontrolisanim uslovima prije njegovog konačnog odlaganja kako bi se optimizovala razgradnja organske frakcije, a samim tim i smanjio potencijal zagađenja. MBT takođe može pomoći u povratku dragocjenih materijala kroz selekciju u mehaničkoj fazi. Zatim se preostali otpad priprema za biološki tretman usitnjavanjem, miješanjem i po potrebi vlaženjem. Nakon toga dolazi biološka faza, čija je svrha da izvrši biološku stabilizaciju otpada.

Nekoliko ciljeva se postiže mehaničko-biološkim tretmanom otpada:

- 1) **Smanjenje zapremine deponije.** MBT može da poveća korisni vijek deponije, smanji količinu priliva otpada i spriječi gubljenje organske frakcije koja se tretira korišćenjem bioloških tehnologija. Kao rezultat razdvajanja i reciklaže frakcija otpada za višekratnu upotrebu, kao i

biološke razgradnje organske materije, zapremina deponije se smanjuje za 30% nakon mehaničkog tretmana i za 60% kombinovanim mehaničko-biološkim tretmanom (Heerenklage & Stegmann, 1995). Primjenom MBT procesa u sistemima upravljanja otpadom, radni vijek deponije može se optimizovati i produžiti za više od 15 godina (Lornage, et al. 2007). Evropska unija je usvojila uredbu o sanitarnim deponijama koja precizira da je konačno odlaganje čvrstog otpada dozvoljeno samo nakon „prethodne obrade“ u svim slučajevima kada se ne poštuju ograničenja utvrđena regulativom, a koja se tiču sastava čvrstog otpada. Ova uredba poklapa se sa principom da konačno odlaganje mora biti održivo za životnu sredinu i ljudsko zdravlje u okviru čitavog životnog ciklusa, smanjujući opasni otpad, emisije zagađujućih materija i produžavajući životni vijek deponije.

2) Smanjenje emisionog potencijala deponijskog gasa i procjednih voda.

Postrojenja za MBT značajno smanjuju vlažnost otpada redukovanjem i stabilizacijom organskog sadržaja u otpadu. Organski otpad je frakcija koja najviše utiče na stvaranje procjednih voda i deponijskog gasa. Ovaj gas doprinosi globalnom zagrijavanju, a time i promjeni klime. Otprilike jedna trećina svih antropogenih emisija metana (CH_4) u EU potiče od razlaganja biorazgradivog otpada na deponijama. Sastav i formiranje deponijskog gasa i procjednih voda zavise od metodologije predtretmana organskog otpada i znatno su smanjeni bilo kojim postupkom u okviru MBT. Poređenjem deponovanja neobrađenog komunalnog otpada sa mehaničko-biološki obrađenim otpadom utvrđeno je da se količina otpadnih gasova može smanjiti za 75% do 90% (Soyez, 2001). Tokom prethodne obrade, glavni dio lako razgradivih organskih jedinjenja pod aerobnim uslovima razlažu mikroorganizmi, dok nedegradabilne (nerazgradive) supstance ostaju na deponiji. Organska jedinjenja uključuju: celulozu, necelulozne ugljene hidrate, proteine, lipide i lignin. Mehaničko-biološkim tretmanom se dugotrajni mikrobiološki (i hemijski) procesi na deponiji skraćuju na nekoliko mjeseci. Pored toga, organsko opterećenje procjednih voda deponije takođe je smanjeno do 80% (Heerenklage & Stegmann, 1995). Kisela faza na deponiji je praktično eliminisana jer se organski materijal razgradio prije deponovanja (Soyez, 2001).

3) Povećanje kvaliteta rezidualnog otpada usljed uklanjanja i odvajanja zagađujućih materija i neželjenih komponenti. Primarni cilj MBT-a je smanjivanje ekološkog tereta odlaganja otpada putem stabilizacije otpada, odnosno dobijanja biostabilizovanog ostatka koji se može odložiti na deponije.

4) Poboljšanje uslova rada deponije usljed smanjenja prašine i emisije mirisa. Čak i ako MBT ne postigne maksimalan oporavak energije i materijala, on je sigurno usmjeren na sigurnije deponovanje.

Ukratko, deponovanje mehaničko-biološki prethodno obrađenog otpada uglavnom se odlikuje smanjenom zapreminom otpada, smanjenim emisijama gasova i procjednih voda koja se sastoji od ekološki opasnih jedinjenja, kao i smanjenom pojavom taloženja na deponiji. Mehaničko-biološki tretman otpada može, pod određenim uslovima, biti znatno isplativiji od spaljivanja otpada i zbog toga se na njega gleda kao na atraktivnu alternativnu tehnologiju. Međutim, do danas je stečeno malo iskustva u korišćenju ove tehnologije u zemljama u razvoju.

Negativni uticaji MBT na životnu sredinu. Pored svih navedenih doprinosa MBT tehnologije zaštiti životne sredine treba imati u vidu da pojedini procesi u postrojenju mogu izazvati povećane koncentracije prašine, mikroba i endotoksina²⁹, kao i povećan nivo buke štetan po zdravlje, a posebno tokom drobljenja otpada. Iz tog razloga neophodno je pratiti ove parametre kako bi se utvrdili mogući problemi i spriječile neželjene posljedice po zdravlje zaposlenih u postrojenju.

- 1) **Emisije u vazduh.** Prilikom mehaničkog tretmana otpada, a posebno prilikom biološkog tretmana otpada generišu se velike količine gasova, 2000–10000 m³/t tretiranog otpada. Ti gasovi sadrže prašinu, CH₄, NH₃ nešto N₂O i isparljiva organska jedinjenja (VOCs) koji uključuju etanol, BTEX (benzen, toluen, etilbenzen, ksilen), itd. (Fricke, et al., 2005). U razvijenim zemljama emisije gasova su regulisane zakonom, i sva MBT postrojenja su opremljena uređajima za tretman gasova.
- 2) **Otpadne vode.** Iz bioloških procesa tretmana se generiše otpadna voda, ali takođe i kondenzovana voda i tečnost iz kiselih skrubera. Ova voda može biti prečišćena i ponovo upotrijebljena. U situacijama kada se procjedna voda iz MBT-a ne može iskoristiti u biološkim procesima tretmana može da se tretira u postrojenjima koji nisu okviru MBT postrojenja. U većini slučajeva, u te svrhe se koriste postrojenja za tretman procjednih voda iz obližnjih deponija.

²⁹ Otrav u bakterijskoj ćeliji, tj. toksini u bakterijama.

8. BIOLOŠKI TRETMAN/OBRADA OTPADA

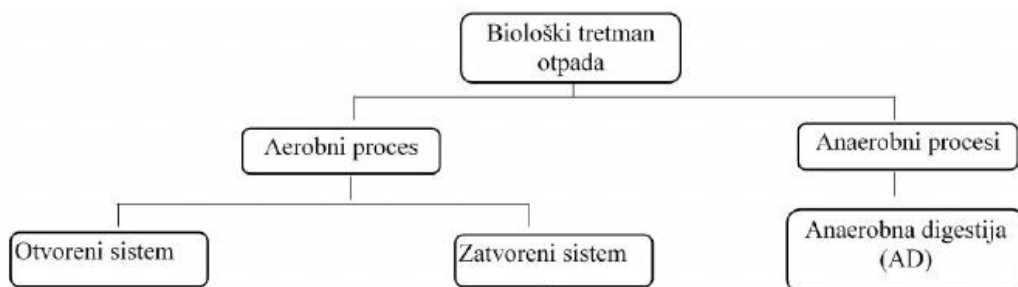
Biootpad je najveća pojedinačna komponenta komunalnog otpada, a takođe se generiše u poljoprivredi i industriji. Papir, karton, baštenski i prehrambeni otpad mogu se svrstati u široku kategoriju poznatu kao organski ili biorazgradivi otpad. U okviru EU–28 udio biootpada u komunalnom otpadu 2017. godine je bio veći od 34% (EEA, 2020). Zbog toga je reciklaža biootpada (gdje spada i kompostiranje) od presudnog značaja za dostizanje cilja u EU od 65% recikliranog otpada do 2035. godine.

Trenutne opcije upravljanja biotpadom koje se primjenjuju u EU uključuju prikupljanje (odvojeno ili miješano), anaerobnu digestiju i kompostiranje, spaljivanje, energetske iskorišćavanje i odlaganje otpada. Ekološke i ekonomske prednosti različitih načina upravljanja značajno zavise od lokalnih uslova, kao što su: gustina naseljenosti, infrastruktura i klima, kao i od tržišta proizvoda vezanih za ovu vrstu otpada (energija, kompost). Biološka frakcija iz miješanog komunalnog otpada nije pogodna za deponovanje s obzirom da njena razgradnja na deponijama predstavlja opasnost za podzemne vode (zbog ispiranja i procjeđivanja padavina), kao i vazduh (biološkom razgradnjom otpada nastaju štetni gasovi i neugodni mirisi). Upravo zbog ovih razloga se posljednjih decenija sve više koriste različite metode biološke obrade otpada.

Mnoge evropske zemlje već su uvele odvojeno sakupljanje biootpada, ali neke još uvek traže najbolju praksu i sredstva za primjenu. U 2018. godini je revidirana Okvirna direktiva o otpadu (EU, 2008, 2018b) prema kojoj je obaveza svih država članica EU da od kraja 2023. godine odvojeno sakupljaju biološki otpad ili osiguravaju recikliranje na izvoru. Indikativni cilj smanjenja otpada od hrane na nivou Unije, u skladu s Direktivom o otpadu, je 30% do 2025. i 50% do 2030. godine, uz podsticanje doniranja hrane. Pored ovog cilja, usvojeni su ambiciozni ciljevi smanjenja količine biootpada koji se odlaze na deponije o čemu se više može pročitati u poglavlju ove knjige pod nazivom Zakonodavni okvir upravljanja otpadom.

Kompostiranje uklanja veliki dio organskog biorazgradivog otpada iz ukupnog otpada i na taj način pomaže u ispunjavanju obaveza koje su stavljene na države članice EU u ispunjavanju zahtjeva Direktive EU o deponijama otpada (2018). Direktivom se želi smanjiti količina biorazgradivog otpada upućenog na deponiju, čime će se proces biorazgradnje koji se odvija na deponijama smanjiti, što će

rezultirati manjim stvaranjem deponijskih gasova, posebno ugljen-dioksida i metana koji su „gasovi sa efektom staklene bašte“.



Slika 8.1. Tipologija bioloških tretmana prema tipu procesa

Biološki tretman se može provoditi aerobno (u prisustvu kiseonika) ili anaerobno (bez kiseonika), uključujući i njihovu kombinaciju. Kako bi proces biološke obrade bio što uspješniji, mehaničkim postupcima se iz organske komponente izdvajaju neorganske komponente kao što su staklo, metali i druge komponente koje se tretiraju posebnim postupcima za obradu te vrste otpada (mehaničko-biološki tretman). Biološki tretman otpada se najviše koristi kod otpada kao što su: muljevi iz otpadnih voda, kuhinjski otpad, otpad iz poljoprivrede i sl. Razlikuju se tri osnovna postupka biološke obrade otpada:

- 1) Biološka obrada aerobnim mikroorganizmima (kompostiranje, aerobna stabilizacija, aerobno biološko sušenje).
- 2) Biološka obrada anaerobnim mikroorganizmima (fermentacija/digestija uz proizvodnju biogasa, anaerobna stabilizacija).
- 3) Biološka obrada glistama (Milanović, 2019).

Aerobna biološka obrada otpada praktikuje se na tri načina: sušenje otpada (kao i sušenje otpadnog mulja), stabilizacija otpada (smanjenje biorazgradivosti prije odlaganja), kompostiranje, odnosno materijalna obrada.

Anaerobna digestija je metoda biološkog tretmana koja se oslanja na djelovanje mikroorganizama za fermentaciju otpada i sve više se koristi za proizvodnju obnovljive energije. Anaerobna obrada se koristi za fermentaciju/digestiju uz proizvodnju biogasa i anaerobnu stabilizaciju.

Obrada glistama je vrlo efikasan način iskorišćavanja prikupljenog biootpada koji se primjenjuje u vrtlarstvu. Najčešća glista u ovom procesu je kišna kalifornijska glista, a konačni proizvod je vrlo sličan humusu.

8.1. KOMPOSTIRANJE

Kompostiranje predstavlja najstariji i najprirodniji način recikliranja otpada. To je prirodan proces razgradnje organske materije primjenjivan još od davnih vremena. Tehnologija kompostiranja je od tada unapređivana u smislu efikasnosti, potrebnog vremena, uticaja na zdravlje i okolinu, i po pitanju potrebnog prostora. Kompostirati se može u vlastitom vrtu ili dvorištu (samostalno), na pogodnim lokacijama u naseljima (zajedničko kompostiranje) i na velikim kompostanama (centralno kompostiranje) uz prethodno odvojeno prikupljanje biootpada u posebne kontejnere i odvoz na lokaciju kompostane.

Prema Zakonu o upravljanju otpadom („Sl. gl. RS“, broj: 111/13) kompostiranje se definiše kao tretman biorazgradivog otpada pod dejstvom mikroorganizama, u cilju stvaranja komposta, u prisustvu kiseonika i pod kontrolisanim uslovima.

Kompostiranje je prirodni proces razlaganja i recikliranja organske materije i njenog pretvaranja u krajnji proizvod koji se naziva kompost. To je biološki aerobni proces pretvaranja lako razgradivog organskog otpada u ugljen-dioksid i stabilnu organsku materiju (kompost). Kompost je koristan materijal, sličan humusu, koji nema neprijatan miris i koji se može koristiti kao sredstvo za poboljšanje kvaliteta zemljišta ili kao đubrivo (*lat. compostium* – đubrivo od biljnog otpada i zemlje). Korišćenje komposta u poljoprivredi ima niz prednosti, među kojima se mogu izdvojiti smanjivanje količine odloženog organskog otpada i smanjivanje količine vještačkih đubriva u biljnoj proizvodnji. To je važan i ujedno jeftin način poboljšavanja strukture zemljišta, kao i vraćanja hranljivih sastojaka. Na taj način, kompostiranjem se omogućava ponovno korišćenje organske frakcije čiji kvalitet zavisi od sastava materijala koji se obrađuje. Zbog visokog sadržaja organske materije, kompost ima povoljno meliorativno dejstvo na poboljšanje vodnog, vazdušnog, toplotnog i biološkog režima zemljišta.

Recikliranjem biološki razgradivog otpada do komposta, kao dijela cirkularne (kružne) ekonomije prihvatljive za životnu sredinu i ekonomski isplative, kompostiranje je našlo svoje mjesto u upravljanju otpadom. Kompostiranje predstavlja jedan od elementa integralnog sistema upravljanja otpadom koji se može primjeniti na miješani komunalni otpad ili odvojeno sakupljeni biootpad (baštenski otpad i otpad od hrane). Njime smanjujemo količinu otpada za odvoz i odlaganje, a kompostom vraćamo hranjive materije zemljištu iz kojeg su nastale, gdje će se postepeno pretvoriti u humus, odnosno plodno zemljište. Kompostiranje je kamen temeljac održivog razvoja, ali se često zanemaruje u okviru integralnih programa upravljanja komunalnim čvrstim otpadom.

Kompostiranje se može praktikovati u malim razmjerama na nivou pojedinačnog domaćinstva (slika 8.2.), kao i u velikom obimu putem šema kompostiranja, gdje se organski otpad prikupljen iz parkova, dvorišta, bašta i prehrambeni otpad, sakupljen direktno od domaćinstava u odvojenim kontejnerima, kompostira u velikim centralnim objektima. Okvirna Direktiva o otpadu EU članom 22. propisuje članicama obavezu odvajanja biootpada i recikliranja na izvoru te podsticanja kućnog kompostiranja.

Ključ za uspješno provođenje kućnog kompostiranja nije samo u obezbjeđivanju domaćinstava komposterima već i u provođenju edukacije kako na pravilan način kompostirati, kao i smanjenja naplate odvoza otpada za one koji provode kućno kompostiranje.



Slika 8.2. Kompostiranje u namjenskim posudama – komposterima i kompost kao krajnji proizvod (zadnja desno)

Svako domaćinstvo proizvodi velike količine organskog otpada koji se lako može pretvoriti u kvalitetan kompost. Prema nekim autorima u zemljama u razvoju u prosjeku preko 50% komunalnog čvrstog otpada može se zbrinuti kompostiranjem (Hoorweg, 1999). Većina analiza morfološkog sastava otpada pokazuje da je udio kuhinjskog otpada (ostaci voća, povrća, kafe, čaja i sl.) čini oko 30%. Ako ovoj količini dodamo vrtni otpad (oko 5%), te papir i karton (oko 20%) možemo zaključiti da je u nekim zemljama (kao npr. Hrvatska) oko polovine komunalnog otpada moguće trajno riješiti putem kompostiranja (treba pomenuti da nisu sve vrste i količine papira i kartona pogodne za proces kompostiranja).

Prednosti kompostiranja, između ostalog, su (EEA, 2002):

- 1) Jednostavna, dugotrajna i jeftina tehnologija (osim nekih zatvorenih sistema).
- 2) U prosjeku 40–45% od ukupne mase ulazne sirovine se može dalje koristiti.
- 3) Maksimalna iskorišćenost hranljivih sastojaka neophodnih u poljoprivredi (P, K, Mg i mikroelemenata).
- 4) Proizvodnja huminskih materija, korisnih mikroorganizama i sporo-oslobađajućeg azota potrebnih za pejzažno građevinarstvo.
- 5) Eliminira korov i patogene u otpadnom materijalu.
- 6) Mogućnost kontrole procesa (osim u slučaju kompostiranja bez aeracije, tj. prozračivanja).

Nedostaci ove tehnologije su sljedeći:

- 1) Kompost u nekim slučajevima sadrži teške metale, stoga je potrebno voditi računa o pred-tretmanu otpada za kompostiranje. Uglavnom većina zemalja u EU ima propisane vrijednosti o sadržaju teških metala u kompostu.
- 2) Gubitak 20–40% azota kao amonijaka, gubitak 40–60% ugljenika kao ugljen-dioksida.
- 3) Tokom procesa kompostiranja nastaju neprijatni miris i isparenja (koja je moguće kontrolisati i eliminisati između ostalog bio-filterima).
- 4) Biorazgradivi otpad mora biti razdvojen na mjestu nastanka.
- 5) Tržište za prodaju komposta mora biti razvijeno.
- 6) Problem prenosioca bolesti (glodari, muve, ptice), koji se mogu javiti tokom tretmana otpada.

Pored nabrojanih prednosti treba pomenuti da proces kompostiranja značajno smanjuje količinu deponovanog otpada, a time i negativan uticaj deponija na životnu sredinu. Kompostiranjem biootpada sprečavamo nastajanje stakleničkih gasova, posebno metana, gasa koji je višestruko štetniji od ugljen-dioksida i doprinosi efektu staklene bašte, a nastaje kao nusproizvod procesa anaerobnog raspadanja organskog otpada. Korišćenjem humusa nastalog u procesu kompostiranja smanjujemo potrebu za korišćenjem mineralnih đubriva koja takođe mogu biti štetna za životnu sredinu.

Tabela 8.1. Otpad koji se (ne) smije kompostirati

Šta se SMIJE kompostirati?	Šta se NE SMIJE kompostirati?
<p>Ostaci voća i povrća (usitnjene kore krompira, luka, banane, listovi salate, blitve, kelja...).</p> <p>Ostaci hljeba.</p> <p>Talog čaja i kave.</p> <p>Ljuske jajeta.</p> <p>Trava koja je pokošena prije cvjetanja (neosjemenjeni korovi), nejestivi dijelovi biljaka.</p> <p>Otpalo vlažno lišće (osim lišća od oraha) u tankom sloju, ali je bolje koristiti kao malč.</p> <p>Uvelo cvijeće, stara zemlja iz saksija za cvijeće;</p> <p>Piljevina (u manjim količinama, pomiješana sa zemljom).</p> <p>Papir, karton, ambalaža od jaja, novine, papirnate maramice (ne smiju biti u boji i lijepljene) – sve usitnjeno i navlaženo, u tanjim slojevima.</p> <p>Vuna, pamuk, odnosno stara odjeća prirodnih materijala ukoliko je dobro usitnjenja, ali u manjim količinama i pomiješana sa zemljom.</p> <p>Perje, životinjska dlaka, kosa.</p> <p>Ljuske oraha i šišarke (u malim količinama i usitnjeno).</p> <p>Pepeo od drveta (u malim količinama, ravnomjerno raspršen).</p> <p>Ostaci nakon orezivanja ukrasnog grmlja, stabala, ali dobro usitnjeni (bolje ih je iskoristiti za drenažni sloj).</p> <p>Kokošiji, zečiji izmet i stajsko đubrivo (ubrzava mikrobiološke procese).</p> <p>Kokošje perje, jer obogaćuje kompost fosforom.</p> <p>Grane i iglice četinara, lišće i grane breze (uzeti u obzir da se veoma sporo razlažu).</p>	<p>Neorganski materijali (guma, plastika, kamen, staklo, stiropor, sintetika i slični materijali koji se prirodno ne razlažu).</p> <p>Ostaci masti, ulja i bilo kakvi kuhani proizvodi: dugo se obrađuju, užasno mirišu i privlače mnoštvo muva.</p> <p>Bolesne biljke, one napadnute štetočinama i biljke tretirane pesticidima.</p> <p>Osjemenjeni korovi, citrusi, lišće oraha i hrasta (djeluju kao inhibitori mikroorganizama i zaustavljaju proces razgradnje).</p> <p>Otpaci koji sadrže boje i druge hemikalije (lakirano drvo, lijekovi, deterdženti, časopisi u boji...).</p> <p>Ostaci kuhane hrane (privlače glodare).</p> <p>Meso, kosti, ostaci ribe, mliječni proizvodi (oni zahtijevaju drugačije mikroorganizme za preradu i duže se razgrađuju, a zbog stvaranja neugodnog mirisa mogu privući druge životinje).</p> <p>Jednokratne pelene.</p> <p>Ostaci duvana.</p> <p>Sadržaj vrećica iz usisivača;</p> <p>Pepeo od uglja.</p> <p>Građevinski otpad, stiropor i drugi izolacioni materijali.</p> <p>Izmet ljudi, pasa i mačaka.</p>

8.1.1. Tehnologija kompostiranja

Tehnologija kompostiranja najčešće podrazumijeva sljedeće 3 faze:

I Priprema sirovine

II Proces kompostiranja

III Sazrijevanje komposta

I Faza – priprema sirovine

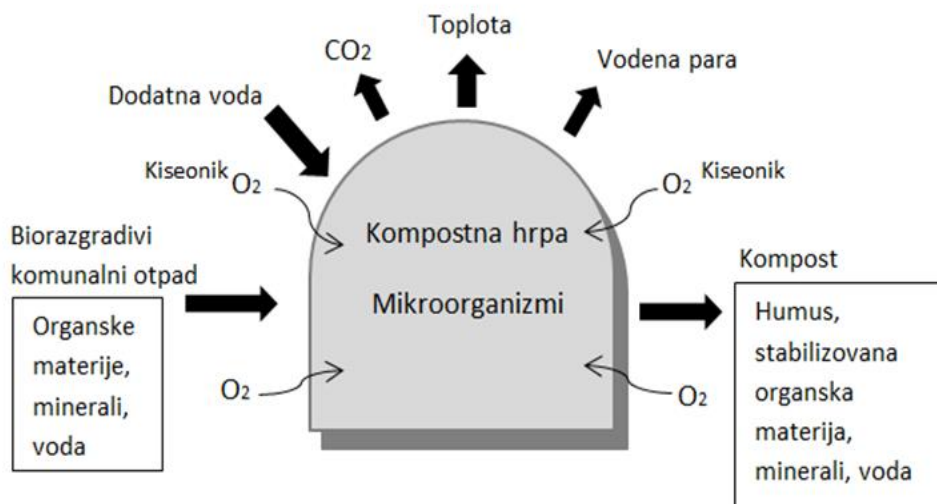
Priprema sirovine obično podrazumijeva izdvajanje inertnih materijala (staklo, plastika, metali, itd.), a zatim slijedi usitnjavanje i miješanje kako bi se postigla optimalna ravnoteža hranljivih sastojaka i poboljšala mikrobiološka aktivnost, struktura mase i sadržaj vlage za uspješno kompostiranje.

Sirovina za proces kompostiranja je biootpad koji se definiše kao: biološko razgradiv otpad iz vrtova i parkova, kuhinjski otpad iz domaćinstava, restorana, ugostiteljskih i maloprodajnih objekata i slični otpad iz proizvodnje prehrambenih proizvoda. Većina biootpada se može bez problema kompostirati. Ipak, neke komponente biorazgradivog otpada su manje poželjne za kompostiranje, a ima i onih kojima uopšte nije mjesto na kompostištu (tabela 8.1.).

II Faza – proces kompostiranja

Nakon pripreme sirovine vrši se kompostiranje. U tom trenutku prisutni mikroorganizmi aktivno razlažu otpad. Biokonverziju organske materije vrše različite grupe heterotrofnih mikroorganizama, a najaktivniji mikroorganizmi u procesu kompostiranja su bakterije, gljive i aktinomicete. Mikroorganizmi koji učestvuju u ovom procesu uzimaju vlagu, kiseonik iz vazduha i hranu iz organskog materijala. Krajnji produkti kompostiranja su: ugljen-dioksid, voda, minerali i stabilizovana organska materija (kompost). Dio oslobođene energije koristi se za rast i kretanje mikroorganizama, dok se ostatak oslobađa kao toplota (slika 8.3.).

Za kvalitetno odvijanje procesa neophodno je stalno miješanje otpada jer su mikroorganizmi izrazito osjetljivi na promjene uslova života. Već kraći nedostatak vazduha – kiseonika uzokuje njihovo umiranje, a time i zastoj aerobnih bioloških procesa uz pojavu neugodnih mirisa. Pored kiseonika sadržaj vode je odlučujući faktor za odvijanje bioloških procesa. Optimalna vlažnost će ubrzati razgradnju biotpada, dok će preveliki sadržaj vode otežati protok vazduha i odumiranje aerobnih mikroorganizama.



Slika 8.3. Slikovit prikaz procesa kompostiranja

III Faza – sazrijevanje komposta

Faza sazrijevanja uključuje dalju biorazgradnju intermedijarnih jedinjenja i može potrajati nekoliko nedjelja. Za vrijeme faze sazrijevanja, aktivnost mikroorganizama slabi kako se razlažu preostali dostupni nutrijenti. Kako se materijal u gomilama sporo razgrađuje, veoma je važno pratiti proces kako gomile ne bi postale anaerobne. Kada je očvršćivanje završeno, kompost se smatra stabilizovanim ili zrelim. Generisana toplota se smanjuje i kompostna masa se suši. Naknadna obrada ili post-tretman, odnosno Završne faze kompostiranja bili bi procesi poput prosijavanja i razvrstavanja radi uklanjanja nekompostiranih materijala i nepoželjnih primjesa poput: stakla, plastike i metala, a zatim prosijavanje, te priprema komposta za određeno tržište.

Zreo kompost, kao krajnji proizvod procesa kompostiranja, poboljšava mikrobiološku aktivnost zemljišta. Kompost obezbijедуje zemljište hranljivim materijama (nutrijentima). Što je raznovrsniji sastav početnog materijala, to je i kompost bogatiji u nutrijentima. Iz tog razloga može poslužiti kao đubrivo ili kao sredstvo za poboljšanje zemljišta. Upotreba komposta na degradiranom zemljištu može: umanjiti eroziju, povećati kapacitet zadržavanja vode, poboljšati strukturu zemljišta, a nakon toga i vegetacija se može brzo uspostaviti.

8.1.2. Faktori koji utiču na proces kompostiranja

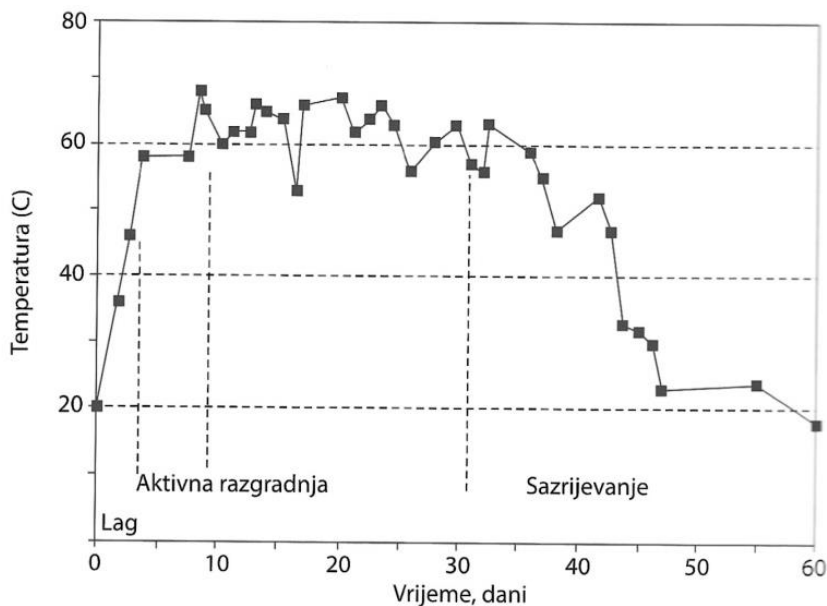
Kao u svakom biološkom procesu, tako i u kompostiranju postoji čitav niz elemenata koji utiču na proces aerobne razgradnje. Glavni ekološki parametri koje treba pravilno kontrolisati u procesu kompostiranja su: temperatura, aeracija, odnos C/N, veličina čestica, sadržaj vlage i pH vrijednost.

Temperatura

U sirovini koja se priprema za kompostiranje žive milioni mikroorganizama bez kojih proces ne bi bio moguć. Aktivnost mikroorganizama oslobađa energiju u obliku toplote koja se rasipa isparavanjem vode. Vrste mikroorganizama se mijenjaju tokom procesa kompostiranja u zavisnosti od temperature. Kada je temperatura relativno niska, od 15 °C do 20 °C, razgradnju počinje vrsta bakterija pod nazivom *Psychophiles*. Temperatura brzo raste u početnim fazama kompostiranja i na kraju opada kako se troši biorazgradivi organski ugljenik. Optimalno kompostiranje se obično javlja u mezofilnim (od 25 °C do 45 °C) i termofilnim uslovima (od 50 °C do 65 °C). Visoke temperature ubrzavaju razgradnju, a istovremeno uništavaju patogene organizme (uzročnike bolesti), sjeme korova i larve muva u kompostu. Ovaj proces se naziva higijenizacija biootpada, odnosno komposta. Dakle, ključna briga je kontrola temperatura u gomilama komposta na takav način da se optimizuje razgradnja organskog materijala i inaktivacija patogena (približno 55 °C). Po nekim autorima za higijenizaciju otpada je potrebno dvije sedmice pri temperaturi od 55 °C ili jedna sedmica pri temperaturi od 65 °C (Sredojević, 2003), dok po drugim osnovno pravilo za suzbijanje patogena je da se postupak komposta održava na 55 °C do 65 °C tokom 3 dana (Hoorweg, 1999). Što je temperatura viša, to je kraće vrijeme potrebno za odumiranje patogena. S druge strane, prekomjerne temperature (od 70 °C do 75 °C) usporit će proces kompostiranja uzrokujući da mnogi mikroorganizmi u kompostiranju miruju (inhibiraju), te povećati gubitak azota usljed isparavanja amonijaka (Wang, 2010). Prema tome, trenutna praksa je kontrolisanje operativnih postupaka u cilju održavanja temperature procesa, s max. temperaturom oko 60 °C do 65 °C. Iskustva pokazuju da se kompostna masa može početi koristiti nakon što temperature padne na oko 40 °C. Navedeni procesi ukazuju na potrebu angažovanja efikasnog operatera pri procesu kompostiranja koji je sposoban da uravnoteži potrebu za višim temperaturama za suzbijanje patogena i pri tome ne dozvoli prekomjerno zagrijavanje mase za kompostiranje, što bi usporilo proces.

Mikrobiološka aktivnost ostaje na vrhuncu sve dok se količina lako razgradljivih materijala ne počne smanjivati. Na grafikonu temperaturne krive (slika 8.4.), ovaj

period maksimalne aktivnosti označen je izravnavanjem krive (tj. visoravan). Ova faza može biti kratka samo nekoliko dana ili, ako je koncentracija otpornog materijala velika, i nekoliko nedjelja. Najčešće, temperature opada za 5 do 10 dana jer je završena oksidacija lako biorazgradivog organskog materijala. Treba istaći da je nagli pad temperature tokom aktivne faze razgradnje indikator neke neusklađenosti parametara (npr. nedostatak snabdijevanja kiseonikom, višak vlage) koje treba korigovati. Pad temperature usljed okretanja kompostne hrpe kratko traje.



Slika 8.4. Promjena temperature u toku procesa kompostiranja (Tchobanoglous, G., & Kreith, F., 2002)

Temperatura nije jednaka u svim dijelovima kompostne hrpe. Vanjski dijelovi su hladniji, dok je u unutrašnjosti temperatura maksimalna. Zato je potrebno prevrtanje kojim se dovodi kiseonik i izjednačava temperatura. Kod malih postrojenja za kompostiranje miješanje se najčešće vrši utovarivačima (slika 8.5.), dok se kod većih postrojenja koriste specijalne mašine, konstruisane za tu namjenu.



a)



b)

Slika 8.5. Miješanje kompostnog materijala: a) ručno; b) mašinski.
 (a – www.familyhandyman.com/article/what-to-know-about-composting;
 b – www.biocycle.net)

Aeracija

Kompostiranje je aerobni proces koji po definiciji zahtijeva **kiseonik**. Kiseonik je ključni element u respiratornim i metaboličkim aktivnostima mikroba. Mikrobi uključeni u proces kompostiranja dobijaju kiseonik iz vazduha sa kojim dolaze u kontakt. Zbog toga sadržaj kiseonika se mora neprestano dopunjavati, odnosno vazduh zamijenjivati. Potrošnja kiseonika je najveća u ranim fazama (zbog povećane mikrobiološke aktivnosti) i postepeno se smanjuje kako se proces nastavlja. Ograničavanje snabdijevanja kiseonikom usporava proces kompostiranja organskih materijala, stvarajući anaerobne uslove i neugodne mirise, tj. dolazi do truljenja materijala. Različite anaerobne reakcije mikroorganizama formiraju intermedijarna jedinjenja za razgradnju kao što su metan, vodonik-sulfid i organske kiseline. Fizičkim okretanjem komposta ili obezbjeđivanjem prinudne aeracije održavaju se aerobni uslovi i ograničavaju mirisi (slika 8.6.). Prekomjerne temperature takođe ukazuju da materijali ne dobijaju dovoljan protok vazduha. Učestalost okretanja zavisi od vrste sistema i dužine vremena za pravljenje komposta. U početku, kod visokih temperatura (prve tri sedmice), kompostnu hrpu je potrebno promiješati minimalno dva puta sedmično, a nakon toga jednom sedmično. Međutim, kompostne hrpe, oblikovane u rovove, mogu biti i statične ako se perforirane cijevi postave u bazu hrpe. Kroz njih se ubacuje vazduh pod pritiskom. Sistem aeracije koristi se i kod kompostiranja u kanalima ozidanim betonskim blokovima. Kod zatvorenih sistema za kompostiranje može se mjeriti koncentracija CO₂ (3–6%) kao indikator eventualnog razvoja anaerobnih uslova u sistemu.

Na potrebnu količinu kiseonikom utiče niz faktora kao što su: temperatura, sadržaj vlage, veličina bakterijske populacije i dostupnost hranljivih sastojaka (odnos ugljenika i azota).



Slika 8.6. Aerisanje kompostne hrpe u redovima
(www.agroklub.com/agrogalerija/kompost-domko)

Vlažnost

Neadekvatnost vlage je čest operativni faktor, jer kombinacija relativno visokih temperatura i intenzivne aeracije pogoduje isparavanju. U slučaju nedostatka vlage proces se usporava, odnosno prekida. S obzirom da gotovo sva biološka aktivnost prestaje sa sadržajem vlage manjim od oko 12%, što se sadržaj vlage u masi za kompostiranje bliže približava tom nivou, to je manji intenzitet aktivnosti mikroba. Efikasno kompostiranje zahtijeva da se sadržaj vlage u masi za kompostiranje održi na ili iznad 45–50% (Tchobanoglous, 2002). Nizak sadržaj vlage, obično ispod 40%, usporiče proces kompostiranja, dok će visok sadržaj vlage, obično iznad 60%, ograničiti kretanje vazduha kroz pore i dovesti do anaerobnih uslova, odnosno truljenja. Višak procjednih voda takođe može nastati ako je sadržaj vlage previsok. Treba održavati nivo vlage tako da se materijali temeljno navlaže, a da ne preplave. Vlažnost možemo najlakše provjeriti stavljanjem kompostnog materijala u šaku. Uopšteno, materijali su prevlažni ako se iz šake može istisnuti voda, a previše suvi ako se u šaci ne osjeća vlaga.

Nutrijenti (odnos ugljenika i azota C/N)

Primarni hranljivi sastojci (nutrijenti) potrebni za rast mikroorganizama su ugljenik (C), azot (N), fosfor (P) i kalijum (K). Bakterijama su takođe potrebni: sumpor, natrijum, kalcijum, magnezijum i gvožđe u tragovima koji su obično prisutni u

dovoljnim količinama u organskom materijalu. Od primarnih hranljivih sastojaka, ugljenik (C) i azot (N) igraju najvažniju ulogu u procesu kompostiranja, a različiti izvori sirovine imaju različit sadržaj ugljenika i azota³⁰. Mikroorganizmi koriste ugljenik za energiju i rast, dok je azot potreban za bjelančevine i reprodukciju. Količine ugljenika i azota, jedna u odnosu na drugu, nazivaju se odnosom ugljenik-azot (odnos C/N). Odnos C/N u rasponu od 25/1 do 30/1 je optimalan za kompostiranje organskog otpada. Pri manjim odnosima postoji višak azota i on se oslobađa u vidu amonijaka, te smanjuje biološku aktivnost. Pri višim odnosima može se desiti da nedostaje azota za ishranu. Ako je početni odnos C/N materijala za kompostiranje veći od optimalne vrijednosti (kao što su piljevina i pšenična slama), mikroorganizmi će imati ograničenja rasta zbog nedostatka azota (N) i moraće proći kroz mnoge životne cikluse, oksidirajući višak ugljenika (C). Zbog toga je potrebno dodatno vrijeme kompostiranja i dobija se manja količina konačnog humusa.

Optimalni odnos C/N može se postići kombinovanjem različitih organskih otpadaka. Na primer, suvo lišće, sijeno, papir ili sjeckane grane (sa visokim sadržajem ugljenika, sa malo azota) može se miješati sa otpadom od hrane ili zelenom vegetacijom (sa visokim sadržajem azota) kako bi se uravnotežio odnos C/N.

Mikroorganizmi

Mikroorganizmi su suštinska komponenta procesa kompostiranja, jer su odgovorni za biološku konverziju organske materije. Kompostiranje je mikrobiološka aktivnost, gdje u prisustvu kiseonika i vlage, jedna grupa mikroorganizama inicira aktivnost drugih grupa. U postupku kompostiranja različitog biootpada prvi proces je biodegradacija otpada raznim sitnim beskičmenjacima kao što su: grinje, stonoge, insekti, kišne gliste, puževi i drugi organizmi. Istraživanja su pokazala da nijedna čista kultura organizama ne može da se uporedi sa mješovitom kulturom u aerobnom kompostiranju organske materije. Mnogo vrsta je neophodno za kompostiranje. Najdominantnije grupe mikroorganizama koje vrše razgradnju organske materije su bakterije, gljive i aktinomicete. Značajnu ulogu u transformaciji celuloze, hemiceluloze i lignina imaju gljive. Termofilne bakterije

³⁰ Pri kompostiranju, supstrat i zalihe hranljivih sastojaka su sinonimi jer je supstrat izvor hranljivih sastojaka. Pri kompostiranju dvorišnog otpada i komunalnog otpada supstrat je biološki nastala organska frakcija otpada. Specifikacija „biološki nastala“ eliminiše sintetički organski otpad. Izuzimanje sintetičkih organskih materija ima vrlo praktičan značaj, jer eliminiše mnoge vrste plastike. Otpad biološkog porijekla razlikuje se od sintetičkog organskog otpada po molekularnoj strukturi i rasporedu. Primjeri organskog otpada biološkog porijekla su: drvo, papir i biljni usjevi. Plastika i gume su primjeri sintetičkih organskih materijala.

igraju glavnu ulogu u razgradnji proteina i drugog lako razgrađenog organskog materijala, dok aktinomicete i gljivice razlažu jedinjenja celuloze i lignina. Potrebni mikroorganizmi se brzo množe ako za njih postoji odgovarajući uslovi. Dostupnost kiseonika, odnosi C/N, sadržaj vlage i temperatura su glavne odrednice brzine procesa. Što je više manjih čestica, veća je biološka aktivnost i brzina kompostiranja. Proizvode se posebni aditivi kao načini za ubrzavanje procesa kompostiranja. Međutim, oni nisu neophodni jer postoji dovoljno pozadinskih bakterija da započne postupak kompostiranja, posebno ako se mali dio gotovog komposta u početku doda u organsku materiju. Međutim, neke vrste poljoprivrednih otpadaka, kao što su slama, lišće i vodeni korovi koji nemaju te organizme, mogu u početnom periodu zahtijevati unošenje fekalnog mulja ili mulja otpadnih voda.

Vrijednost pH

Vrijednost pH, kao i temperature, varira tokom odvijanja procesa kompostiranja. Za postizanje zadovoljavajućeg kompostiranja i dobijanje neutralnog komposta potrebni su optimalni nivoi pH između 6 i 8. Tokom prvih nekoliko dana kompostiranja može doći do blagog pada pH (na 5) zbog proizvodnje kiselih jedinjenja ili proizvodnje amonijaka. Kiseline služe kao hrana i podloga za razvoj drugih vrsta mikroorganizama. Poslije ovog perioda, pH ponovo postaje neutralan nakon što se ove kiseline reakcijama metanogenih bakterija pretvorene u metan i ugljen-dioksid. Bakterijama odgovaraju pH neutralni uslovi, dok gljivice se razvijaju bolje u blago kiselom okruženju. Neke vrste otpada mogu uticati na pad pH vrijednosti (voće i sl.) što se može riješiti dodavanjem gašenog kreča u cilju poboljšanja procesa kompostiranja. Bez obzira na početni pH i fluktuacije, krajnji proizvod će imati stabilan pH oko 7.

Kondicioniranje materijala

Poroznost, struktura, tekstura i veličina čestica utiču na proces kompostiranja. Poroznost je mjera vazdušnih prostora unutar gomile i utiče na protok vazduha; struktura se odnosi na čvrstinu čestica i sposobnost sprečavanja taloženja i zbijanja. Tekstura opisuje dostupnu površinu za mikrobiološku aktivnost (Rink, 1992).

Optimalna veličina čestica zavisi od sirovine, mada će manja veličina čestica povećati brzinu aerobnog raspadanja, jer se povećava raspoloživa površina. U zavisnosti od sastava sirovine, smanjenje veličine može se postići ručnim i mehaničkim metodama kao što su prosijavanje, mljevenje ili sjeckanje. Međutim u praksi postoji minimalna veličina ispod koje je izuzetno teško održavati neophodnu

poroznost kompostne mase. Za materijale koji imaju stabilnu strukturu ili se ne mogu lako sabiti kao što je vlaknasti otpad, grančice i stabljike kukuruza, pogodna veličina frakcija je od 13 mm do 50 mm. Veličina čestica većeg dijela svježe zelene biljne mase poput biljnog otpada, voća i pokošene trave ne bi trebalo da bude manja od 50 mm. S druge strane, u zavisnosti od njihove ukupne razgradljivosti, njihova maksimalna veličina čestica može biti do 150 mm ili čak i veća.

Sušenje

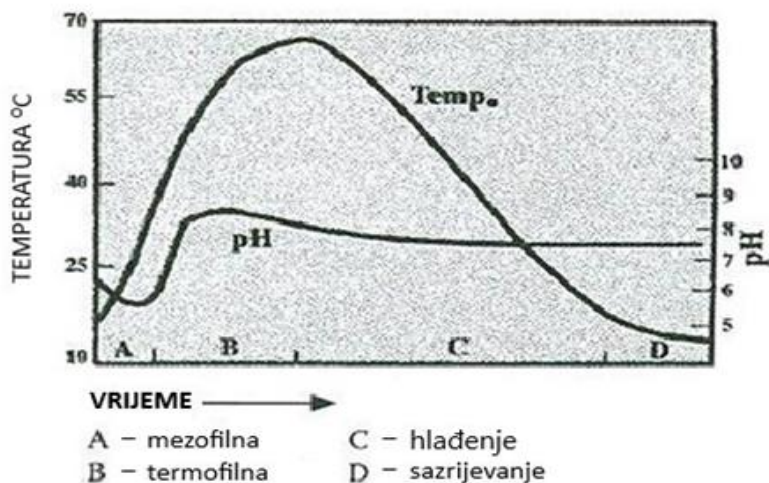
Sušenje je često zanemarena faza u procesu kompostiranja. Ova posljednja faza sprečava upotrebu nezrelog komposta omogućavajući mu da sazrijeva dok ne postane stabilan. Stvrdnjavanje se dešava na nižim temperaturama, troši manje kiseonika, generiše manje toplote i smanjuje isparavanje vlage. Ova faza nastavlja aerobno razlaganje otpornih jedinjenja, organskih kiselina i velikih čestica i povećava koncentraciju humusa (Rink, 1992). Nezreli kompost je nepoželjan krajnji proizvod, jer nastavlja da troši kiseonik, sadrži visok nivo organskih kiselina, posjeduje visok odnos C/N i može oštetiti rast biljaka kada se koristi u poljoprivredi. Kompost postaje zreo kako se temperatura približava uslovima okoline. Kondicioniranje poboljšava konačni kvalitet i izgled zrelog komposta. Ručno ili mehaničko prosijavanje je efikasan način uklanjanja neželjenih predmeta i odvajanja organskih sastojaka koji nisu potpuno razloženi. Prosijavanjem se takođe obezbijeduju različiti „stepeni“ komposta na osnovu veličine čestica, a grubi kompost se obično vraća u proces da bi se dalje oplemenio.

8.1.3. Biohemijske reakcije – procesi razgradnje biootpada

Glavne faze koje se mogu razlikovati u procesima kompostiranja prema temperaturnim obrascima su (slika 8.7.):

- 1) **Mezofilna faza** – faza rasta, koju karakteriše porast temperature zbog viška energije koju oslobađaju bakterije. U ovoj fazi bakterije i gljive razlažu velike količine visoko energetske, lako razgradivih jedinjenja poput šećera i proteina. Mezofilni mikroorganizmi (mezofili) su oni mikroorganizmi koji se najbolje razvijaju unutar kompostne gomile na temperaturama između 25 °C i 45 °C. Mezofili koriste slobodan kiseonik za transformaciju ugljenika iz kompostnih sirovina u cilju održavanja energije, te na taj način proizvode ugljen-dioksid i vodu. Kada temperatura dostigne 45 °C prestaju optimalni uslovi za dalji rast mezofilnih grupa i tada počinju da se razvijaju termofilne grupe mikroorganizama koje preferiraju višu temperature.

- 2) **Termofilna faza**, u kojoj temperatura raste do najvišeg nivoa. Kada temperatura dostigne vrijednost od 45° C, populacije mezofila umiru ili se povlače, a termofilni mikroorganizmi (oni koji se najbolje razvijaju na temperaturama između 45 °C i 70 °C) postaju aktivni, konzumirajući dostupne materijale. Termofilne gljive obično rastu nakon 5–10 dana kompostiranja. Ovo je faza u kojoj su stabilizacija otpada i uništavanje patogeni najefikasniji. Najviša temperatura se postiže ukoliko se kompostna gomila ne prevrće. U centru kompostne gomile temperatura dostiže i 80 °C i tu su aktivne samo visokotolerantne termofilne bakterije. Kada se ovi izvori potroše mikroorganizmi termofilne grupe umiru, a temperatura gomile opada. Tada mezofili ponovo dominiraju procesom razlaganja sve dok se ne iskoriste svi izvori energije.
- 3) **Faza sazrijevanja**, gdje se temperatura smanjuje na mezofilni i, shodno tome, ambijentalni nivo. S obzirom da temperatura sistema postepeno opada mezofilni mikroorganizmi ponovo počinju da rastu. Ovo je završna faza mezofilnog očvršćavanja ili sazrijevanja preostale organske materije i ta faza traje nekoliko meseci. Sekundarna fermentacija se odvija sporo i pogoduje humifikaciji, odnosno transformaciji nekih složenih organskih materija u humusne koloide usko povezane sa mineralima (željezo, kalcijum, azot, itd.) i na kraju u humus. Svježi, stabilizovani kompost se može dobiti kao rezultat procesa koji je trajao nekoliko sedmica, a zreo kompost dobija se nakon 6–12 mjeseci. Tako dobijeni humus možemo koristiti za đubrenje vrta, voćnjaka, vinograda i cvijetnjaka. Manje kvalitetan kompost može poslužiti kao inertan materijal za vanjska uređenja, prekrivanje deponija i slično. Kompost je zreo za upotrebu kada je njegov sadržaj potpuno izjednačen, odnosno kada se ne razlikuju njegove pojedine komponente, a kompost ima crnu homogenu masu. Smatra se da je kompost stabilisan kada je temperatura kompostne mase jednaka ili bliska temperaturi vazduha nekoliko dana, kada je sadržaj vlage oko 50% i sadržaj kiseonika veći od 5%.



Slika 8.7. Promjena toka temperature i pH vrijednosti tokom procesa kompostiranja

Nitrifikujuće bakterije imaju relativno spor rast i neaktivne su na temperaturama višim od 40 °C, pa će stoga postati aktivne nakon završetka reakcija organskog raspadanja otpada (faza rasta i termofilna faza). Tada dolazi do reakcije nitrifikacije u kojima se amonijak, nusproizvod stabilizacije otpada u obliku amonijum-jona, biološki oksiduje da bi postao nitrit (NO_2^-) i konačno nitrat (NO_3^-). Budući da je NO_3^- – oblik N koji je lako dostupan za usjeve, faza sazrijevanja tako postaje suštinski korak u kompostiranju za dobijanje kvalitetnog komposta za upotrebu kao đubrivo, tj. sredstvo za poboljšanje zemljišta.

Inače, hranljive materije vraćene kao kompost su u obliku mikrobiološke protoplazme i/ili organskih jedinjenja koja se polako razgrađuju. Ostale hranljive materije prisutne u kompostu, poput nitrata, lako su dostupne usjevima.

8.1.4. Sistemi za kompostiranje

U praksi se sreću različiti sistemi kompostiranja i mogu se podijeliti na različite načine. Jedna od osnovnih podjela je na procese kompostiranja na licu mjesta i izvan lokacije (*on-site* i *off-site*), odnosno podjela na decentralizovan i centralizovan proces kompostiranja.

Sistemi na licu mesta (*on-site*) su oni koji kompostiraju organski otpad na mjestima stvaranja, npr. kod kuće, a postupak kompostiranja se ne kontroliše, tj. odvija se prirodno ili se djelimično kontroliše uz postupke periodičnog miješanja. Ovaj način kompostiranja se još naziva i decentralizovano kompostiranje

(nereaktorski ili nemehanički sistemi), a poznato je i kao kompostiranje u zajednici. Prednosti decentralizovanog kompostiranja u odnosu na centralizovane sisteme su u mogućnosti smanjenja troškova za transport otpada, kao i troškova za izgradnju novih sabirnih lokacija, te omogućava lokalnu ponovnu upotrebu organskih materija. Pored toga, dobijeni kompost je relativno kvalitetniji zbog efikasnog razdvajanja i manje međusobne kontaminacije otpada u odnosu na sekundarno razdvajanje komunalnog otpada koji se najčešće primjenjuje u centralizovanom sistemu za kompostiranje. Nedostaci decentralizovanog kompostiranja se ogledaju u činjenici da sakupljanje organskog otpada u kontejnerima može rezultirati: nekontrolisanom razgradnjom organske materije koja dovodi do problema s neugodnim mirisima, nekontrolisanom emisijom stakleničkih gasova i stvaranjem procjednih voda u slučaju lošeg upravljanja otpadom.

Sistemi van lokacije (*off-site*) ili centralizovan proces kompostiranja uključuju prikupljanje i transport organskog otpada koji se kompostira u centralnim postrojenjima, a postupak kompostiranja se obično kontroliše ili ručno ili mehanički. Danas postoje mnogi proizvođači koji proizvode različite jedinice za kompostiranje koji služe za obradu fekalija, mulja ili komunalnih otpadaka. Off-site kompostiranje se primjenjuje kod velike količine organskog otpada koji treba da se razgradi putem aerobne reakcije kako bi se skratilo vrijeme kompostiranja i omogućila prerada veće količine otpada.

Decentralizovano kompostiranje (*on-site*)

Decentralizovano kompostiranje na nivou dvorišta ili zajednice pruža malim grupama način kompostiranja po relativno niskim troškovima. Domaćinstva, komercijalne ustanove (npr. male pijace ili prodavnice) i institucije (npr. vrtići, škole) na području koje generišu između veće količine organskog otpada mogu kompostirati na slobodnom zemljištu, u vrtovima ili u javnim parkovima.

Pojedinačni komposter za porodične kuće ili zgrade se koriste za tretiranje organskog kućnog otpada radi dobijanja komposta. Ovi pojedinačni komposter mogu imati različitu zapreminu u zavisnosti od količine proizvedenog biootpada i uglavnom se koriste u domaćinstvima koja su daleko od centralnog sistema za kompostiranje u zajednici ili ako takvi sistemi uopšte ne postoje. Metodologija koja se koristi u ovim komposterima u osnovi se sastoji od kombinovanja slojeva otpada od hrane sa slojevima formiranim od: opalog lišća, pokošene trave, piljevine ili usitnjenim otpadom od obrezivanja voćki u bašti ili dvorištu. Prednosti decentraliziranog kompostiranja ukazuju na potrebu podsticanja kompostiranja u domaćinstvima, kroz nabavku kompostera i obuku građana za kućno

kompostiranje. U ovom sistemu korisnici komposta i oni koji su odgovorni za dobijanje komposta su porodice koja stvaraju biootpad.

Postoji mnogo načina za decentralizovano kompostiranje organskih materijala, a osnovna podjela je na hladno (sporo) i vruće (brzo) kompostiranje.

Hladno (sporo) kompostiranje je prikladno sa materijalom bogatim ugljenikom, a siromašno azotom, a primjenjuje se ako ne postoji zabrinutost zbog male brzine kompostiranja, zbog želje za uništavanjem sjemena korova ili potrebe za suzbijanjem biljnih bolesti. Prednosti hladnog (sporog) kompostiranja uključuju jednostavnost primjene i niži nivo upravljanja. Nedostaci ovog načina kompostiranja uključuju malu brzinu razgradnje i mogućnost štetočina da iskopaju zatrpani otpad. Pored toga, ako sirovine sadrže patogene organizme ili sjeme korova, oni neće biti uništeni u procesu kompostiranja. Ova vrsta kompostiranja može uključivati kompostiranje lišća, trave i sličnog biootpada u dvorištu. Hladne gomile se mogu graditi gdje god je potreban kompost: ispod drveća, na osiromašenom zemljištu, u prostoru koji će biti bašta sljedeće godine, itd. Tokom godinu ili dvije, materijal će se raspasti, dodajući u zemlju dragocjene organske materije bez potreba za specijalnim kantama ili kompostiranjem.

Vruće (brzo) kompostiranje će dati najbržu stopu kompostiranja i najbolju kontrolu sjemena korova i biljnih patogena. Vruće kompostiranje je takođe najintenzivnija metoda i za uspjeh zahtijeva nekoliko elemenata, uključujući:

- 1) Najmanje 1 m³ materijala za pokretanje gomile.
- 2) Mješavina zelenih i smeđih materijala (odgovarajući odnos C/N).
- 3) Odgovarajući sadržaj vlage.
- 4) Često okretanje radi obezbjeđenja aeracije.
- 5) Veličina čestica manja od 2–3 cm.

Materijali sa različitim odnosom C/N i vlage se miješaju radi sprečavanja stvaranja kompaktnih slojeva koji mogu ograničiti protok vode i kiseonika kroz gomilu. Dodavanje smješe u sistem komposta vrši se u slojevima. Svaka novi sloj mora biti zalijevan tako da se vlaga ravnomjerno rasporedi. Takođe je moguće dodati svježije materijale u aktivnu (ili pasivnu) gomilu za kompostiranje. Jedan od načina za dodavanje materijala na postojeću gomilu je dodavanje tokom miješanja ili okretanja gomile. Ako se koristi više zelenih materijala (otpad od hrane ili zelena vegetacija), efekat će biti dodavanje azota i potencijalno ubrzavanje procesa kompostiranja, povećanje vlage i/ili zagrijavanje gomile. Ako se koristi više materijala bogatih ugljenikom (suvo lišće, sijeno, papir, sjeckane grane ili piljevina), efekat će usporiti proces kompostiranja, isušiti gomilu i/ili smanjiti temperaturu gomile.

Centralizovano kompostiranje (off-site)

Centralizovano kompostiranje (mehanički sistemi ili kompostiranje u reaktorima) smatra se obećavajućom tehnologijom u poređenju s konvencionalnim tehnologijama otvorenih sistema kao što su redovi ili gomile, jer ne zahtijeva okretanje mase za kompostiranje i osigurava dovoljno prozračivanja smjese (sa ili bez mehaničkog ubrizgavanja vazduha) za proizvodnju zrelog završnog komposta. Reaktorski sistemi su obično mehanički ili zatvoreni sistemi u kojima postupak može biti relativno brži od onog kod nereaktorskih sistema. Ovim postupkom kompostiranja može se prilično lako upravljati, jer se otpad može razlagati brže ili sporije u reaktoru, zavisno od potreba. Ovim postupkom, temperatura kompostiranja može se održavati ili upotrebom izolacije posude ili ubrizgavanjem vazduha kroz komposter. Ne proizvodi: loš miris, procjedne vode ili zagađujuće materije. Takođe, pruža kontrolu fizičkih i hemijskih parametara kao što su temperatura i vlaga i može se koristiti u različitim klimatskim sezonama.

Iako je organsko razlaganje prirodan proces, za radnike i susjedne stanovnike postoje dileme oko mogućeg uticaja na zdravlje i bezbjednost, koje treba uzeti u obzir prije izgradnje postrojenja. Uspostavljanje standarda za kompost i preduzimanje mjera predostrožnosti u izgradnji i radu postrojenja treba da pomognu u ublažavanju svih negativnih uticaja na zdravlje i bezbjednost.



Slika 8.8. Podjela sistema za kompostiranje

U literaturi se često sistemi za kompostiranje dijele na **otvorene** i **zatvorene**. Sa stajališta hemijskog inženjerstva sistemi se dijele na **nereaktorske** i **reaktorske**, pri čemu su nereaktorski zapravo otvoreni, a reaktorski zatvoreni sistema (slika

8.8.). Obe vrste sistema mogu i ne moraju biti opremljene s mehaničkom opremom, a mogu biti smještene na otvorenom prostoru ili unutar zatvorenog prostora. U upotrebi su i termini kao što su kompostiranje „u posudi“, „u tunelu“ i slično.

Sistemi za kompostiranje mogu biti otvoreni (nereaktorski) i zatvoreni (reaktorski), a koji će biti korišćen zavisi od nekoliko faktora, kao što su: vrsta otpada, raspoloživi prostor, zakonski propisi te ekonomska isplativost.

8.1.4.1. Kompostiranje u otvorenim (nereaktorskim) sistemima

U okviru otvorenih (nereaktorskih) sistema kompostiranja razlikuje se:

- 1) Kompostiranje u hrpama (gomilama).
- 2) Kompostiranje u redovima sa periodičnim prevrtanjem (engl. *Windrow*).
- 3) Kompostiranje u redovima, sa pasivnom aeracijom (engl. *Passively aerated windrows*).
- 4) Statičke gomile sa aktivnom aeracijom (engl. *Aerated static pile*).

8.1.4.1.1. Kompostiranje u hrpama (gomilama)

Kompostiranje u hrpama (gomilama) je široko korišćena metoda za kompostiranje komunalnog otpada zbog njegove jednostavnosti rada. Sirovina se periodično miješa pomoću prednjeg utovarivača ili slične opreme. Često okretanje omogućava uvođenje kiseonika i oslobađa višak toplote iz središta gomile čime se pospješuje ravnomjerno razlaganje materijala. Ovom metodom postupak kompostiranja završava se za otprilike 2 mjeseca do 1 godine. Gomile (hrpe) se mogu praviti na otvorenom ili u natkrivenom prostoru. Krov će spriječiti zasićenje padavinama (prevlaživanje) i posljedični razvoj anaerobnih uslova, kao i stvaranje veće količine procjednih voda. Problemi procjednih voda se inače rješavaju izgradnjom gomila na čvrstim površinama (po mogućnosti popločanim), okruženim rovovima za sakupljanje otpadnih voda. Frekvencije okretanja se kreću od dva puta nedeljno do jednom ili dva puta godišnje. Što se češće okreću gomile, brže se završava postupak kompostiranja. Tamo gdje su kontrola mirisa i brzina kompostiranja visoki prioritet, može se instalirati oprema za nadgledanje kiseonika koja upozorava operatere kada nivo O_2 padne ispod 10% do 15%, što je minimalna koncentracija kiseonika potrebna za aerobno razlaganje i za ograničavanje problema sa mirisima (Richard 1992). Jednostavni prenosni mjerači kiseonika i termometri mogu se umetnuti u kompostirajuću hrpu za procjenu nivoa O_2 i temperature gomile.

8.1.4.1.2. Kompostiranje u redovima s prevrtanjem

Kompostiranje u redovima s prevrtanjem (engl. *windrow*) je metod koji je široko rasprostranjen za kompostiranje komunalnog otpada zbog jednostavnosti upravljanja, a može imati različite varijante tehničkih rješenja. Gomile mogu biti konstruisane u obliku kupola ili izduženih redova. Visina gomila varira u zavisnosti od sirovine (otpada), sezone, lokalne klime, i opreme koja se koristi za prevrtanje. Obično su redovi formirani od sortiranog i isjeckanog komunalnog otpada, visine od 1,2 do 2 m. Širina gomila je obično dva puta veća od visine. Često su dimenzije gomile uslovljene veličinom opreme (mašine) za okretanje koje određuje: veličinu, oblik i razmak između redova. Ove mašine za prevrtanje i aeraciju mogu biti samohodne ili montirane na prednje utovarivače (slika 8.9.) i dr.



Slika 8.9. Samohodni miješač komposta na električni pogon (Compost Systems) lijevo i mini aerator za otpad (desno) (<http://compostingnews.com/2019/11/20>)

Samohodne mašine za pravljenje izduženih gomila minimiziraju potreban razmak između redova. Iskustva iz prakse pokazuju da se pravilnim miješanjem vrijeme kompostiranja može smanjiti na polovinu. S obzirom da je reakcija aerobna, kiseonik mora biti dostupan mikroorganizmima, a to se postiže okretanjem gomile posebno konstruisanom mješalicom (slika 8.10.).

Prevrtanje, odnosno miješanje otpada pospješuje proces aeracije, pri čemu se omogućava uniformnost razgradnje povećavanjem aeracione površine unutar gomile. Frekvencija miješanja zavisi od odnosa raspoloživog kiseonika i potrebnog kiseonika i može da varira od jednog miješanja na dan u ranim fazama kompostiranja do jednog miješanja u pet dana pred kraj procesa. Pored toga, struktura materijala i sadržaj vlage su neke od važnih karakteristika za određivanje frekvencije miješanja. Proces okretanja služi za uvođenje svježeg vazduha i oslobađanje zarobljene toplote, vlage i ustajalog vazduha. Gomile se obično postavljaju na šljunkovitu podlogu (korito) kako bi se omogućilo sakupljanje svih

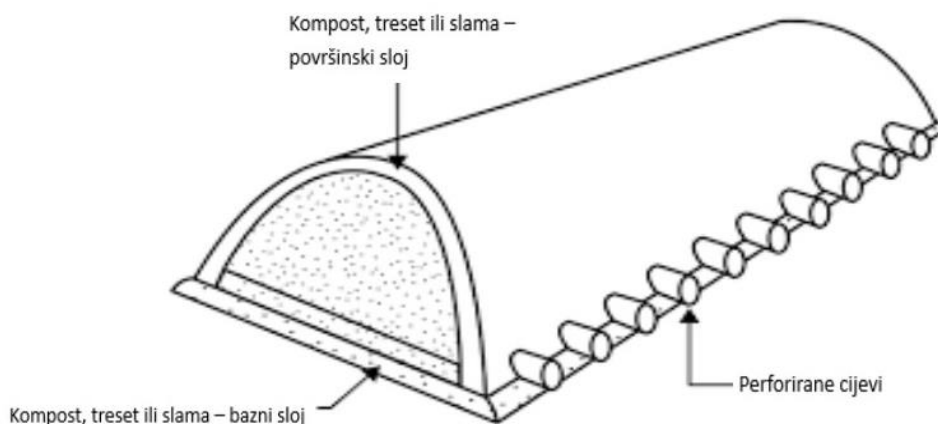
procjednih voda koje mogu nastati. Glavni nedostatak metode kompostiranja u redovima je taj što je potrebna velika površina zemljišta na kome relativno dugo traje proces razlaganja (najmanje tri mjeseca, isključujući sazrijevanje komposta).



Slika 8.10. Miješalica za kompostiranje u redovima (desno Tehniks, 2019; lijevo Compost Systems)

8.1.4.1.3. Kompostiranje u redovima s pasivnom aeracijom

Kompostiranje u redovima sa pasivnom aeracijom (engl. *Passively aerated windrows*) (slika 8.11.) zasniva se na formiranju redova preko perforiranih cijevi kroz koje se vazduh pasivno kreće i na taj način se materijal snabdijeva potrebnim kiseonikom.



Slika 8.11. Kompostiranje u redovima sa pasivnom aeracijom

Redovi se ne okreću za vrijeme kompostiranja, niti se koristi oprema sa aktivnom aeracijom, što značajno smanjuje operativne i kapitalne troškove u odnosu na kompostiranje u redovima sa prevrtanjem. Kako se materijal neće okretati, mora se obratiti posebna pažnja na: veličinu, strukturu, vlagu i poroznost materijala prilikom izrade redova kako bi se održala adekvatna aeracija tokom cijelog procesa.

Redovi sa pasivnom aeracijom se razlikuje od kompostiranja sa prevrtanjem i po postojanju baznog i površinskog sloja. Bazni sloj je tipično sastavljen od treseta, slame ili gotovog komposta. Ovaj sloj treba da bude porozan kako bi vazduh mogao jednako da se rasporedi, a ujedno ako obezbijuje izolaciju nasipa i apsorpciju vlage. Površinski sloj je sastavljen od: treseta, slame ili gotovog komposta i ima nekoliko funkcija: zadržavanje mirisa, odbijanje muva i ostalih insekata, zadržavanje vlage i amonijaka. Ovaj tip kompostiranja zahtijeva praćenje temperature i poroznosti nasipa. Kao i kod kompostiranja u redovima sa prevrtanjem, ključni element je uspostavljanje dobre poroznosti i strukture kako bi se omogućila adekvatna aeracija. Važno je izbjegavati zbijanje materijala prilikom izrade redova sirovina za kompostiranje. Cijevi za prozračivanje postavljaju se na vrh donjeg sloja treseta/komposta. Kada se završi proces kompostiranja, cijevi se uklanjaju, a osnovni materijal se miješa s kompostom. Kompostiranje sa pasivnom aeracijom zahtijeva da visina nasipa bude 0,9 do 1,2 m, a širina 3 m. Debljina baznog i površinskog sloja je oko 15 centimetara.

8.1.4.1.4. Kompostiranje u redovima sa aktivnom aeracijom

U pogledu procesa rada, metod kompostiranja u redovima sa aktivnom aeracijom (engl. *Aerated static pile*), odnosno metod statične aerisane gomile, je nešto složeniji od kompostiranja u dugim redovima. Glavna razlika je u tome što se ove gomile ne miješaju (prevrću) nego se set perforiranih cijevi smiješta unutar ili na dno kompostne gomile, a služe za dopremanje svježeg vazduha, dok materijal ostaje statičan (slika 8.12.). Vazduh se uduvava da bi se obezbijedio potreban kiseonik za biološku konverziju. Snabdijevanje vazduhom može biti putem sistema negativnog pritiska (isisavanje) ili pozitivnog pritiska (uduvavanje). Ventilatori ili duvaljke tjeraju vazduh kroz cijevi, koji se zatim provlači kroz masu otpada (sirovine). Ventilatori koji se koriste u ovom tipu kompostiranja mogu raditi kontinuirano ili u intervalima, pri čemu intervali mogu biti unaprijed određeni u zavisnosti od temperature komposta. Na ovaj način se uspostavlja mnogo veća kontrola nad procesom u odnosu na kompostiranje u redovima sa prevrtanjem.

Ovaj pristup je efikasan kada je prostor ograničen i kada postupak kompostiranja mora biti završen relativno brzo.



Slika 8.12. Statične aerisane gomile (Biocycle, 2018)

Ventilatori sa negativnim pritiskom su pogodniji jer mogu sakupiti sve gasove i neprijatne mirise i sprovesti ih u biofilter³¹ koji će ih razgraditi. Sa pozitivnim pritiskom ventilatori mogu emitovati neprijatne mirise, što zahtijeva povećanje debljine sloja pokrivke. S druge strane, ovaj sistem je efikasniji u brzom hlađenju materijala i u dotoku svježeg vazduha. Preko formiranog nasipa se obično nanosi sloj gotovog komposta čime se sprečava isušivanje, formira toplotna izolacija i štiti od štetočina i neprijatnih mirisa. Proces kompostiranja traje 3 do 6 mjeseci uz pažljivo nadgledanje i održavanje nivoa kiseonika i temperature.

8.1.4.2. Kompostiranje u zatvorenim (reaktorskim) sistemima

Razvoj tehnike i tehnologije omogućava efikasnije načine kompostiranja koje se provodi u kontrolisanim aerobnim uslovima, pomoću mikroorganizama koji su prirodno prisutni u životnoj sredini. Tu ubrajamo bioreaktorsko kompostiranje kojom se u kontrolisanim uslovima iz organskog i biorazgradivog otpada proizvodi kvalitetan kompost, i to u vremenu od samo šest do osam sedmica. U posljednjih nekoliko godina, vrsta i broj bioreaktora su se znatno povećali. Rast novih dizajna dijelom je posljedica regulatornih zahtjeva koje su donijele neke evropske zemlje i EU.

³¹ Biofilteri su tehnologija za kontrolu zagađenja vazduha koja koristi mikroorganizme za razgradnju gasovitih zagađujućih materija i proizvodnju neškodljivih krajnjih proizvoda (<https://xactsystemscomposting.com/images/>).



Slika 8.13. Jedinica za kompostiranje u obliku bubnja u okrugu Hannover (Sjeverna Karolina) (Biocycle, 2018) (lijevo); desno – XACT Systems Composting (2020)³²

Zatvoreni sistemi se takođe nazivaju sistemima u posudama (engl. *In-vessel systems*), a posuda za kompostiranje se može nazvati reaktorom ili bioreaktorom. Reaktori su obično dugačke posude, u horizontalnoj (slika 8.13) ili vertikalnoj konfiguraciji. U zatvorenim sistemima postoje razne grupe metoda s različitim kombinacijama posuda, uređaja za aeraciju i mehanizama okretanja, kako bi se ubrzao proces kompostiranja. Miješanje materijala za kompostiranje se postiže mehanički, npr. pokretnom trakom ili mješalicom sa lopaticama (slika 8.14.).

Sistemi u posudama namijenjeni su pružanju veće kontrole procesa kompostiranja, omogućavajući da: temperatura, sadržaj vlage i dovod vazduha budu usko prilagođeni zahtjevima procesa razlaganja, a obično omogućavaju bolju kontrolu emisija poput mirisa i procjednih voda. Ovi sistemi mogu biti skupi za instalaciju, rad i održavanje, ali su uglavnom visoko efikasni.

Mnoge metode kombinuju tehnike iz metode **redova s prevrtanjem** i metode **aktivne aeracije** u pokušaju da se prevladaju nedostaci i iskoriste prednosti svake metode. Miješanje se postiže mehaničkim okretanjem pokretnog remena, pokretnih lopatica ili bubnja. Kompostiranjem u zatvorenim sistemima mogu se preraditi velike količine otpada, a da ne zauzme toliko prostora kao metoda redova sa prevrtanjem (*windrow*), a može primiti praktično bilo koju vrstu organskog otpada (npr. meso, stajsko đubrivo, tvrdi bioostaci, ostaci hrane). Kao i u svim sistemima za kompostiranje, dovod vazduha u sav materijal koji se kompostira primarni je faktor koji određuje efikasnost postupka. Glavna prednost zatvorenog sistema kompostiranja je da se gasovi od procesa kompostiranja mogu kontrolisati i na taj način smanjiti emisija neprijatnih mirisa koji potiču od procesa kompostiranja. Ovi

³² Noviji dizajn bioreaktora za brže i bolje kompostiranje – kompostira organski otpad za 4 do 7 dana, kontroliše mirise i procjedne vode, te ubija patogene.

sistemi omogućavaju bolju kontrolu: temperature, vlage, aeracije i brzine miješanja, te proizvode kompost za samo nekoliko sedmica.



Slika 8.14. Izgled horizontalnog bioreaktora za kompostiranje i pogled na konstrukciju prevrtača (HotRot)³³

Potrebno je još nekoliko sedmica ili mjeseci da bi kompost bio spreman za upotrebu. Iako su dostupni različiti dizajni, slični su po tome što ovi sistemi imaju visoke početne troškove, ali i troškove održavanja. Ipak, kompostiranje u zatvorenim sistemima i sudovima posljednjih godina postaju sve popularniji zbog jednostavnije kontrole procesa i mirisa, kraćeg vremena trajanja i manjeg prostora koji zauzima. Vrijeme zadržavanja u reaktoru je u granicama od 1 do 2 nedjelje, dok je vrijeme sazrijevanja duže, od 4 do 12 nedjelja. Stvarno vrijeme zadržavanja zavisi od vrste supstrata koja se koristi. Međutim, po završetku faze brze razgradnje, materijal koji izlazi iz reaktora uglavnom se prebacuje u redove da se nastavi kompostiranje metodom s prevrtanjem (*engl. windrow*) kako bi se postigla faza očvršćavanja. Ovakvi sistemi zahtijevaju obezbjeđivanje velike količine početnog materijala kako bi investicija imala smisla. Uglavnom se primjenjuje u većim gradovima, regionima i poljoprivrednim dobrima.

Vrsta posude koja se koristi u zatvorenim sistemima uključuje: vertikalni toranj, vodoravne pravougaone i kružne rezervoare i kružne rotirajuće rezervoare. Veličina ovih sistema može varirati u veličini i kapacitetu. Neki od dizajna bubnjeva sadrže unutrašnje lopatice koje u kombinaciji s rotacijskim djelovanjem bubnja doprinose usitnjavanju i miješanju sirovine. Bioreaktori u posudama mogu se klasifikovati na osnovu funkcije kretanja materijala na dvije grupe: statične i dinamične.

³³ <https://www.agriculture-xprt.com/products/hotrot-model-1811-composting-unit-616174>.

Zatvoreni sistemi (reaktorski) ili kompostiranje u posudama, gdje se cjelokupan proces ili dio procesa odvija u zatvorenom reaktoru, dijele se na:

- 1) Vertikalni i
- 2) Horizontalni.

Ostale tehnologije koje postoje u okviru zatvorenog sistema kompostiranja se baziraju na ove dvije tehnologije.

8.1.4.2.1. Vertikalni zatvoreni sistemi

Vertikalni zatvoreni sistemi obično uključuje neku vrstu cilindričnog kontejnera ili rezervoara i obično se nazivaju silosi ili tornjevi. Reaktori su proizvedeni od čelika i betona i uglavnom su termički izolovani. U većini vertikalnih reaktora biorazgradivi otpad za kompostiranje uvodi se kroz vrh i uklanja sa dna posuda nakon nekoliko dana od početka procesa, nakon čega slijedi faza sazrijevanja. Stvrdnjavanje proizvoda može se odvijati u drugom silosu ili u redovima/gomilama. Kiseonik se mikroorganizmima upumpava prisilnom aeracijom, bilo sa dna ili iz okomitih cijevi u kompostnom materijalu. Gas uklonjen iz reaktora transportuje se u sistem za prečišćavanje gasova. Ovaj proces se takođe može izvoditi na potpuno automatizovan način. Dio vertikalnih reaktora koji se korišćeni za kompostiranje čvrstog otpada i komunalnog mulja su imali niz operativnih poteškoća u procesu kompostiranja i zatvoreni su. Težina materijala za kompostiranje u sistemima na bazi silosa ili sličnim sistemima može biti dovoljna da prouzrokuje zbijanje materijala na dnu reaktora i ometa aeraciju, što značajno smanjuje efikasnost razgradnje. Ovaj nedostatak se može riješiti izgradnjom dopunske aeracije iznad dna reaktora ili uključivanjem rotirajuće pokretne ruke (prevrtača) u dnu silosa.

8.1.4.2.2. Horizontalni zatvoreni sistemi

Horizontalni bioreaktori mogu se podijeliti na:

- 1) Kanale.
- 2) Čelije.
- 3) Kontejnere.
- 4) Tunele.

Kanali ili rovovi su slični objektima za kompostiranje u redovima. Glavna razlika između kanala i redova je u tome što se u kompostiranju kanala materijal koji treba tretirati postavlja između zidova, visine od 1 do oko 3 m. Obično se prisilno

provjetravanje provodi u kombinaciji s mehaničkim okretanjem. Svi rovovi su smješteni unutar zgrade. Vazduh koji se uklanja iz zgrade usmjerava se na biofilter ili drugi uređaj za kontrolu zagađenja vazduha.

Ćelije su poznate i kao bioćelije, hermetički su zatvorene jedinice, uglavnom pravougaonog oblika, u kojima se odvija kompostiranje. Pošto su kontejneri potpuno zatvoreni, uslovi okoline u procesu kompostiranja mogu se optimizovati. Većina dizajna uključuje toplotnu izolaciju na svim spoljnim površinama kako bi se gubici toplote sveli na minimum. Visina materijala unutar posude mora biti pažljivo odabrana kako bi se ograničilo zbijanje i omogućila pravilna distribucija vazduha kroz masu kompostiranja. Vlaga se dodaje u biomasu pomoću sistema za zalivanje na vrhu ćelije (mlaznice i cijevi). Sav višak vlage se sakuplja i recirkulira.

Kontejneri su obično pravougaonog oblika, zapreminskih kapaciteta od 20 m³ do 40 m³. U tipičnoj instalaciji, vrh kontejnera se otvara, a sirovina se ubacuje u kontejner pomoću transportne trake ili prednjeg utovarivača. Ova metoda nema sistem za miješanje materijala, odnosno materijal ostaje statičan, a ventilator snabdijeva kiseonikom, uklanja višak toplote i vlažnosti. Vazduh se uvodi kroz cjevovod instaliran na dnu kontejnera, a voda putem prskalica. Višak vlage se odvodi kroz rupice na dnu kontejnera i recirkuliše u sistem. Vazduh koji se uklanja iz kontejnera transportuje se do sistema biofiltera. Obično su kontejneri opremljeni sistemom za dodavanje vode, a višak vlage uklanja se gravitacijom kroz perforacije smještene na dnu posude. Cjelokupni postupak tretmana traje oko dvije sedmice. Prenosivi kontejneri obično su veličine kamionske prikolice, a pogodni su za djelatnosti s udaljenim izvorom glavnih sirovina za kompostiranje. Kompostiranje u zatvorenim kontejnerima se obično koristi za manje količine otpada od prerade hrane i otpada od ugostiteljstva.

Tuneli, ili biotuneli, u osnovi su izolovane, pravougaone kutije izrađene od metala, betona ili cigle (slika 8.15.). Tuneli imaju posebna područja za utovar i istovar. Supstrat se svakodnevno uvodi na jednom kraju tunela. Materijal se pomijera prema suprotnom kraju tunela pomoću hidrauličnog klipa (gurajući materijal naprijed) ili kretanjem pokretnih podova. Nadgleda se nivo vlage i kiseonika, a po potrebi se mogu dodavati voda i vazduh. Obrađeni materijal istovara se na suprotnom kraju tunela. Tuneli mogu biti pojedinačni ili višestruki.

Nagnuti reaktor ili rotirajući bubanj je najčešći vid kompostiranja u posudama, iako ovaj pristup samo započinje kompostiranje i ne završava termofilnu obradu. Nagnuti ili rotirajući bubanj sastoji se od rotirajućeg cilindra koji je napravljen pod blagim nagibom kako bi se omogućilo kretanje materijala od početka ka izlazu (slika 8.16.). Neki bubnjevi imaju unutrašnje lopatice koje, u kombinaciji sa

rotirajućim djelovanjem bubnja, prisiljavaju materijal prema izlazu i doprinose usitnjavanju i miješanju sirovine. Koncentracije vlage i kiseonika u reaktoru se prate i održavaju na optimalnim ili gotovo optimalnim nivoima. Ova vrsta reaktora se obično koristi za aktivnu fazu kompostiranja i pažljivom kontrolom sadržaja kiseonika i vlage, proces kompostiranja se može ubrzati. Prednost im je i ušteda prostora, ali zbijanje kompostne mase uslijed gravitacije predstavlja nedostatak. Pod normalnim radnim uslovima, bubanj se puni na oko dvije trećine. Vrijeme zadržavanja za prvu fazu kompostiranja je oko 1 nedjelje. Međutim, materijali koji su lako biorazgradivi mogu se preraditi za 2–3 dana. Ovo vremensko trajanje ne omogućava završetak svih aktivnosti kompostiranja, ali bubanj dozvoljava homogenizaciju i provjeru materijala za naknadno kompostiranje. Prema tome, rotirajući bubanj sistemi se obično kombinuju ili sa aeracijom u statičnim gomilama ili redovima sa prevrtanjem (*windrow*) kako bi se završili najaktivniji (termofilni stepeni) kompostiranja. Dalje kompostiranje i sušenje komposta traje od 1–3 meseca.



Slika 8.15. Izgled vertikalnog bioreaktora (<https://compost-turner.net/compost-turner/in-vessel-composting-system.html>)

Ako uporedimo otvorene i zatvorene sisteme kompostiranja možemo zaključiti da je nereaktorski (otvoreni) sistem ekonomski isplativiji i proces je jednostavniji, jer ne zahtijevaju veliko ulaganje i imaju veći kapacitet. Međutim, proces kompostiranja traje puno duže, ne mogu se kontrolisati svi faktori (vremenski uslovi, koncentracija kiseonika, miješanje) i dolazi do emisije gasova i neugodnih mirisa. S druge strane, reaktorski sistemi omogućuju kontrolu prozračivanja, temperature i vlažnosti i manje emisije gasova. Nedostaci kod takvih sistema su visoka cijena izrade reaktora, dodatna mehanička oprema i mala količina otpada koja se može obraditi u jednoj turi. Postoje reaktorski sistemi u kojima se proces

odvija kontinuirano ili s prekidima, a reaktori za kompostiranje su u vertikalnim ili horizontalnim konstrukcijama, uglavnom toplotno izolovani (adijabatski proces).



Slika 8.15. Tunelsko kompostiranje



Slika 8.16. Rotirajući bioreaktori

Svi gore navedeni sistemi su dizajnirani i rade kako bi se uspostavili optimalni uslovi za kompostiranje u datim prilikama. Ovi uslovi direktno utiču na rast i metabolizam mikroorganizama odgovornih za proces razlaganja. Faktor na koji tehnologija može najviše uticati, oko koje se razvijaju dizajni za kompostiranje je dostupnost kiseonika kao osnovni preduslov za aerobni proces razlaganja organske materije.

8.1.4.3. Korišćenje glista u procesu kompostiranja

Prva istraživanja o glistama datiraju još od Čarlsa Darvina (1881), koji je opisao ulogu ovih segmentiranih crva u zemljištu. Kasnija proučavanja su pokazala da kišne gliste obogaćuju materijal koji probavljaju supstancama koje se obično nazivaju regulatorima rasta i tako stimulišu prinos biljnih usjeva. Pozitivni efekti glista na: hemijsku, fizičku i biološku plodnost, poznati su već duže vrijeme, dok se posljednjih godina sve više proučava djelovanja glista na organski otpad (Richard & Woodbury, 1994; Bouchè, 1987). Postupak razgradnje organskog otpada zasnovan na glistama i mikroorganizmima naziva se vermikompostiranje. To je eko-biotehnologija koja obezbijeduje razgradnju i detoksikaciju organskog otpada, kao i pretvaranje u proizvod koji se koristi u agronomске svrhe. Najčešći tipovi glista koji se koriste za vermikompostiranje su *Eisenia fetida* i *Lumbricus rubella* (Yadav and Garg, 2011). U crijevima glista, enzimske aktivnosti dovode do imobilizacije toksičnih metala, što sugerise da vermitehnologija može biti efikasan proces za sanaciju teških metala iz industrijskog organskog otpada i/ili mulja. Za

razliku od drugih razlagača, gliste razgrađuju materijal i fizički i hemijski. Gliste su sjajni razlagači, a najčešće se koriste za ostatke iz kuhinje kao materijal za kompostiranje. Neke vrste kišnih glista mogu potrošiti širok spektar organskog otpada od mulja iz otpadnih voda, životinjskog otpada, poljoprivrednih ostataka, domaćeg otpada do industrijskog otpada. Uspjeh procesa zavisi od nekoliko parametara procesa kao što su: kvalitet sirovine, pH, temperatura, vlaga, aeracija, itd. Pod povoljnim uslovima temperature i vlage, gliste održavaju aerobne uslove u procesu kompostiranja, unose organske otpadne materijale i izlučuju humusu sličnu supstancu, poznatu kao vermikompost. Prednosti vermikompostiranja su u tome što omogućuje kontinuirano razlaganje organskog otpada tokom cijele godine jer čak i zimi, kada kod tipičnih kompostnih metoda procesi znaju prestati iako je priliv organskih ostataka konstantan, gliste i dalje rade svoj posao. Brzina razlaganja zavisi od broja glista, temperature i količine povrtnog otpada koja se dodaje odjednom. Dodavanje bi trebalo biti pomalo i često kako bi gliste mogle da ga brzo razgrade. Te gliste jedu otprilike tri svoje težine hrane sedmično i pretvaraju je u kompost koji se može koristiti kao malč ili miješati sa zemljištem u cilju njegovog obogaćivanja. Ovom metodom se dobija organsko đubrivo u obliku granula, koje nema odbojan izgled niti neugodan miris.

Vermikompost ili glistenjak, poznat i pod nazivima *lumbri humus*³⁴ ili biohumus je organsko đubrivo proizvedeno mikrobiološkom razgradnjom kroz probavni sistem kalifornijske gliste (*Eisenia f(o)etida*) koje mogu da vrše transformaciju stajnjaka, biološkog i komunalnog otpada i komposta. Konačan produkt, koji se najčešće naziva vermikompost, vrlo je različit od početne organske materije, uglavnom zbog pojačane dekompozicije i humifikacije. Za dobivanje *lumbri humusa* pogodne su i druge vrste glista (kao npr. *Lumbricus rubellus*), dok kišna glista (*Lumbricus terrestris*), tradicionalna vrtna glista uobičajena na našim prostorima, nije pogodna za vermikompostiranje. Glistenjak treba da zadovolji određene kriterijume: da je neutralne reakcije da ima najmanje 60% organske materije i da mu je vlažnost oko 80%. Za razliku od komposta obogaćen je mikroorganizmima i ne sadrži patogene gljive. Pri prolasku kroz crijevni trakt gliste veliki broj bakterija, posebno sporogenih, ostaje neoštećen dok gljive i protozoe ne preživljavaju (Jarak, Čolo, 2007). Sadrži veću koncentraciju mikro i makro biogenih elemenata: azota, kalcijuma, magnezijuma, fosfora, gvožđa, mangana i cinka od supstrata. Glistenjak

³⁴ S obzirom da sva tri naziva opisuju organsko đubrivo dobijeno uz pomoć glista, glista je i glavna poveznica u spomenutim nazivima – *lumbri humus* (*lumbricus* (lat.) – glista), *glistenjak* ili *glisnjak* (gliste + stajnjak), *vermikompost* (*vermis* (lat.) – gliste). Iako su sva tri naziva ispravna, *lumbri humus* i *glistenjak* su nazivi specifični za naše podneblje, dok je *vermikompost* internacionalni naziv koji se na našem govornom području koristi tek od nedavno. Osim ovih, u upotrebi su i drugi nazivi: glisni kompost, glisni stajnjak, glisni humus, *crno zlato* i dr.

se može koristiti kao sastavni dio supstrata za proizvodnju sadnica, kao osnovno đubrivo, startno đubrivo i za prihranjivanje tokom vegetacije. Pročišćeni vermikompost u kombinaciji sa mješavinama zemljišta u saksijama može da služi kao medijum za pokretanje mladih sadnica. Najbolje rezultate daje u proizvodnji cvijeća i povrća. Pošto ima veliku količinu organske materije ne dodaje se čist nego se miješa sa: zemljom, tresetom i pijeskom. Proizvođači vermikomposta obično nude široki spektar proizvoda koji se značajno razlikuju po karakteristikama i performansama, a to odražava veliku raznolikost organskih materija i smješa koje se obrađuju, kao i stepen prerade.

8.1.5. Upotreba i kvalitet komposta

Kvalitet komposta zavisi od brojnih faktora koji su imali uticaja na proces kompostiranja (temperatura, aeracija, odnos C/N, veličina čestica, sadržaj vlage i pH vrijednost ulaznog materijala), o čemu je bilo riječi u prethodnom dijelu teksta. Pored ovih faktora na kvalitet komposta utiču i sljedeći parametri: sadržaj nutrijenata, organskih materija, pH vrijednost komposta, kapacitet zadržavanja vlage, prisustvo stranih materija, zaostalog mirisa, koncentracije soli, stepena sazrijevanja, prisustva patogenih mikroorganizama i koncentracije teških metala. Međutim, do danas nisu postavljeni jasni kriterijumi o karakteristikama komposta sa aspekta navedenih parametara, tako da se čak i u EU mogu pronaći različite klasifikacije kvaliteta komposta. Standardi kvaliteta za teške metale i polutante, kao i ograničenja primjene doza na zemljište, variraju od zemlje do regiona, jer uglavnom zavise od specifične situacije, na primjer strukture zemljišta, pozadinskih koncentracija zagađujućih materija, poljoprivredne prakse i nedostatka ili prisustva ostalih poboljšivača zemljišta, kao npr. đubriva (Savein i Eder, 2014). Kvalitet komposta je najbolji u zemljama sa odvojenim sakupljanjem komunalnog biootpada, gdje su vrsta i kvalitet ulaznog materijala regulisani. Kvalitet komposta u velikoj mjeri zavisi i od dužine trajanja procesa kompostiranja i sazrijevanja materijala.

Ako se kompostiranje ne odvija na odgovarajući način, postoji opasnost da patogeni organizmi prežive proces kompostiranja, što zavisi od dužine izlaganja materijala odgovarajućoj temperaturi (oko 55 °C). U kompostu se mogu naći i pesticidi koji u većim koncentracijama mogu da oštete osjetljive biljke u baštama i rasadnicima. Poseban problem predstavlja potencijalno prisustvo teških metala u kompostu.

Metali su zagađujuće materije koje najviše zabrinjavaju pri primjeni komposta dobijenog iz kućnog otpada. Teški metali poput: olova, kadmijuma i žive potiču iz baterija, kućne prašine i raznih hemikalija za domaćinstvo, a postupkom kompostiranja mogu postati koncentrisaniji. Budući da nije razvijena tehnologija za uklanjanje teških metala iz komposta, njihovo prisustvo kao polutanata mogu značajno ograničiti primjenu komposta (npr. samo kao prekrivač deponija). Maksimalno dozvoljeni sadržaj teških metala u kompostu zavisi od količine i vremena unošenja komposta i sastava zemljišta, a maksimalne dozvoljene vrijednosti se razlikuju po pojedinim državama (tabela 8.2.).

Zagađivanje plastikom je važan aspekt prilikom stavljanja komposta na tržište, a nekoliko zemalja pominje plastiku kao ključni zagađivač komposta (Eionet, 2019). Uredba EU o đubrenju dozvoljava do 2,5 g plastike po kilogramu komposta (suve materije). Međutim, nekoliko zemalja primjenjuje stroža ograničenja. Razdvajanje otpada prije sakupljanja (primarna separacija) obično je ekološki i tehnički bolji put za poboljšanje kvaliteta konačnog komposta i dobar način da se izbjegne kontaminacija komposta plastikom i drugim neželjenim primjesama.

Tabela 8.2. Maksimalne dozvoljene granice za sadržaj teških metala u kompostu propisane od strane raznih zemalja (mg/kg suvog komposta) (ECN, 2008)

Teški metali	Njemačka	Belgija	Kanada	Francuska	Švedska
Cu	150	100	100	–	150
Zn	400	1000	500	–	500
Mo	–	–	5	–	5
Co	–	–	34	–	25
Cd	2	5	3	8	3
Ni	50	50	62	200	50
Pb	200	600	150	800	150
Hg	1	–	0,8	8	3
Cr	150	150	210	–	150
As	–	–	13	–	–
Se	–	–	2	–	–

Kompost se koristi kao:

- 1) Đubrivo.
- 2) Sredstvo za poboljšanje tla.
- 3) Hrana za ribu u akvakulturi³⁵.
- 4) Materijal za deponije.
- 5) Hortikulturni medijum na: parkovima, ukrasnim i rekreacionim površinama. na autoputevima.

Najčešće opcije korišćenja komposta su: obogaćivanje zemljišta, rekultivacija (zelene površine i parkovi) i sanacija (rudarsko-industrijski zaštitni pojasevi i zagađene lokacije). Za neke namjene, poput punjenja zemljišta i melioracije, kompost ne treba doraditi ili dalje obrađivati. Za opštu poljoprivredu grubo mljevenje je zadovoljavajuće, dok za hortikulturu i ukrasno baštovanstvo kompostni proizvod mora biti finiji. Kompost koji se koristi kao đubrivo ili sredstvo za poboljšanje zemljišta obično se miješa sa hemijskim đubrivima kako bi njegov hranjivi sadržaj bio pogodan za rast usjeva.

Kompost se najčešće upotrebljava kao đubrivo i sredstvo za poboljšanje zemljišta jer može da: poboljšava strukturu zemljišta, zadržava vlagu, povećava mikrobiološku aktivnost zemljišta, povećava prozračnost, obogaćuje zemljište hranjivim materijama, povećava otpornost biljaka na nametnike (štetočine) i bolesti. Kompost može poboljšati ukupnu plodnost zemljišta dodavanjem organske materije i biljnih hranjivih sastojaka i izmijeniti pH zemljišta. Upotreba komposta može: smanjiti eroziju zemljišta, povećati kapacitet zadržavanja vode, poboljšati strukturu zemljišta, a nakon toga i vegetacija se može brzo uspostaviti.

Kompost se preporučuje koristiti u proljeće ili prije sadnje, odnosno u razdoblju rasta i razvijanja biljaka. Kompost nikada ne treba ukopavati duboko u zemlju jer ga na taj način gušimo, već samo posipati po zemljištu i lagano izmiješati s gornjim, površinskim slojem zemlje do 5 cm dubine. Nakon miješanja treba sve dobro zaliti vodom.

Prihvatanje komposta kao proizvoda na tržištu zasniva se na širokom spektru kriterijuma, uključujući: cijenu, kvalitet i konzistentnost proizvoda, ali i garanciju da proizvod neće sadržati zagađujuće materije kao što su: teški metali, staklo i drugi inertni materijali, kao i biljni i životinjski patogeni.

³⁵ Dodavanje komposta u ribnjake moglo bi da poveća rast fitoplanktona čime se povećava rast i prinos biljojednih vrsta riba (npr. *Tilapia*).

8.1.6. Uticaj kompostiranja na životnu sredinu

Kompostiranja otpada može imati pozitivne i negativne uticaje na životnu sredinu. Pozitivne strane kompostiranja organskih materija na životnu sredinu su: produžavanje životnog vijeka deponije, smanjivanje emisije stakleničkih gasova u odnosu na deponovanje otpada, posebno metana, smanjenje polutanata u procjednim vodama³⁶, kao i višestruka upotreba konačnog kompostnog proizvoda za poboljšavanje osobina zemljišta. Emisija deponijskih gasova proizvedenih anaerobnim i aerobnim raspadanjem organske materije na deponijama glavni je izvor stakleničkih gasova koji su odgovorni za globalno zagrijavanje i uništavanje ozonskog omotača. Kompostiranje je jedan od najjednostavnijih načina za sprečavanje emisije metana, jer se preradom biootpada u kompost znatno smanjuje količina organske frakcije koja, razlaganjem na deponiji, emituje ovaj staklenički gas. Emisije sa deponija čine skoro polovinu ukupnih antropogenih izvora metana na svijetu. Pored toga, metan je između 19 i 21 puta moćniji staklenički gas nego ugljen-dioksid. Iako se kompostiranjem oslobađa ugljen-dioksid, to se trenutno smatra neutralnim procesom, jer se takođe ne uzima u obzir uklanjanje ugljen-dioksida iz atmosfere za procese fotosinteze kako bi se proizvela organska materija (Hoornweg, i dr., 1999).

Osnovni problemi koji se javljaju u procesu kompostiranja su: pojava neprijatnih mirisa, prisustvo patogenih mikroorganizama, procjedna voda, pojava buke, prašine i dr.

Pojava neprijatnih mirisa. Svjež otpad neprestano emituje mirise. Neugodni mirisi nastaju već na mjestu prijema otpada. U ovoj fazi se mogu odvijati anaerobni procesi, jer obično nema aeracije. Stoga vrijeme zadržavanja otpada na mjestu prijema za kompostiranje mora biti što kraće. Neki od razloga za pojavu neprijatnih mirisa kod operacije kompostiranja su: nizak odnos ugljenik/azot, loša kontrola temperature, veliki višak vlage i loše miješanje. Periodično miješanje gomile i optimalna struktura kompostnog materijala (npr. miješanje sa drvnom ivericom) mogu pomoći u izbjegavanju emisije mirisa. Sa povećanjem starosti otpada, intenzitet mirisa se smanjuje. Poslije 4 nedjelje utvrđena je samo 1/10 početne koncentracije neugodnih mirisa. Kod zatvorenih postrojenja neprijatni mirisi se kontrolišu pomoću odgovarajućih sistema kao što su: kontaktori sa aktivnim ugljem, biološki filteri i filteri od komposta.

³⁶ Izraz „procjedna voda“ koristi se za opisivanje tečnosti koje se odvede iz gomila komposta ili gomila drugog uskladištenog materijala.

Pojava mikroba. Pored mirisa, postrojenje za kompostiranje predstavlja opasan izvor emisije mikroba. Razgradnja organske materije u kompost zasniva se na djelovanju brojnih mikroorganizama, među kojima i patogenih bakterija. Zbog emisije neugodnih mirisa i mikroba u razvijenim državama posljednjih godina se podižu samo zatvorene fabrike, ali u svakom slučaju i njima je potrebno skupo prečišćavanje vazduha.

Procjedna voda u procesu kompostiranja potiče iz dva izvora: vode oslobođene fizičkom i biološkom razgradnjom organskog materijala i kišnice koja je procurila kroz kompostnu gomilu. Tamo gdje su gomile zaštićene od kiše, stvara se malo procjednih voda. Glavne osobine procjedne vode su: da mogu imati neugodan miris, uticati na širenje insekata poput muva i komaraca, kao i da sadrže rastvorene supstance koje mogu imati negativan uticaj na životnu sredinu.

Pri procjeni uticaja kompostiranja na produkciju procjednih voda treba uzeti u obzir uticaj razlaganja organske frakcije otpada pri deponovanju otpada. Ako se uzmu u obzir uslovi za nastanak procjednih voda na deponijama komunalnog otpada u zavisnosti od dizajna deponije i preovlađujućih vremenskih uslova, može se uočiti da izbjegavanje odlaganja organske frakcije otpada, odnosno njegovo iskorišćavanje za proces kompostiranje, možda neće značajno smanjiti količinu procjednih voda deponije, ali će poboljšati kvalitet procjednih voda. To se postiže smanjenjem koncentracija biohemijske potrebe za kiseonikom (BPK) i fenola koji nastaju rastvaranjem i razgradnjom organskih sastojaka. Jasno je da je mnogo bolje spriječiti deponovanje organskog otpada koji čini značajan dio čvrstog komunalnog otpada.

8.1.7. Izbor lokacije za izgradnju velikih postojenja za kompostiranje

Pri izboru lokacije za kompostane po ovom sistemu, pored utvrđivanja dovoljnog izvora materijala za kompostiranje, treba imati u vidu sljedeće: potrebnu površinu (za kompostne gomile, manevar mehanizacije, eventualna skladišta i kancelarije), prilazne puteve, prikupljanje procjednih voda, te raspoloživu infrastrukturu (priključak na vodovodnu, kanalizacionu i elektromrežu).

Pored uobičajenih: topografskih, hidroloških, ekonomskih, političkih i socioloških razmatranja koja su uključena u proces odabira, obezbjeđivanje adekvatne „tampon zone“ između objekta i stambenih područja posebno je neophodno za smanjenje negativnih uticaja velikih postojenja za kompostiranje, a posebno u smislu širenja neugodnih mirisa. Kada se predlože lokacije za nove objekte postrojenja za

kompostiranje, potencijalni mirisi je uvek jedna od prvih zabrinutosti lokalnih stanovnika.

Stvarne dimenzije „tampon zone” potrebne za određeno postrojenje zavise od: veličine postrojenja, osobina otpada, vrste sistema koji se koristi za kompostiranje i stepena kontrole emisija. Očigledno je da je tampon zona za postrojenja koja su planirana za nekoliko tona komposta dnevno za otpad iz dvorišta daleko manja od one koja je potrebna za postrojenje za kompostiranje: komunalnog otpada, stajskog đubriva ili kanalizacionog mulja (sirovi dvorišni otpad ima vrlo malo mirisa). Gasovite emisije iz procesa kompostiranja sastoje se uglavnom od isparljivih organskih jedinjenja. Emisije su često smrdljive i potencijalno toksične. Pored toga, kompostiranje prate emisije: bakterija, gljivica i aktinomiceta koje predstavljaju potencijalnu opasnost po ljudsko zdravlje (Williams, 2005).

Uticaj problema sa neugodnim mirisom može se znatno smanjiti zatvaranjem područja za prijem i skladištenje sirovog otpada, kao i u aktivnim i ranim fazama sazrijevanja procesa kompostiranja. Pored toga, ventilacija objekta može biti dizajnirana tako da se vazduh izbacuje kroz uređaj za prečišćavanje vazduha ili filter za miris. Nažalost, to je skupo i često nesigurno.

8.2. ANAEROBNA DIGESTIJA

Anaerobna digestija (AD) je biohemijski proces koji podrazumijeva mikrobiološku razgradnju organske materije bez prisustva kiseonika (u anaerobnim uslovima). Kao rezultat anaerobne digestije nastaju dva produkta: biogas i digestat. Za proizvodnju biogasa koristi se gasno nepropusni reaktor, takozvani anaerobni digester, koji mikroorganizmima omogućava povoljne uslove da organsku materiju, ulaznu sirovinu, pretvore u biogas i ostatak zvan digestat. Digestat može biti u čvrstom i tečnom stanju ili u obliku mulja. Biogas, kao produkt anaerobne digestije, se iskorišćava za proizvodnju toplotne i električne energije, dok se nastali čvrsti i tečni ostaci u vidu digestata nakon kompostiranja prihvataju kao đubrivo za poljoprivredne površine zbog velikog sadržaja korisnih sastojaka (azot, fosfor, kalijum) neophodnih za uzgoj biljaka. Digestat nije isto što i kompost, osim ako nije kompostiran u aerisanim uslovima (Christensen, 2011).

Digestat se može koristiti kao organsko đubrivo kada se sirovina odvaja od izvora i ne zagađuje se neželjenim primjesama. Biogas je mješavina različitih gasova pri čemu CO₂ i CH₄ zajedno čine oko 90% sastava gasova. Zapaljivi gas metan (CH₄) je glavni nosilac energije u biogasu i njegov sadržaj se kreće između 50–75%, u zavisnosti od sirovine i uslova rada. Zbog nižeg sadržaja metana, grejna vrijednost

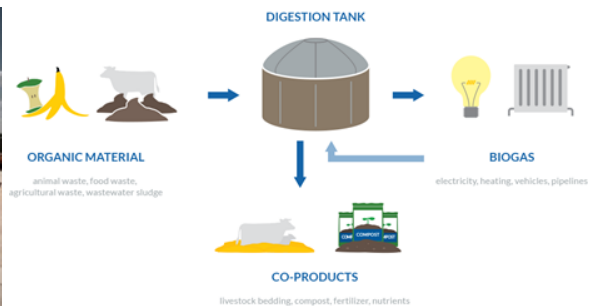
biogasa je oko dvije trećine vrijednosti prirodnog gasa ($5,5 \text{ kWh/m}^3$ do $7,5 \text{ kWh/m}^3$). Nakon obrade biogas se može uvoditi u mrežu prirodnog gasa. AD kao proces koji koristi male digestore ima dugu tradiciju u zemljama u razvoju gdje koristi energetske sadržaj organskih ostataka u seoskim sredinama. Primarna sirovina unosi se iz poljoprivrede, posebno stajskog đubriva, kojim je relativno lako upravljati i može se dobro primijeniti u malim razmjerama. Međutim, rad postrojenja za biogas iz heterogenog otpada je veliki izazov u pogledu operativnih, bezbjednosnih i finansijskih zahtjeva. U mnogim zemljama se organski otpad često miješa sa neorganskim materijama poput: plastike, metala i drugih zagađivača, što često ometa uspjeh AD u većim razmjerama.

Posljednjih godina je anaerobna digestija čvrstog otpada privukla veće interesovanje zbog aktuelnih ekoloških problema, posebno onih koji se bave globalnim zagrijavanjem. Kao dio integralnog sistema upravljanja otpadom, anaerobna digestija smanjuje emisije deponijskih gasova u atmosferu, posebno ugljen-dioksida i metana. Biogas proizveden u procesu anaerobne digestije promovisan je kao dio rješenja energetskih problema jer AD kao proces obrade biorazgradivog otpada generiše biogas koji se može koristiti kao obnovljivi izvor energije. Biogas obično zamjenjuje drugi oblik energije, u mnogim slučajevima fosilno gorivo ili drvo. Ako se zamijeni fosilno gorivo, biogas iz organskog otpada smanjuje emisiju dodatnih gasova sa efektom staklene bašte u atmosferu, jer ugljenik sadržan u biomasi potiče iz atmosferskog CO_2 . Pored korišćenja metana kao potencijalnog izvora energije, procesom anaerobne digestije se znatno smanjuju količine za odlaganje otpadne biomase i finansijski troškovi povezani sa odlaganjem.

Anaerobna digestija organskog otpada za proizvodnju energije u obliku biogasa je najčešća komercijalna opcija, pod uslovom da je ekonomski isplativa. Za proces anaerobne digestije potrebna su veća početna ulaganja za izradu postrojenja koje će omogućiti odvijanje digestije bez prisutnosti kiseonika, tzv. digestora. Različiti tipovi biomase upotrebljavaju se kao supstrati u anaerobnoj fermentaciji za proizvodnju biogasa: humani i animalni izmet, biljni ostaci, otpad pivarske, pekarske, i sličnih prehrambenih industrija, zatim organski dio komunalnog otpada i otpada iz ugostiteljstva (ostaci biljnog i životinjskog porijekla), otpadni muljevi i sl.

Neke od prednosti anaerobne digestije u odnosu na kompostiranje su odsutnost mirisa (farme ne moraju biti dislocirane) i proizvodnja biogasa kao izvora energije.

AD se vrši u velikim digestorima (slika 8.17) koji se održavaju na temperaturama od $30 \text{ }^\circ\text{C}$ do $60 \text{ }^\circ\text{C}$.



Slika 8.17. Digestori za anaerobnu razgradnju otpada u Nizozemskoj (Host, 2019) i diagram procesa AD (J&J Carter, 2017)



Slika 8.18. Elektrana na biogas u Zrenjaninu, „Bioelektra”, kapaciteta 600 kW (Grad Zrenjanin, 2020)

8.2.1. Parametri koji utiču na proces anaerobne razgradnje

Brzina rasta mikroorganizama je od presudne važnosti u procesu anaerobne digestije. Operativni parametri digestora moraju se kontrolisati tako da pojačavaju mikrobnu aktivnost i na taj način povećavaju efikasnost anaerobne razgradnje.

Na provođenje procesa anaerobne razgradnje utiču različiti parametri:

- 1) Vrsta i sastav supstrata.
- 2) Temperature (30–60 °C).
- 3) PH-vrijednost (6–8).
- 4) Raspoloživost hranljivih materija (N, P).
- 5) Prisustvo toksičnih i inhibirajućih elemenata.
- 6) Miješanje.
- 7) Hidrauličko vrijeme zadržavanja supstrata u reaktoru.
- 8) Brzina unosa organske materije u reaktor.

Sastav supstrata određuje uslove u reaktoru kao što je pH-vrijednost ili inhibirajuće djelovanje određenih proizvoda razgradnje. Pojam supstrat odnosi se na biorazgradivu frakciju ulaznog materijala. Ugljeni hidrati mogu biti lako ili slabo razgradivi, dok se proteini, lipidi i isparljive masne kiseline smatraju lako razgradivim supstratima. Anaerobna digestija se može koristiti za: tretiranje tečnog otpada, organske čvrste materije i muljeva, bez prethodnog tretmana. Postoji više različitih sirovina koje se mogu koristiti za anaerobnu digestiju. One uključuju sljedeće: otpad od hrane iz primarne separacije, mulj (npr. kanalizacioni mulj iz tretmana komunalnih otpadnih voda), agroindustrijski nus proizvodi, stajnjak, neke frakcije čvrstog komunalnog otpada i baštenski otpad. Anaerobna digestija je pogodnija za otpad koji ima veći udeo vlage od aerobnog tretmana. Proces se odvija kada je udio vlage između 60% i 99%. Zbog toga kuhinjski otpad sa visokim sadržajem vlage i bez strukture pogodne za aeroban tretman, može biti odlična sirovina za proces anaerobne digestije.

Temperatura pri kojoj se provodi proces anaerobne digestije utiče na brzinu proizvodnje biogasa. Zavisno od temperature pri kojoj se provodi proces anaerobne razgradnje reaktori mogu raditi pri niskim temperaturama ($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$), temperaturama od $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ili temperaturama od $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperature između $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ predstavljaju optimum za mezofilne organizme, dok termofilna metanogena aktivnost dostiže maksimum na oko $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Efikasnost razlaganja organske materije značajno opada ispod $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a na tim temperaturama su aktivni tzv. psihofilni mikroorganizmi. Optimalna temperatura njihove aktivnosti je $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabela 8.3. Prikaz zavisnosti dužine trajanja procesa od temperatura

Temperaturna zona	Procesne temperature	Minimalno vrijeme trajanja
Psihofilna	$< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	70–80 dana
Mezofilna	$30\text{--}42\text{ }^{\circ}\text{C}$	30–40 dana
Termofilna	$43\text{--}55\text{ }^{\circ}\text{C}$	15–20 dana

U praksi, radna temperatura se bira prema vrsti supstrata, a neophodna temperatura se održava putem podnih ili zidnih sistema grijanja unutar digestora. Temperatura procesa utiče na brzinu unosa organske materije u reaktor i na vrijeme zadržavanja supstrata u reaktor. Pri višim temperaturama potrebno je kraće vrijeme zadržavanja supstrata u reaktoru što proces čini bržim i efikasnijim. Većina savremenih

postrojenja za proizvodnju biogasa rade na termofilnim temperaturama, jer to ima brojne prednosti u odnosu na procese koji se odvijaju na mezofilnim i psihofilnim temperaturama.

Poseban naglasak se mora staviti na odabir sirovina za procesuiranje. Uopšte, kao sirovine za proizvodnju biogasa anaerobnom digestijom mogu se koristiti sve vrste biomase biljnog ili životinjskog porijekla, koje kao glavne komponente sadrže ugljene hidrate, masti, proteine, celulozu i hemicelulozu. Sirovine se znatno razlikuju po: kvalitativnom i kvantitativnom sastavu, homogenosti, dinamici fluida i biorazgradivosti. Skoro svaki organski materijal se može procesuirati anaerobnom digestijom, ali ako je proizvodnja biogasa cilj onda je važno uzeti one sirovine koje su lakše probavljive. Jedan od glavnih ograničenja procesa anaerobne digestije je nemogućnost razgradnje lignina (glavne komponente drveta) koji se može razgraditi tokom aerobne biodegradacije. Glavne sirovine koje se koriste u svjetskoj proizvodnji biogasa anaerobnom digestijom su životinjski stajnjak (36%), poljoprivredni otpad (30%) i čvrsti komunalni otpad (34%) (Valijanian i sar., 2018). Anaerobna digestija glavna je tehnologija za stabilizaciju primarnog i sekundarnog otpadnog mulja pri preradi otpadnih voda organske, prehrambeno-prerađivačke i fermentacijske industrije, kao i pri recikliranju frakcije čvrstog komunalnog otpada organskog porijekla. Korišćenjem životinjskog ekskrementa (urina, izmeta) u procesu anaerobne digestije ima prednosti u odnosu na ostale supstrate zbog toga što prirodno sadrže anaerobne bakterije, imaju visok sadržaj vode, jeftini su i lako dostupni jer se sakupljaju kao otpad iz stočarskih farmi. Sirovine za procesuiranje mogu biti: otpadni papir, pokošena trava, kanalizacijske vode i klaonički otpad. U zavisnosti od sirovine tokom anaerobne digestije nastaju različite količine metana (npr. papir i karton će dati veću količinu metana u odnosu na lišće, granje ili miješani baštenski otpad). Uklanjanje inertnih frakcija prije digestije važno je, jer u protivnom povećava volumen digestora i habanje opreme.

8.2.2. Sastav i korišćenje biogasa

Biogas se može koristiti za proizvodnju električne i toplotne energije (za internu upotrebu i/ili za izvoz), može se sagorijevati u kotlovima za proizvodnju tople vode i pare u industrijske svrhe, i može se koristiti kao alternativno gorivo u vozilima. U nekim se slučajevima prečišćava do čistog biometana i koristi kao gorivo za vozila, umjesto fosilnih goriva, čime se smanjuje emisija stakleničkih gasova. Biometan se može koristiti i kao polazna hemikalija u raznim postupcima hemijske i biohemijske sinteze.

Biogas je mješavina gorivih (metan, vodonik, sumpor vodonik) i negorivih gasova, gdje je najzastupljeniji metan (CH₄) sa oko 50–75% i ugljen-dioksid (CO₂) sa oko 25–45%, a preostalih oko 5–10% je smjesa: vodonika, azota, sumporovodika, amonijaka, kiseonika i vodene pare (tabela 8.4.).

Tabela 8.4. Sastav biogasa (Al Seadi, 2008)

Jedinjenje	Hemijski simbol	Zapreminska koncentracija (%)
Metan	CH ₄	50–75
Ugljen-dioksid	CO ₂	25–45
Vodena para	H ₂ O	2 (20 °C) –7 (40°C)
Kiseonik	O ₂	< 1
Azot	N ₂	< 2
Amonijak	NH ₃	< 1
Vodonik	H ₂	< 1
Hidrogen-sulfid	H ₂ S	< 1

U Evropi u posljednje vrijeme ima sve više biogasnih postrojenja koja primjenjuju tehnologiju prečišćavanja biogasa u biometan, koji se zatim ubacuje u mrežu prirodnog gasa ili koristi kao pogonsko gorivo umjesto fosilnih goriva. Na taj se način smanjuje emisija stakleničkih gasova i sprečavaju klimatske promjene.

8.2.3. Proizvodnja biogasa

Interesovanje za razvoj ove tehnologije je raslo u periodima nestašice nafte i uglja kao izvora energije (Drugi svjetski rat, energetska kriza 80-ih godina i sl.). Zagađenje životne sredine i potreba za obnovljivim izvorima energije su povećali interes, tako da se u mnogim državama gradi sve više postrojenja koja koriste ovaj način iskorišćavanja otpadne organske materije.

Evropska asocijacija za biogas (EBA) u izvještajima o evropskoj industriji anaerobne digestije bilježi stalan rast sektora biogasa, s tim što se broj postrojenja za biogas utrostručio za samo šest uzastopnih godina. Između 2009. i 2016. godine, ukupan broj postrojenja za biogas je porastao sa 6.227 na 17.662 postrojenja. Većina tog rasta potiče od povećanja postrojenja koje rade na poljoprivrednim sirovinama (12.496 postrojenja), zatim slijede postrojenja za biogas na mulju

kanalizacije (2.838 postrojenja), otpad sa deponija (1.604 jedinice) i razne druge vrste otpada (688 postrojenja). Podaci s kraja 2015. pokazuju da u Evropi radi 17.376 postrojenja na biogas i 459 postrojenja na biometan. U sektoru biometana, 2015. je zabilježen stabilan rast sa 92 nove jedinice za nadogradnju biogasa, što je porast od 25% u odnosu na prethodnu godinu. Njemačka je i tada bila lider u ovom sektoru, kao i u sektoru biogasa, sa 185 postrojenja na biometan i 10.846 postrojenja na biogas.

Broj biogasnih elektrana u Evropi nastavio je da raste stabilnim tempom tokom 2018. godine da bi na kraju godine dostigao 18.202 jedinice (slika 8.19). Lideri po broju postrojenja u Evropi su Njemačka³⁷ (11.084 elektrana) i Italija (1.655 elektrana). Slijede Francuska (837 elektrana), Velika Britanija (715 elektrana) i Švajcarska (634 elektrana). Ukupna količina električne energije proizvedene iz biogasa u evropskim zemljama je 63.511 GWh. Proizvodnja električne energije iz biogasa i dalje raste u mnogim pojedinačnim zemljama, uključujući Hrvatsku (+ 234 GVh), Francusku (+116 GVh), Srbiju (+ 71 GVh), Dansku (+ 29 GVh), Grčku (+ 26 GVh). Najveći broj biogasnih postrojenja u Aziji se nalazi u Nepal, zemlja u razvoju, sa 145.000 postrojenja na biogas za populaciju od oko 20 miliona sa oko 9 miliona krava i oko 7 miliona drugih korisnih životinja (EBA, 2020).

U većini zemalja postoji jedan dominantan tip sirovine za proizvodnju biogasa, mada se radi o vrsti sirovine koja se razlikuje od zemlje do zemlje. Na primjer, u Njemačkoj, Austriji, Letoniji, Mađarskoj i Italiji energetske usjevi³⁸ i poljoprivredni ostaci čine više od 70% korišćenih sirovina. Poljoprivredne sirovine (koje uključuju stajsko đubrivo, ostatke na farmama, biljne ostatke i energetske usjeve) pokretačka su snaga evropskog tržišta biogasa (slika 8.20.). Oni predstavljaju otprilike 65% do 70% tržišnog udjela. U Belgiji, Danskoj i Poljskoj, značajan udio industrijskog organskog otpada iz industrije hrane i pića ide ka proizvodnji biogasa i električne energije iz biogasa. Kanalizacija u postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda je pretežna sirovina za proizvodnju biogasa u Švedskoj.

³⁷ Ono što je karakteristično za Njemačku je koncept zadrugarstva, tj. udruživanja na farmama, gdje farmeri zajedno prikupljaju potrebne sirovine za zajedničko biogas postrojenje.

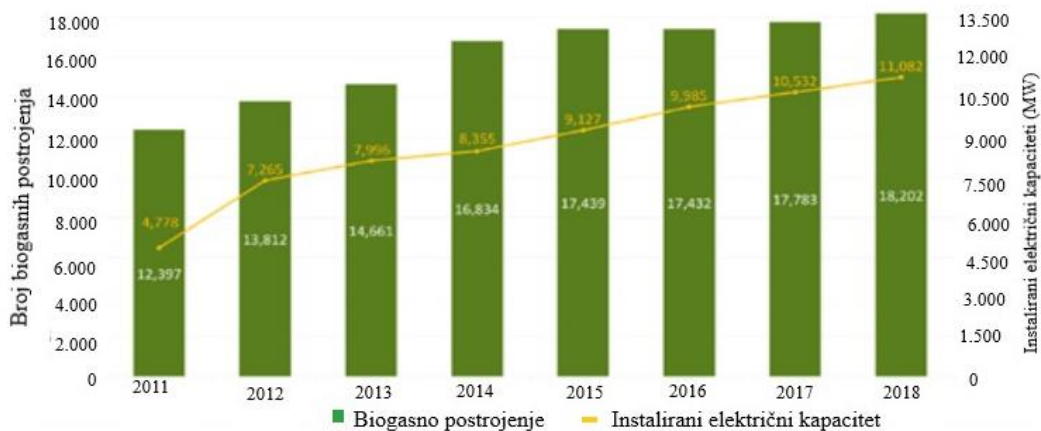
³⁸ Energetske usjeve se posebno uzgajaju za upotrebu kao gorivo i nude visok prinost po hektaru uz razmjerno niska ulaganja. Energetske usjeve se mogu podijeliti na sljedeći način:

- 1) Energetske usjeve sa kratkom rotacijom – topola, vrba, bagrem i eukaliptus.
- 2) Travnati i nedrvni energetske usjeve – *Miscanthus* (kineski šaš ili rogoz).
- 3) Poljoprivredni energetske usjeve -usjeve šećera, škroba i uljarica.
- 4) Vodene usjeve (hidroponi) – mikroalge, makroalge, ribnjački i jezerski korovi.

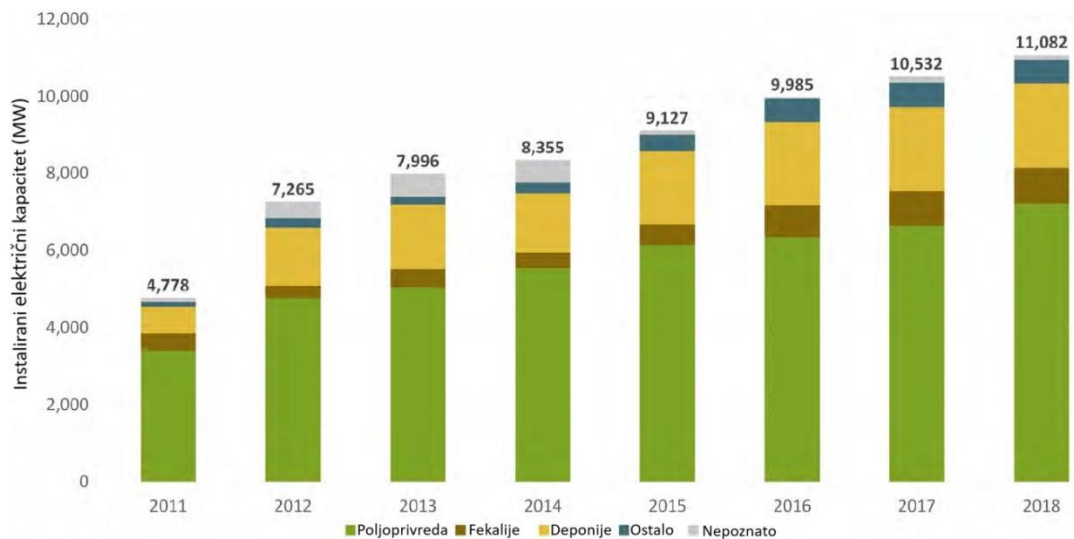
Prema njemačkim iskustvima isplativost postrojenja za biogas jednog individualnog gazdinstva postiže se pod sljedećim uslovima:

- 1) Da ima najmanje deset krava muzara.
- 2) Da ima odgovarajuće skladište za žitko đubrivo i ostatke poslije fermentacije.
- 3) Da od ukupne produkcije đubriva 75% čini žitko đubrivo.
- 4) Da je u stanju da nabavi organske materije koje može miješati sa žitkim đubrivom.
- 5) Da se đubrivo zaostalo poslije fermentacije može iskoristiti u sopstvenom gazdinstvu.
- 6) Da imaju velike sopstvene potrebe za strujom i toplotom (uzgajanje svinja, živine, baštovanstvo) ili da se višak struje i toplote može predati u neposrednoj okolini.

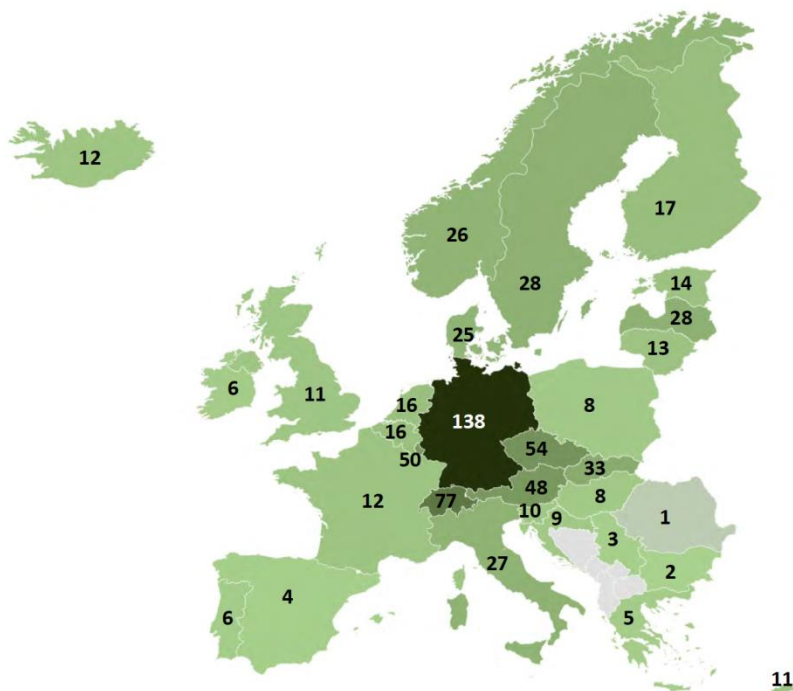
Za zajednicu su isplativija velika postrojenja za proizvodnju biogasa u kojima više gazdinstava sabira žitko đubrivo i organske materije, zajednički održavaju postrojenje za biogas i zajednički koriste toplotu i struju, a fermentisano đubrivo dijele među sobom.



Slika 8.19. Kretanje ukupne količine biogasa u Evropi u periodu od 2011–2018. godine, broj postrojenja i ukupan kapacitet proizvedene el. energije (EBA, 2020)



Slika 8.20. Kretanje ukupne količine biogasa u odnosu na ukupan broj instaliranih biogasnih elektrana u zavisnosti od izvora sirovine (EBA, 2020)



Slika 8.21. Broj biogasnih elektrana na million stanovnika u 2018. godini (EBA 2020)

Najstarije biogasno postrojenje u Srbiji je izgrađeno još 1987. godine u okviru korporacije Poljoprivrednog kombinata Beograd – PKB, a kao sirovinu koristilo je otpadnu vodu sa farme (prestao sa radom 1994. godine). Tržište biogasa u Srbiji počinje značajnije da se razvija od 2009. godine, zbog uredbe o mjerama podsticaja za proizvodnju električne energije korišćenjem obnovljivih izvora energije. U toku 2011. godine izgrađeno je prvo biogasno postrojenje sa povlašćenim statusom, dok danas u Srbiji radi 22 biogasna postrojenja, sa ukupnom instalisanom snagom od 21 MW. U novije biogasno postrojenje u Srbiji ubrajamo postrojenje u selu Čestereg u opštini Žitište. Snaga ovog postrojenja je 637 MW u električnoj energiji, a dodatni proizvodi su i toplota i organsko đubrivo.

U 2018. godini u Hrvatskoj je bilo 38 operativnih postrojenja za biogas koja su sklopila ugovor o proizvodnji električne energije s Hrvatskim operatorom tržišta energije. Jedno od njih je spadalo u kategoriju „elektrane na deponijski gas i gas iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda”, dok je preostalih 37 elektrana na biogas primjenjivalo anaerobnu digestiju.

U Bosni i Hercegovini su do sada izgrađena 2 postrojenja za proizvodnju energije iz biogasa³⁹, a treća je u izgradnji.⁴⁰ Da bi eksploatacija energane na biogas bila ekonomski opravdana potrebna je državna finansijska podrška u vidu sufinansiranja izgradnje postrojenja, stimulativna cijena otkupa energije proizvedene iz biogasa i ostalih alternativnih izvora energije, donošenje neophodnih zakona i regulativa kojima će se definisati ko će i po kojim cijenama otkupljivati proizvedenu električnu energiju.

Proizvodnja biometana. Kada se biogas plasira u sistem distribucijske gasne mreže ili kada se koristi kao pogonsko gorivo za vozila, potrebno ga je dodatno obraditi i prilagoditi. Obrada biogasa podrazumijeva uklanjanje iz njega ugljen-dioksida i sumpora. Koncentracija metana u biogasu obično iznosi između 50–75%. Da bi biogas bio pogodan za plasman u distribucijski sistem gasa, koncentracija metana mora biti najmanje 95%. Ovaj postupak naziva se dorada (prečišćavanje) biogasa u biometan.

Biometan se kao pogonsko gorivo već koristi u: Švedskoj, Njemačkoj i Švajcarskoj. Broj privatnih vozila, vozila u javnom prevozu i kamiona koji koriste gas je u značajnom porastu. Biometan se u vozilima može koristiti na isti način kao i prirodni gas. Sve je veći broj evropskih gradova koji zamjenjuju gradske autobuse na dizelsko gorivo s onima koji koriste biometan.

³⁹ Zemljoradnička zadruga Livač, Laktaši (37 kWe, u funkciji od 2011. godine) i MG–Gold, Donji Žabar (989 kW, u funkciji od 2016. god.).

⁴⁰ Na farmi Spreča sa stadom od 1.600 krava se gradi biogasno postrojenje (4 x 150 kWe).

Proizvodnja biometana je značajno porasla od 2011. godine. Samo u 2016. godini proizvodnja biometana u Evropi porasla je za 4.971 GVh (+ 40%). Zemlje koje su zabilježile najznačajniji razvoj u proizvodnji biometana u 2016. godini bile su Njemačka (+ 900 GVh), Francuska (+ 133 GVh) i Švedska (+ 78 GVh). U 2018. godini u Evropi je ukupno 610 postrojenja proizvelo 2,28 milijardi kubnih metara biometana (EBA, 2019).

8.2.4. Digestat

AD digestat koji se koristi kao organsko đubrivo može zamijeniti energetski intenzivna mineralna đubriva. Digestat kao visokovrijedno organsko đubrivo nastaje kroz proces anaerobne fermentacije u biogasnim postrojenjima unutar kojih se organski supstrati putem biohemijskih reakcija razlažu u jednostavnija jedinjenja (komponente) koji su kao hranjivi elementi lako dostupni biljkama. Dakle, digestat je sporedni proizvod AD nastao tokom proizvodnje biogasa, bogat hranljivim materijama. Ukoliko se digestat namjerava koristiti kao poljoprivredno đubrivo, onda supstrati moraju zadovoljavati nacionalne zakonske propise i ne smiju predstavljati nikakav rizik, npr. ne smiju sadržavati patogene. Budući da je temperatura važan parametar koji kontroliše patogene, termofilna digestija značajno poboljšava njihovo smanjenje i postiže da patogeni budu gotovo odsutni u digestatu. Čak i manje koncentracije teških metala mogu spriječiti primjenu digestata kao đubriva na poljoprivrednom zemljištu. Sastav sirovine, zemljište, klima i zakonski propisi mogu uticati na potrebu za naknadnom obradom digestata i na mogućnost njegove kasnije primjene na poljoprivrednom zemljištu.

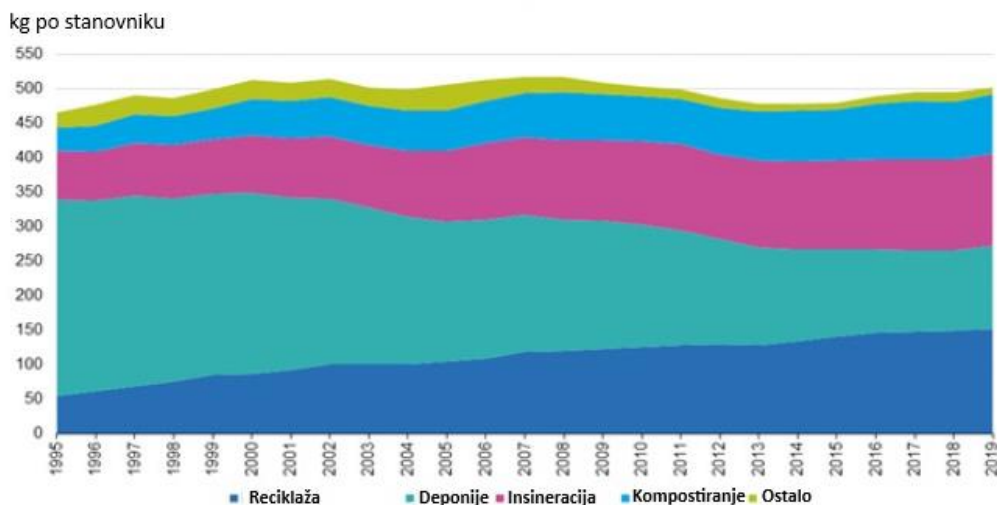
9. TERMIČKI TRETMAN

Termički tretman otpada obuhvata skup postupaka koji omogućavaju dobijanje energije iz otpada uz istovremeno smanjenje njegove zapremine i pretvaranje ostataka otpada u inertno stanje. Smanjivanjem zapremine otpada postiže se ušteda deponijskog prostora, odnosno produžava životni vijek deponija.

Temelji termičkog tretmana su postavljeni u 19. vijeku, ali tek nakon Drugog svjetskog rata počinje pravi razvoj tehnologija termičkog tretmana i iskorišćavanja otpada. Prva spalionica se gradi u Nottinghamu u Velikoj Britaniji 1874. god. (Herbert, 2007), a prva spalionica u SAD sagrađena je 1885. god. (EPA, 2016). Spaljivanje (insineracija) otpada je uspostavljeno u mnogim evropskim zemljama krajem 19. vijeka, kao sredstvo za minimiziranje količine otpada i uništavanje patogenih mikroorganizama koji se nalaze u otpadu. Broj spalionica povećan je do sredine 20. vijeka, donoseći zajednicama nekoliko ekoloških i zdravstvenih problema. Spalionice ili postrojenja za masovno sagorijevanje otpada su u to vrijeme bile primarni izvor emisije azotnih oksida, dioksina i drugih hemikalija u vazduh (Seltenrich, 2016). Prvobitno ovi sistemi nisu uključivali tehnologije energetske iskorišćavanja toplote iz otpada, te se nije vodilo računa o obradi dimnih gasova i zagađenju vazduha. Međutim, situacija se mijenja od 60-ih godina 20. vijeka, kada je većina insineratora u SAD zatvorena, primarno zbog pretjerane emisije lebdećih čestica. Zbog ograničenih ekonomskih koristi odvajanja i recikliranja, iskorišćavanje otpada u obliku proizvodnje toplotne i električne energije steklo je naklonost u posljednjih 30–40 godina. Do danas, popularnost insineracije u zemljama zapadne Evrope ne prestaje, te ovi sistemi uglavnom uključuju energetske iskorišćavanje kao i rigorozne zahtjeve u pogledu emisija, odnosno obrade dimnih gasova, koji su propisani EU direktivom o insineraciji otpada (Directive 2000/76/EC). Agencija za životnu sredinu u SAD (US EPA) je priznala energiju iz otpada kao čist, pouzdan, obnovljiv izvor energije. U 2016. godini broj postrojenja za povrat energije iz otpada dostigao je cifru od 1618 pogona širom svijeta, uključujući 512 postrojenja u Evropi, 822 postrojenja u Japanu, 88 u Sjedinjenim Državama i 166 u Kini. Od pomenutih 512 postrojenja u Evropi, 251 postrojenje je bilo sa kombinovanom toplanom i elektranom, 161 samo sa elektranom za proizvodnju električne energije i 94 postrojenja samo na toplotnu energiju, koja pružaju ukupni kapacitet spaljivanja od 93 miliona tona (Scarlat et al., 2019). Značajna razlika u broju postrojenja za povrat energije između SAD (88) i Japana (822), posebno imajući u vidu neuporedivo manju površinu Japana, može

se objasniti činjenicom da je odlaganje na deponije u Sjedinjenim Državama češća opcija zbog nižih ekonomskih troškova u poređenju sa postrojenjem za povrat energije, dok je spaljivanje dominantno u Japanu zbog nedostupnosti zemljišnih površina za izgradnju deponija, te ekoloških ograničenja (pritisak da se smanji količina otpada na deponijama), kao i zbog nedostatka fosilnih goriva za proizvodnju energije.

Spaljivanje otpada u Evropi je u stalnom porastu, mada ne toliko kao reciklaža i kompostiranje. Od 1995. godine količina komunalnog otpada spaljenog u EU se udvostručila, odnosno porasla je za 30 miliona tona i iznosila je 60 miliona tona u 2019. godini (Eurostat, 2021). Tako je spaljeni komunalni otpad u ovom periodu sa 70 kg po stanovniku porastao na 134 kg otpada po stanovniku godišnje (slika 9.1.). Evidentne su značajne razlike među državama članicama EU u pogledu upotrebe različitih metoda tretmana otpada. Neke države članice imale su vrlo visoke stope recikliranja (Italija i Belgija), dok su druge favorizovale deponovanje (Grčka, Bugarska, Rumunija, Finska i Švedska). Očekuje se da će insineracija, kao oblik tretmana otpada, bilježiti rast kako bi se ispunili ciljevi Direktive o deponovanju otpada, koji su navedeni u poglavlju Zakonski okvir za upravljanje otpadom.



Slika 9.1. Tretman komunalnog otpada u EU–27, u periodu 1995–2019. godine (kg po stanovniku), (Eurostat, 2021)

Iako je tehnologija termičkog tretmana otpada unapređena posljednjih decenija, zagađivanje vazduha još uvijek predstavlja veliki problem, posebno u zemljama u razvoju. Razvoj kvalitetnih sistema upravljanja otpadom u direktnoj je povezanosti sa stepenom ekonomske razvijenosti te raspoloživim prostornim resursima. Zemlje poput Japana, koje ne raspolažu prostorom za deponovanje otpada, razvile su

visoko sofisticirane tehnologije termičkog tretmana koje su svele količine pepela i ostataka od prerade otpadnih gasova na minimum. Tako je do 1999. godine gotovo svaka opština u Japanu morala imati postrojenje za tretman otpada, a tokom 2000. godine donesen je novi strogi zakon o emisijama gasova i pepela iz spalionica. U ovoj zemlji se 70% komunalnog otpada sagorijeva u postrojenjima za iskorišćavanje energije iz otpada (Worrell & Vesilind, 2011). Sa oko 40 miliona tona tretiranog otpada Japan je najveći korisnik termičke obrade komunalnog otpada u svijetu. U 2005. godini spalionice otpada u Danskoj su proizvele 4,8% električne energije od ukupne potrošnje električne energije i 13,7% toplotne energije potrebne za grijanje domaćinstava (Kleis & Dalager, 2007). U Danskoj se godišnje spali oko 3,5 miliona tona otpada (WWF, 2012). Niz drugih evropskih zemalja, posebno Austrija, Luksemburg, Nizozemska, Njemačka i Francuska, oslanjaju se na spaljivanje, kao način zbrinjavanja komunalnog otpada.

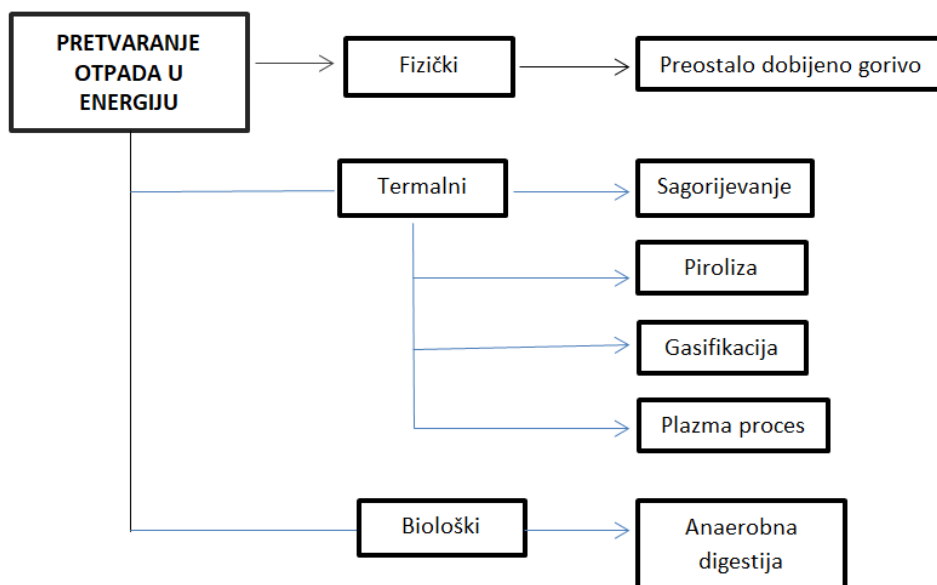
9.1. PRETVARANJE OTPADA U ENERGIJU

Povrat ili iskorišćavanje energije iz otpada je suštinski dio modernog upravljanja otpadom. Posljednjih godina otpad dobija sve veći interes kao opcija za smanjenje zavisnosti od uvoznih fosilnih goriva. Uopšteno, energija iz otpada može se direktno dobiti pretvaranjem otpada u: biogas, sintetički gas ili toplotu. Tehnološki način dobijanja energije iz otpada može se podijeliti u tri vrste i to: fizički, termički i biološki metod (slika 9.2.). U fizičkom procesu otpad se prerađuje mehaničkim putem u cilju dobijanja izdržljivijih i pogodnijih oblika kao što su: pelet, sječka i drveni briketi.

Biološki tretman je tehnologija koja koristi mikrobe za proizvodnju goriva iz otpada. U ovoj metodi otpad se obrađuje mikroorganizmima koji razlažu materijal u nedostatku kiseonika. U biološki tretman pretvaranja otpada u energiju ubrajamo anaerobnu digestiju, kojom se proizvodi biogas i koristiti za sagorijevanje direktno u kotlu ili koristiti kao prirodni gas za proizvodnju energije. U biološki tretman možemo uvrstiti i iskorišćavanje deponijskog gasa u energiju, o čemu će više riječi biti u poglavlju pod nazivom Deponovanje otpada.

U termičkom postupku transformacija otpada se odvija pod dejstvom toplote različitim postupcima (insineracija, gasifikacija, piroliza, plazma proces) pri čemu se proizvodi toplotna i električna energija. Spaljivanje otpada masovnim sagorijevanjem (insineracija) je najčešća tehnologija za povrat energije, jer ova tehnologija prihvata širok spektar otpadnih materijala (različite veličine, izvora i sastava). Postupci gasifikacije, pirolize i plazma procesa su generalno manje

uobičajeni i uglavnom se primjenjuju na prethodno obrađenom otpadu (npr. čvrsta regenerisana goriva, SRF ili goriva dobijena iz otpada, RDF).



Slika 9.2. Šematski prikaz metoda dobijanja energije iz otpada

Inače, termički tretman otpada u novijoj literaturi se označava kao „energija iz otpada (engl. *Energy form Waste – EfW*)” ili „otpad u energiju (engl. *Waste to Energy – WtE*)” čime se ukazuje na postupak za proizvodnju energije u obliku električne energije i/ili toplote iz primarne obrade otpada ili na preradu otpada u goriva (RDF). Dakle, WtE ili EfT je oblik povrata energije iz otpada. Spaljivanje ili insineracija, odnosno sagorijevanje organskog materijala, najčešća je primjena WtE. Treba imati u vidu da WtE postrojenje nije isto što i „spalionica” čija je namjena da smanji zapreminu otpada tako što se sagorijeva (spaljuje) otpad, a kao nusproizvod nastaje pepeo koji se odlaže na drugom mjestu, npr. na deponiju. Nasuprot tome, elektrana WtE je namjenski izgrađena da obezbijedi upotrebljivu energiju i može biti projektovana tako da ima malo ili nimalo izlaza na deponiju. Termin „spaljivanje“ potiče od zastarjele metode sagorijevanja čvrstog komunalnog otpada u cilju njegovog uništenja. WtE postrojenje radi tako što uzima otpad i pretvara njegovu potencijalnu energiju u bilo koju vrstu upotrebljive energije – tri glavna oblika su grijanje, struja i transportna goriva – baš kao što se ugalj, nafta i gas koriste u elektranama na fosilna goriva. WtE se može koristiti sa mnogo različitih vrsta otpada, od: kućnog, komercijalnog, industrijskog, građevinskog, do: kanalizacionog i poljoprivrednog, itd. Jedini kriterijum je da je

frakcija otpada zapaljiva i/ili biorazgradiva. Vrsta otpada koju uzima WtE postrojenje zavisi od toga koja je od dostupnih tehnologija izabrana: insineracija, piroliza, gasifikacija, itd. Kada su WtE tehnologije opremljene odgovarajućim postrojenjima za smanjenje zagađenja vazduha, one mogu doprinijeti čistoj proizvodnji električne energije i smanjenju emisije stakleničkih gasova. Međutim, ako se ne koriste pravilno, mogu pogoršati probleme sa kvalitetom vazduha.

Gorivo iz otpada. Pored navedenih postupaka termičkog tretmana postoje i dva dodatna procesa „selektivnog sagorijevanja“, pri čemu se zapaljive frakcije čvrstog otpada sagorijevaju kao gorivo, a to su gorivo iz otpada (engl. *Refuse Derived Fuel – RDF*) i čvrsto regenerisano gorivo (engl. *Solid Recovered Fuel – SRF*). Ponekad se ova dva pojma koriste kao sinonimi, iako između njih postoje određene razlike. Glavna razlika je u tome koliko je finalni proizvod, tj. gorivo, rafinisano i obrađeno za sagorijevanje. SRF kao čvrsto obnovljeno gorivo je prošlo kroz dodatnu obradu kako bi se poboljšao kvalitet i vrijednost. Proizvodi se uglavnom od komercijalnog otpada uključujući: papir, karton, drvo, tekstil i plastiku. SRF ima veću kalorijsku vrijednost od RDF-a i koristi se u objektima kao što su: cementne peći i druge vrste industrije. RDF je, s druge strane, manje rafinisano i obično nije tako „efikasan“ kao gorivo. Da bi se proizvelo gorivo od otpada, zapaljive frakcije otpada se mogu mehanički odvojiti iz mješovitog komunalnog otpada ili mogu biti odvojeni na mjestu nastanka tj. sakupljanjem odvojenih frakcija u domaćinstvima, kao što su: papir i plastika. Za razliku od postrojenja za masovno sagorijevanje gdje se neprerađeni čvrsti otpad uvodi u komoru za sagorijevanje, postrojenja RDF su opremljena za povrat reciklabilnih materijala (npr. metalni proizvodi, staklo) prije nego što se zapaljiva frakcija pretvori u pelete za spaljivanje. S druge strane, korišćenje sirovog neprerađenog komunalnog otpada kao goriva problematično je zbog heterogene prirode materijala, koja varira u zavisnosti od zemlje i godišnjeg doba. Neprerađeni komunalni otpad ima nisku toplotnu vrijednost i visok sadržaj pepela i vlage. To otežava operaterima postrojenja da uvijek obezbijede prihvatljive nivoe sagorijevanja bez zagađenja.

Otpad s visokim udjelom organskih materija (ugljenika) pogodan je za briketiranje i peletiranje nakon odvajanja nezapaljivih materijala i materijala koji se mogu reciklirati. Toplotna moć, vlažnost, udio hlora i teških metala u gorivu su osnovni parametri pomoću kojih se definiše kvalitet goriva dobijenog iz otpada. Generalno, proces pretvaranja komunalnog otpada u RDF sastoji se od: usitnjavanja, prosijavanja, sortiranja, sušenja i/ili peletizacije kako bi se poboljšale karakteristike rukovanja i homogenost materijala. Dobijeno gorivo ima znatno veću toplotnu moć od sirovog komunalnog otpada, ali zahtijeva veće troškove. Kapitalni troškovi po toni kapaciteta za jedinice za spaljivanje koje koriste RDF u prosjeku su veći nego

za druge vrste spaljivanja. Zbog toga se mora naći kompromis između povećanih troškova proizvodnje RDF iz komunalnog otpada i potencijalnih smanjenja troškova u dizajnu i radu sistema.

9.2. PREDNOSTI I NEDOSTACI TERMIČKOG TRETMANA

Prednosti termičkog tretmana. Postoji nekoliko prednosti iskorišćavanja energije iz komunalnog otpada, kao što su: obezbjeđivanje lokalnog izvora obnovljive energije i smanjenje količine čvrstog otpada bačenog na deponije. Dakle, WtE pretvara otpad iz problema u resurs, a energija koju proizvodi doprinosi uštedi primarne energije iz drugih izvora energije. Na taj način, sagorijevanje čvrstog otpada zamjenjuje upotrebu fosilnih goriva za proizvodnju energije, zbog čega se često posmatra kao „obnovljivi izvor“ energije, jer veliki dio energetske sadržaja komunalnog otpada zaista potiče iz obnovljivih izvora (biomase). Očekuje se da će procesi konverzije otpada u energiju, kao izvora obnovljive energije, igrati sve važniju ulogu u održivom upravljanju komunalnim otpadom na globalnom nivou. Dodatnu prednost predstavlja pozitivan efekat na smanjenje emisije stakleničkih gasova, jer se ovim procesom izbjegavaju emisije metana sa deponija i ugljen-dioksida iz fosilnih goriva. Procjenjuje se da bi se smanjenje globalnih emisija stakleničkih gasova za oko 10–15% moglo postići poboljšanjem upravljanja čvrstim otpadom (recikliranjem, preusmjeravanjem otpada sa deponija i iskorišćavanjem energije iz otpada) (Wilson, 2015).

U zavisnosti od njegovog sastava, spaljivanje komunalnog otpada smanjuje zapreminu izvornog otpada u prosjeku za oko 90%, dok se težina otpada smanjuje za oko 70% (White, 1995), čime se postižu ekološke i ekonomske prednosti u odnosu na deponovanje otpada. Stabilizacija otpada se odnosi i na činjenicu da je pepeo znatno inertniji u odnosu na miješani komunalni otpad (zbog oksidacije organske komponente otpada), a to dovodi do smanjenih problema sa upravljanjem deponijama, jer je organska frakcija odgovorna za proizvodnju deponijskog gasa i procjednih voda.

WtE takođe omogućava tretman opasnog otpada. Naime, termičkim tretmanom se vrši destrukcija velikog broja zagađujućih supstanci koje su prisutne u otpadu i omogućava stabilizacija i sterilizacija otpada (uništavanje patogenih organizama iz otpada).

Termičke metode mogu se koristiti za tretman vrlo širokog spektra otpada:

- 1) Komunalni otpad – koji nije prethodno tretiran.
- 2) Prethodno tretiran komunalni otpad.
- 3) Industrijski neopasan otpad.
- 4) Mulj iz procesa prečišćavanja otpadnih voda (kanalizacija).
- 5) Medicinski otpad.

Različite termičke metode mogu istovremeno da služe za termičku obradu dvije ili više navedenih grupa otpada.

Osnovni **nedostaci** termičkog tretmana su:

- 1) Visoki kapitalni i troškovi održavanja.
- 2) Tehnološki rizici i operativni izazovi.
- 3) Kontroverze u pogledu njihovih uticaja na životnu sredinu.

Poznato je da pretvaranje otpada u energiju može imati neželjene negativne efekte. Važan rizik sa sistemima zasnovanim na WtE je da oni postaju zavisni od otpada što može podsticati povećanje količine proizvedenog otpada, umjesto njegovog smanjenja, čime se doprinosi porastu potrošačkog mentaliteta, a time i većoj upotrebi energije i materijala u cijelom društvu, povećavajući povezane uticaje na životnu sredinu. Pored toga, otpad kao resurs dovodi do kupovine otpada za energiju, što često zahtijeva transport na velike udaljenosti, što dodatno povećava uticaj na životnu sredinu.

9.3. METODE TERMIČKOG TRETMANA

Termički tretman ili obrada čvrstog otpada u okviru integralnog sistema upravljanja otpadom može da obuhvati različite procese. Kod svih procesa transformacija se otpada odvija pod dejstvom toplote, ali pri različitim procesnim uslovima (temperatura, gasifikujući agens i sl.) dobijaju se različiti produkti procesa (gasoviti efluenti, tečna i čvrsta faza) (tabela 9.1.).

Termički tretman otpada izvodi se sljedećim postupcima:

- 1) Spaljivanje (insineracija) – proces kontrolisanog sagorijevanja otpada u prisustvu kiseonika i pri temperaturi od 850 °C do 1200 °C, pri čemu nastaju nusproizvodi: pepeo, ugljendioksid (CO₂), voda, sumpordioksid (SO₂), azotni oksidi (NO_x), čestice, teški metali i dioksini.
- 2) Piroliza – oblik spaljivanja koji hemijski razlaže organske materijale toplotom u odsustvu kiseonika. Piroliza se obično odvija pod pritiskom i

na radnim temperaturama iznad 430 °C, pri čemu se materijal zagrijava spoljašnjim izvorom toplote.

- 3) Gasifikacija – pretvaranje čvrstih organskih komponenti otpada bogatih ugljenikom na visokim temperaturama (1500 °C do 2000 °C) u gasovita goriva.
- 4) Plazma proces – unaprijeđeni tehnološki proces prerade otpada pri kojem se koriste visoke temperature, između 3.000 °C i 10.000 °C, i razgrađuje pomoću plazma lučnog gorionika (baklje).

Tabela 9.1. Tipični reakcioni uslovi i produkti procesa pirolize, gasifikacije i insineracije (Kolb, & Seifert, 2002)

	Piroliza	Gasifikacija	Insineracija	Plazma tehnologije
Temper.(°C)	250–900	500–1800	800–1450	1200–2000
Pritisak (bar)	1	1–45	1	1
Atmosfera	Inertna/N ₂	Gasifikujući agens: O ₂ , H ₂ O	Vazduh	Gasifikujući agens: O ₂ , H ₂ O Plazma gas: O ₂ , H ₂ , Ar
Stehiometrijski odnos O₂	0	< 1	> 1	< 1
PRODUKTI PROCESA:				
Gasna faza	H ₂ , CO, H ₂ O, N ₂ , ugljovodonici	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
Čvrsta faza	Pepeo, koks	Šljaka, pepeo	Šljaka, pepeo	Šljaka, pepeo
Tečna faza	Pirolitičko ulje i voda			

Najpoznatiji proces termohemijske obrade otpada je masovno spaljivanje (engl. *Mass-burn incineration*) ili insineracija miješanog komunalnog čvrstog otpada u velikim postrojenjima za spaljivanje, odnosno spaljivanje svih vrsta otpada koji je

neprerađen ili minimalno prerađen⁴¹. Ovaj tip termičke obrade se još naziva direktno sagorijevanje ili spaljivanje (insineracija) i predstavlja najjednostavniji i najstariji način spaljivanja komunalnog otpada. Uspješno spaljivanje otpadnog materijala zavisi od: vremena sagorijevanja, temperature i stepena turbulencije. Generalno, komunalni otpad se sagorijeva u masovnim spalionicama kako bi se proizvela električna energija i drugi oblici energije. Postoji niz drugih novih tehnologija koje su sposobne proizvoditi energiju iz otpada i drugih goriva bez direktnog sagorijevanja, a to su procesi: gasifikacije, pirolize i plazma procesi. Pomenute tehnologije koje mogu proizvesti više električne energije iz iste količine otpada nego što bi to bilo moguće direktnim sagorijevanjem i efikasno pretvoriti energiju u tečna ili gasovita goriva. Proces gasifikacije, pirolize i plazma procesi, kao napredniji termohemijski procesi, razvijaju se postupno od 70-tih godina 20. vijeka. Generalno, ove alternativne tehnologije primjenjene su na odabranim tokovima otpada i u manjem obimu od spaljivanja, i pokušavaju da kontrolišu temperaturu i pritisak procesa u posebno dizajniranim reaktorima (Bosmans and Helsens, 2010). Ove tehnologije se razlikuju u načinu tretmana otpada i iskorišćenja dobijene energije, pa tako npr. insineracija direktno oslobađa energiju iz otpada, dok piroliza i gasifikacija stvaraju sekundarne proizvode od kojih se kasnije može dobiti energija.

Tehnologije pirolize i gasifikacije nazivaju se naprednim termičkim tretmanom, a dizajnirane su za proizvodnju energije i smanjenje količine biorazgradivog komunalnog otpada za deponovanje. Međutim, piroliza i gasifikacija obično zahtijevaju složeniji predtretman otpada, kako bi se dobila sirovina ujednačenih osobina. Ovi napredni termički tretmani se mogu smatrati skupljima od tradicionalnih spalionica, jer ove tehnologije zahtijevaju veće kapitalne i operativne troškove. Trenutno se ne smatraju pouzdanim i isplativim alternativama, posebno za zemlje u razvoju (Reddy, 2011). U Latinskoj Americi je poznato nekoliko primjera preuranjenih pokušaja usvajanja ove tehnologije gdje su zbog visokih troškova ili ekoloških razloga morali da zatvore postrojenja.

Svaki od navedenih procesa daje gasovite zagađujuće materije, kao i otpadne vode (piroliza i gasifikacija), odnosno čvrste proizvode (piroliza i insineracija) (tabela 9.1.). Na osnovu toga, ove procese možemo definisati kao procese konverzije otpada u gasovite, tečne i čvrste proizvode, sa ili bez energetske iskoriscavanja.

⁴¹ Poželjno je odvojiti opasan otpad iz domaćinstva, kao što su sredstva za čišćenje i pesticidi, a takođe sortirati neke materijale (na primer, otpaci gvožđa).

9.3.1. Spaljivanje (insineracija)

Spaljivanje ili insineracija otpada predstavlja proces oksidacije gorivih komponenata otpada, pri kojem se oslobađa energija. Kontrolisani proces sagorijevanja prvenstveno se primjenjuje da bi se smanjila količina otpada, a ako su pravilno opremljeni, mogu pretvoriti vodu u paru za zagrijavanje sistema grijanja ili generisati električnu energiju. U procesu spaljivanja učestvuju gorive komponente iz otpada i kiseonik iz vazduha, a nusproizvodi su šljaka i pepeo kao čvrsti ostatak na dnu ložišta, te čestice letećeg pepela i dimni gasovi. Cijeli se taj proces odvija u prostoru koji se naziva ložište (slika 9.3.).



Slika 9.3. Šema spaljivanja otpada

Insineracija se definiše kao kontrolisano spaljivanje otpada. Pri tome se poseban akcenat stavlja na termin **kontrolisano** kako bi se naglasila razlika između ovih tehnologija i prostog spaljivanja otpada na otvorenom prostoru. Nekontrolisano spaljivanje otpada na otvorenom, s ciljem smanjenja količine otpada, je opasan i štetan čin, prvenstveno po zdravlje onih koji spaljuju otpad, a zatim i svih okolnih stanovnika i životinjskog svijeta. Za razliku od nekontrolisanog, kontrolisano spaljivanje otpada uključuje sljedeće uslove: sagorijevanje u sredini obogaćenom kiseonikom pri povišenoj temperaturi, korišćenje pomoćnog goriva, miješanje dolazećeg otpada i prisilno ubacivanje vazduha u sistem i sl. (Pichtel, 2014). Termini insinerator i sistem insineracije se koriste da opišu opremu i sisteme koji sagorijevaju čvrsti otpad i gorivi dio otpada.

Osnovna tehnologija za savremeno sagorijevanje otpada u energiju razvijena je u Evropi tokom 1960-ih i 1970-ih. Ova tehnologija je tokom svog razvoja modifikovana i poboljšana i široko se primjenjuje u mnogim razvijenim državama svijeta, a posebno u onima koje oskudijevaju slobodnim prostorom za izgradnju deponija ili energentima, poput Japana, Nizozemske i dr. Ipak, puni potencijal korišćenja čvrstog otpada za proizvodnju energije nije ostvaren zbog rasprostranjenih strahova u vezi sa zagađenjem životne sredine. Mnogi stručnjaci tvrde da moderna postrojenja za pretvaranje otpada u energiju, sa odgovarajućim zaštitnim mjerama za zaštitu životne sredine i pažljivim praćenjem, predstavljaju sigurnu i isplativu tehnologiju koja će vjerovatno dobiti značaj u narednim

decenijama. S druge strane, rasprave o etici otpadnih resursa uključuju mišljenje da spalionice uništavaju vrijedne resurse, kao i strah da one mogu smanjiti aktivnosti u recikliranju otpada.

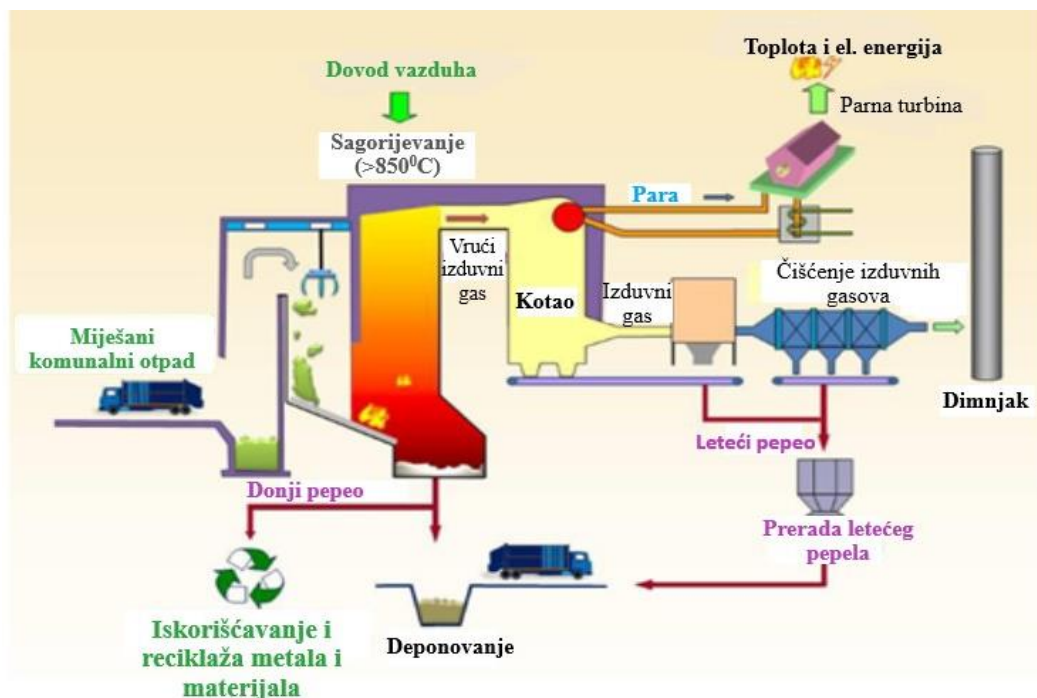
Spaljivanje se takođe može izvesti bez povrata (iskorišćavanja) energije i materijala. Spalionice koje ne uključuju odvajanje materijala radi uklanjanja opasnih, glomaznih materijala ili materijala koji se mogu reciklirati prije sagorijevanja, izazivaju veliki rizik po zdravlje radnika postrojenja i životnu sredinu. Većina ovih objekata ne proizvodi električnu energiju. S druge strane, modernije spalionice su opremljene uređajima za kontrolu zagađenja koji u većini slučajeva uključuju sredstva za čišćenje dimnih gasova u obliku skrubera/ispirača kiselih gasova, zajedno s elektrofilterima ili vrećnim filterima. Treba imati u vidu da je tehnologija spaljivanja veoma skupa i zahtijeva veliki kapital, kao i značajne troškove rada i održavanja.

Metoda spaljivanja je najpogodnija za otpad visoke kalorijske vrijednosti sa velikom komponentom: papira, plastike, materijala za pakovanje, ali i određenim opasnim i medicinskim otpadom. Smatra se realnom metodom tretmana određenog opasnog, nemetalnog organskog otpada i medicinskog otpada jer visoka temperatura uništava bakterije i viruse. Ovaj proces je relativno sterilan, bez buke i bez mirisa, a zahtjevi za zemljištem su minimalni.

9.3.1.1. Proces spaljivanja (insineracije) otpada

U osnovi, spaljivanje je oksidacija organskih zapaljivih materijala sadržanih u otpadu. Spaljivanje se može definisati i kao proces redukovanja sagorivog otpada u jedan inertan ostatak sagorijevanjem na visokoj temperaturi. Otpad se pored gorivih sastoji i od negorivih komponenti kao što su: stakleni krš, metali, mineralna jedinjenja i sl. Te materije je poželjno odstraniti da bi se dobio homogeniji sastav gorivih komponenti. Gorive komponente u otpadu sastavljene su od: ugljenika (C), vodonika (H), sumpora (S), kiseonika (O) i azota (N). Ovi hemijski elementi nalaze se u različitim jedinjenjima i u različitim udjelima. Organske otpadne supstance sagorijevaju kada dostignu temperaturu paljenja i dođu u kontakt sa kiseonikom. Termohemijske reakcije sagorijevanja gorivih komponenata otpada su u osnovi iste kao kod sagorijevanja konvencionalnih goriva, te podrazumijevaju nastajanje gasova, a posebno: CO₂, CO, H₂O, NO_x, SO₂. Pored navedenog, spalionice zagađuju vazduh sitnim česticama (PM_{2,5} i manje), toksičnim metalima i različitim organskim hemikalijama (dioksini, furani, PCB i sl.).

Insineracija i napredne tehnologije za spaljivanje otpada nude mogućnost tretmana otpada pri čemu se može dobiti energija. Nakon procesa sagorijevanja, proizvedena toplota se koristi za stvaranje pare u kotlu koja pokreće turbine za proizvodnju električne energije ili se koristiti za snabdijevanje toplotom drugih objekata, npr. grijanje obližnjih zgrada zimi. Neka istraživanja pokazuju da je za spalionicu mnogo efikasnije da generiše toplotu iz komunalnog otpada u odnosu na električnu energiju (oko 90% toplote u odnosu na 14–27% električne energije).



Slika 9.4. Šematski dijagram procesa sagorijevanja otpada u spalionici (EPD HK, 2009)

Bez obzira na vrstu tehnologije, postrojenja za spaljivanje otpada i dobijanje energije se sastoje iz sljedećih elemenata (DEFRA, 2013):

- 1) Prijem otpada i rukovanje;
- 2) Komora za sagorijevanje;
- 3) Postrojenje za dobijanje energije iz otpada;
- 4) Tretman gasova nastalih u procesu sagorijevanja;
- 5) Tretman pepela i zagađenja nastalih iz uređaja za kontrolu zagađenja vazduha.

Za spalionice (insineratore) je neophodno u kontinuitetu obezbijediti dovoljne količine otpada koji se neprestano doprema u peć. Otpad se sagorijeva u peći na

visokoj temperaturi uz kontinuirano dovodenje vazduha kako bi se osiguralo potpuno sagorijevanje, sprečavajući stvaranje ugljen-monoksida i smanjilo stvaranje dioksina. Izduvne gasove iz kotla potrebno je očistiti kako bi se spriječilo zagađenje životne sredine. Izduvni gasovi mogu sadržati: kisele gasove (oksidi sumpora, hlorovodonik), teške metale, dioksine, prašinu i sitne čestice i okside azota. Spaljivanje otpada je dozvoljeno samo u postrojenjima koja su opremljena za tretman otpada na takav način da granične vrijednosti emisije budu ispod zakonom propisanih vrijednosti. Pored gasovitih polutanata, spaljivanjem nastaju i čvrsti proizvodi sagorijevanja, tj. šljaka i pepeo, koji mogu biti opasniji od polaznog otpada, jer se u njima mogu koncentrisati najopasniji elementi otpada. Ostaci pepela iz spaljivanja uključuju donji i leteći pepeo. Donji pepeo ostaje na dnu peći nakon spaljivanja, a leteći pepeo čine čestice u dimnom gasu koje se izdvajaju u opremi za filtriranje vazduha (npr. elektrostatičkim ili vrećnim filterima) prije ispuštanja gasa iz dimnjaka (slika 9.4.). Donji pepeo se može odložiti na odgovarajuće deponije, a u određenim uslovima se može koristiti kao građevinski materijal. Leteći pepeo se obično odlaže na deponije.

Temperatura u zoni sagorijevanja u ložištu varira i zavisi od vrste ložišta i kreće se od 800 °C do 1100 °C. Na ovoj temperaturi sagorijevanje je najoptimalnije i stvaranje neprijatnih mirisa minimalno. Kada se otpad nađe u vrućem ložištu prvo počinje faza sušenja otpada koje se vrši na temperaturama od 50 °C do 100 °C. Nakon sušenja, dolazi do raspadanja pod dejstvom toplote i do pirolize organskih materijala (toplotna razgradnja organskog materijala pri povišenoj temperaturi i odsustvu kiseonika) kao što su papir, plastika, ostaci hrane, tekstil itd. i tom prilikom se stvaraju volatili, gorivi gasovi i isparenja. Oslobođanje volatila je na temperaturama od 200 °C do 750 °C, a intenzivnije oslobođanje između 425 °C do 550 °C. Potpuno sagorijevanje volatila predstavlja drugu fazu i zahtijeva izuzetno visoke temperature, dovoljno vrijeme u ložištu i dodatni vazduh koji osigurava dobro miješanje. Prema evropskoj Direktivi o spaljivanju otpada, postrojenja za spaljivanje moraju biti projektovana tako da osiguraju da dimni gasovi dostignu temperaturu od najmanje 850 °C tokom 2 sekunde, uz višak kiseonika od najmanje 6% zapreminskih, kako bi se osigurala pravilna razgradnja otrovnih organskih materija. Ako otpad sadrži organske materije sa više od 1 masenog procenta halogena, izraženih kao hlor, temperatura mora dostići najmanje 1.100 °C. Da bi se to postiglo u svakom trenutku, potrebno je ugraditi pomoćne plamenike (koji se često napajaju uljem) koji se pale u slučaju da vrijednost grijanja otpada postane preniska.

Vrijeme potrebno za potpuno sagorijevanje vezanog ugljenika je od 30–60 min. U praksi su neke od ovih faza spojene u jednu, pošto se otpad razlikuje po: sadržaju

vlage, temperaturi sagorijevanja, sastavu volatila, količini vezanog ugljenika i temperaturi paljenja. Provođenjem tehničkih mjera u samom ložištu moguće je uticati na pomenute faze, a time i na emisiju polutanata. Ove mjere uključuju konstrukciju ložišta, distribuciju vazduha i specifičnu kontrolu procesa.



Slika 9.5. Spalionice u Beču (Austrija)⁴², Malmø (Švedska) i Oberhausen (Njemačka) (redosljedom) (GLA, 2021)

Ipak, moguće je uticati na ove procese kako bi se smanjile emisije zagađivača, na primjer korišćenjem mjera poput dizajna peći, distribucije vazduha i inženjerskog upravljanja. Za efikasno oksidativno sagorijevanje neophodno je dovoljno snabdijevanje kiseonikom. Izvedbeni projekat postrojenja za spaljivanje otpada mijenjaće se u zavisnosti od vrste otpada koji se tretira. Ključni parametri spaljivanja su: hemijski sastav, fizičke i toplotne karakteristike otpada. Adekvatnim spaljivanjem postiže se razaranje nekih vrsta otpada i uništavanje toksičnosti drugih, radi omogućavanja odlaganja na deponije, kao na primjer: sagorivih kancerogenih supstanci, patoloških materijala, otrovnih organskih jedinjenja ili biološki aktivnih materijala, koji bi otežavali obradu otpada drugim metodama.

Spaljivanjem otpada se tretira oko polovine ukupnog komunalnog otpada u Danskoj i Švedskoj. Prema Eurostat podacima iz 2010. godine najveći udio spaljenog komunalnog otpada zabilježen je u Danskoj (54% obrađenog otpada), Švedskoj (49%), Nizozemskoj (39%), Njemačkoj (38%), Belgiji (37%), Luksemburgu (35%) i Francuskoj (34%). Prema novijim podacima, u Danskoj se spaljuje preko 80% komunalnog otpada. Skoro svaki grad u Danskoj ima svoju spalionicu i oni su uglavnom u javnom vlasništvu. S obzirom da je Danska jedna od zemalja EU koje proizvode najviše otpada po glavi stanovnika, to znači da se tamo sagorijeva više otpada nego što se stvara u zemljama poput: Češke, Estonije, Bugarske ili Poljske. Iako je ovo značajno doprinijelo proizvodnji toplotne i

⁴² Spalionica Špitelau jedno je od nekoliko postrojenja koja pružaju daljinsko grijanje u Beču.

električne energije, izgubljeni su materijali i resursi koji bi se inače mogli reciklirati. Zbog toga se u novom planu upravljanja otpadom prioritet daju drugim oblicima iskorišćavanja otpada, kao što su reciklaža i kompostiranje.⁴³

9.3.1.2. Tipovi sistema za spaljivanje

Postrojenja za termičku obradu otpada razlikuju se prema vrsti otpada koju koriste kao gorivo, odnosno njegovog sastava, fizičkih i termičkih karakteristika. Prema vrsti tehnologije koja se razlikuje po konstrukciji ložišta, odnosno komore za spaljivanje, razlikujemo tri glavna tipa spalionice:

- 1) Spalionice sa rešetkama;
- 2) Rotacione peći;
- 3) Spalionice sa fluidizovanim slojem.

Spaljivanje na rešetki se uglavnom koristi u velikim postrojenjima, dok se u manjim postrojenjima pretežno koristi tehnologija sagorijevanja u fluidizovanom sloju uz obaveznu prethodnu obradu otpada, kao što je usitnjavanje i uklanjanje metala i stakla. Rotacione peći se uglavnom koriste za spaljivanje opasnog otpada, dok se peći sa rešetkom i fluidizovanim slojem obično koriste za neopasan otpad.

9.3.1.2.1. Spalionice (insineratori) sa pokretnom rešetkom

U 20. vijeku najveći napredak u spaljivanju otpada bio je razvoj pokretnih rešetki, koje omogućavaju da se otpad neprestano ubacuje u peć, gravitaciono ili mehanički. Većina postrojenja za masovno spaljivanje sagorijevaju komunalni otpad na nagnutoj, pokretnoj rešetki koja vibrira ili se na drugi način pomijera kako bi se otpad protresao i pomiješao sa vazduhom. Toplota oslobođena sagorijevanjem pretvara vodu u paru, koja se zatim šalje u turbinski generator za proizvodnju električne energije.

Ovaj tip spalionice se primjenjuje za spaljivanje miješanog komunalnog otpada, bez prethodnog tretmana. U Evropi približno 90% spalionica koje tretiraju komunalni otpad koristi rešetke. Pored komunalnog, u ovim spalionicama se

⁴³ Neke mjere predviđene planom sastoje se u zamjeni spaljivanja odvojeno prikupljenim baštenskim otpadom i otpadom hrane za proizvodnju biogasa i komposta, recikliranjem plastike i papira koji se sada spaljuju ili odlaganjem otrovnih materijala na deponije, poput PVC-a, umjesto njihovog ispuštanja u vazduh kroz sagorijevanje. To takođe podrazumjeva privatizaciju u vlasništvu spalionica pa će one koje nisu isplative morati da se zatvore. Sve u svemu, cilj je smanjiti otpad koji se šalje za spaljivanje za 820.000 tona do 2022. godine. (<https://www.politico.eu/article/denmark-devilish-waste-trash-energy-incineration-recycling-dilemma/>).

spaljuje komercijalni i industrijski neopasni otpad, mulj iz kanalizacije i infektivni otpad. Glavni razlog širokog usvajanja tehnologije spaljivanja sa rešetkom je njena relativna jednostavnost. Konstrukcija prijemne zone i ložišta opremljena je tako da se otpad: usitnjava, miješa i kontinuirano sipa u iz bunkera na pokretnu rešetku gdje se otpad ravnomjerno raspoređuje i spaljuje (24h na dan). Rešetka ujedno osigurava dovoljne količine vazduha za sagorijevanje otpada, a spaljivanje se provodi na temperaturama od 850 °C do 1000 °C. Rešetka na kojoj otpad sagorijeva može biti ravna, kosa ili stepenasta. Nesagorivi ostatak koji ostaje na rešetki, a zatim pada u vodeno kupatilo na naglo hlađenje, naziva se grubi pepeo ili šljaka. Udio čvrstog ostatka u produktima insineracije značajno varira od tipa otpada i samog postrojenja. Kod insineratora za komunalni otpad udio šljake je 25–30% od ukupne mase obrađenog otpada, dok je udio letećeg pepela znatno niži (1–5%). Imobilizacija letećeg pepela je neophodna kako bi se obezbijedilo njegovo dalje sigurno odlaganje na sanitarnim deponijama.



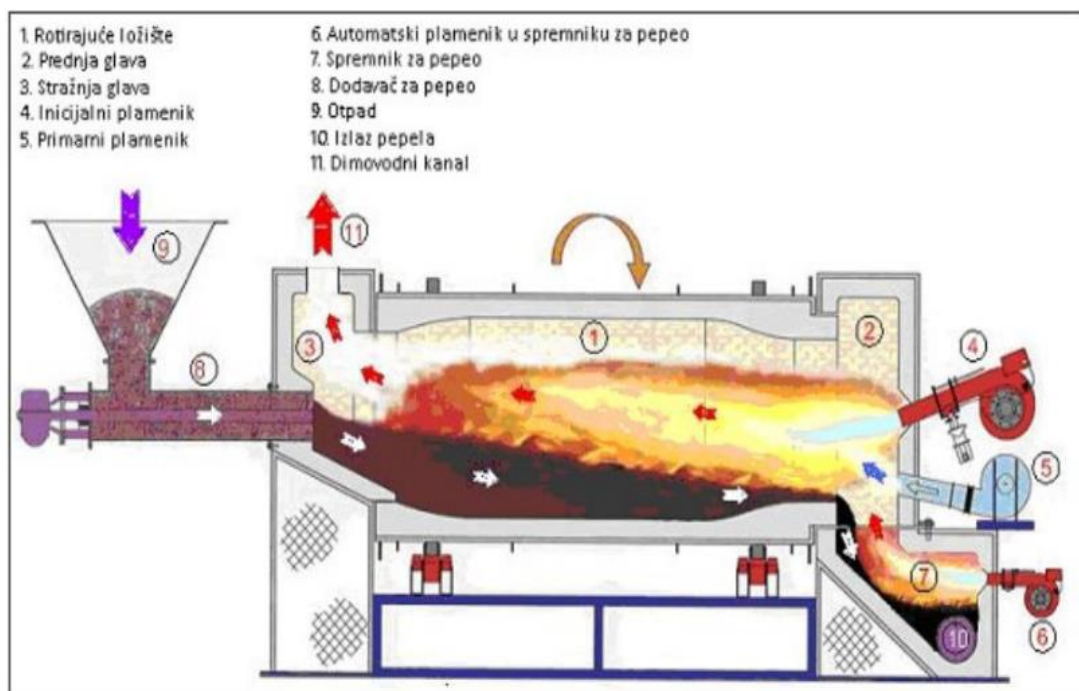
Slika 9.6. Peći spalionice sa pokretnom rešetkom kapaciteta 15 t³ otpada na sat. Vidljive su rupe na rešetki koja obezbijuje primarni vazduh za sagorijevanje (Claush66, 2007)

Tipična spalionica sa rešetkom (prikazana na slici 9.6.) sastoji se od sljedećih komponenti: dodavač otpada, rešetka za spaljivanje, dno odvodnika pepela, sistem vazдушnih kanala za spaljivanje, komora za spaljivanje i pomoćni gorionici.

9.3.1.2.2. Rotacione peći

Rotacione peći su vrlo robusne i omogućavaju spaljivanje gotovo svih vrsta otpada, bez obzira na vrstu i sastav, a veliku primjenu nalaze u obradi opasnog, posebno medicinskog otpada. Radne temperature rotacionih peći kreću se od oko 500 °C (kao rasplinjač) do 1450 °C (kao peć za topljenje pepela visoke temperature). Kada se koristi za konvencionalno oksidativno sagorijevanje (spaljivanje uz prisutnost

kiseonika), temperatura je uglavnom iznad 850 °C. Za spaljivanje opasnog otpada temperaturni raspon je od 900 °C do 1300 °C. Vrijeme zadržavanja otpada u rotacionoj peći je obično 30–90 minuta. Rotaciona peć se sastoji od cilindrične posude blago nagnute na svojoj horizontalnoj osi gdje se otpad gravitacijom prenosi kroz peć dok se okreće (slika 9.7.). Rotacione peći se sastoje od primarnog i sekundarnog ložišta. Primarno ložište je rotirajući bubanj od vatrostalnog materijala u kojem se spaljuje čvrsti i tečni otpad (stara ulja, muljevi), a sekundarno ložište služi za potpuno sagorijevanje dimnih gasova kako bi se razgradile opasne organske materije, kao što su: policiklični aromatični ugljovodonici (PAH), polihlorovani bifenili (PCB), dioksini i sl.



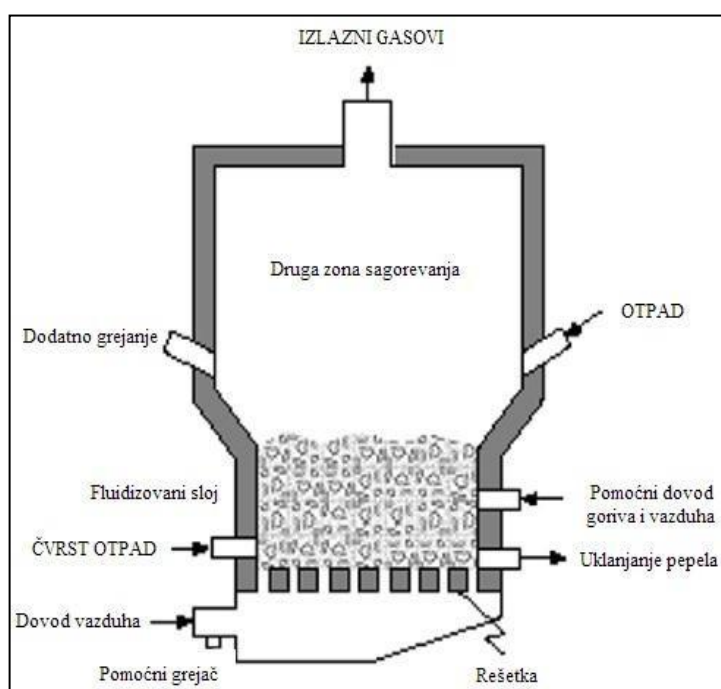
Slika 9.7. Rotaciona peć (HAAT, 2019)

Prednost ovog tipa sistema za insineraciju je mogućnost obrade opasnog otpada uz visoke temperature, a nedostatak je velika potrošnja goriva i mala proizvodnja toplotne energije.

9.3.1.2.3. Spalionice sa fluidizovanim slojem

Ovaj tip spalionica je relativno nova tehnologija termičkog tretmana, gdje se otpad sagorijeva u suspendovanom sloju inertnog materijala (pijesak), pri čemu se direktnim kontaktom goriva sa slojem pijeska obezbijeduje bolje sagorijevanje. U spalionici sa fluidizovanim slojem rešetka za podlogu se zamjenjuje slojem

krečnjaka ili pijeska koji može da izdrži visoke temperature. Sagorijevanje otpada se vrši uduvavanjem vazduha ispod pijeska ka gore, sistemom za distribuciju vazduha (9.8.). Pregrijan vazduh se uvodi u komoru za sagorijevanje, formirajući fluidizovani sloj u kojem dolazi do sušenja, isparavanja, paljenja i sagorijevanja otpada. Radne temperature ložišta za ovu vrstu tehnologije kreću se između 850 °C i 950 °C. Glavnu primjenu nalazi u spaljivanju homogenih masa kao što su: obrađeni komunalni otpad, muljevi od prečišćavanja otpadnih voda, lignit, te biomase (npr. drvo). Spalionica u fluidizovanom sloju je obložena komora za spaljivanje u obliku vertikalnog cilindra u koji se otpad doprema putem pumpi ili transportnih traka, sa strane ili vrha cilindra.



Slika 9.8. Princip sagorijevanja otpada u fluidizovanom sloju (Stantec Consulting, 2011)

Prednost ove tehnologije je što se u postupak mogu dodati reagensi koji hvataju halogene (hloride i fluoride), smanjujući konačno ispuštanje kiselih gasova (McDougall, et al. 2008). Sa tog aspekta, insineratori sa fluidizovanim slojem su ekološki najprihvatljiviji vid sagorijevanja otpada, jer emituju značajno manje štetnih gasova. U poređenju sa drugim tehnologijama spaljivanja, spalionice u fluidizovanom sloju mogu sagorijevati čvrsti otpad sa različitim sadržajem vlage i toplote. Ovaj sistem je u dodatnoj prednosti nad ostalim tehnologijama jer je energetski efikasniji, stvara manje ostataka i ima niže emisije u vazduh.

Zahvaljujući visokoj kompatibilnosti sa sistemima za reciklažu, ova tehnologija se može primijeniti u malim razmjerama u gradovima sa visokim kapacitetima za reciklažu (Kumar, 2016).

Nedostatak spalionice sa fluidizovanim slojem je u obaveznoj pripremi otpada koja se može postići kombinacijom selektivnog sakupljanja otpada i/ili prethodne obrade, kao što je usitnjavanje i uklanjanje metala i stakla. Veličina čestica otpada mora biti mala, često sa maksimalnim prečnikom 200–300 mm (Limerick, 2005). Relativno visoki troškovi procesa prethodne obrade potrebni za neki otpad ograničili su ekonomsku upotrebu ovih sistema. Pri tretmanu mulja i sličnog otpada potrebno je uvesti dodatno tečno ili gasovito gorivo kako bi se postigla zahtijevana temperatura, što poskupljuje cijeli proces. Pored toga, insineratori sa fluidizovanim slojem imaju veća kapitalna ulaganja (EEA, 2002). Dodatni nedostatak je i manja brzina sagorijevanja (do 30% sporije u odnosu na masovno spaljivanje). Do sada je ovaj proces najviše razvijen i primijenjen u Japanu.

9.3.1.3. Prednosti i nedostaci procesa spaljivanja

Prednosti procesa spaljivanja se ogledaju u sljedećem:

- 1) Napredak u opremi i dizajnu za kontrolu emisija i stroge zakonske regulative, barem u razvijenim zemljama, su u velikoj mjeri smanjile emisije: dioksina, furana i drugih aeropolutanata, a time i zabrinutost zbog njihovih zdravstvenih efekata.
- 2) Električna i toplotna energija proizvedena u postrojenjima za spaljivanje može da zamijeni elektrane na druga goriva u mreži električne energije i daljinskog grijanja.
- 3) Spaljivanjem otpada se smanjuju emisije gasova sa efektom staklene bašte koji nastaju odlaganjem otpada na deponije, a ujedno se i štedi prostor za izgradnju deponija, te smanjuje njihov uticaj na životnu sredinu; Svaka tona spaljenog čvrstog komunalnog otpada sprečava ispuštanje oko jedne tone ekvivalenta ugljen-dioksida u atmosferu (Themelis, 2003).
- 4) Spaljivanje medicinskog otpada i mulja iz kanalizacije proizvodi pepeo krajnjeg proizvoda koji je, uz određeni predtretman, sterilan i neopasan.
- 5) Pepeo iz spalionica moguće je koristiti i kao sirovinu za proizvodnju građevinskog materijala, čime se postiže i ekonomska prednost.
- 6) Volumen otpada spaljivanjem se drastično smanjuje (oko 90%) čime se znatno pojednostavljuje dalje skladištenje preostalog otpada, tj. pepela, i produžava vijek trajanja deponija.

Razlozi protiv spaljivanja otpada:

- 1) Brojni izvještaji pokazuju da spalionice mogu predstavljati rizik za životnu sredinu i zdravlje ljudi, a posebno pri neadekvatnom spaljivanju pri kojem može doći do akcidentnih situacija.
- 2) Spalionice su najveći izvor dioksina koji se ubrajaju u najsnažnije otrove i visokokancerogene materije.
- 3) Pored dioksina spalionice emituju i teške metale, a posebno one koje ne posjeduju odgovarajuću opremu za kontrolu emisija.
- 4) Spalionice proizvode veliku količinu sitnih čestica iz peći, a evidentno je odsustvo praćenja specifičnih finih i ultrafinih čestica.
- 5) Veliki investicioni troškovi i visoki troškovi održavanja (promjena filtera je izuzetno skupa, kao i njihov tretman).
- 6) Pristalice nultog otpada smatraju spalionice i druge tehnologije termičkog tretmana otpada preprekama reciklaži i separaciji, jer se resursi iz otpada žrtvuju za proizvodnju energije.
- 7) Visokotoksični elektrofilterski pepeo zahtijeva bezbjedno odlaganje koje uključuje dodatni transport otpada i potrebu za deponijom opasnog otpada.
- 8) Pepeo iz peći za spaljivanje ima visok nivo teških metala što izaziva zabrinutost zbog ekotoksičnosti ako se ne koristi pravilno.

9.3.1.4. Uticaj spalionica na životnu sredinu

Broj postrojenja za spaljivanje u Evropi je u stalnom porastu posljednjih godina, ne samo zbog povećanja količine otpada, već i kao posljedica direktiva EU o otpadu i minimiziranja deponovanja otpada. Međutim, mnoge spalionice su zatvorene u poslednjih nekoliko godina zbog strožih propisa o emisijama u atmosferu. Kako se spaljivanjem otpada u atmosferu ispuštaju potencijalno otrovne hemikalije u porastu je zabrinutost javnosti o mogućim štetnim efektima na zdravlje ljudi uzrokovano ovom tehnologijom upravljanja otpadom. Uprkos smanjenju emisije nekih hemikalija, savremene spalionice i dalje emituju brojne toksične materije u atmosferu, kao i u ostale ostatke, poput letećeg pepela i pepela iz ložišta (donjeg pepela). Štaviše, smanjenje dioksina i drugih hemikalija u gasovima iz dimnjaka obično dovodi do povećanog ispuštanja istih tih hemikalija u preostalom pepelu i drugim ostacima.

Spalionice komunalnog otpada uglavnom se smatraju pogodnim rješenjem u pogledu uklanjanja otpada iz sljedećih razloga:

- 1) Ovim se postupkom uklanja većina organskih materija koje pri odlaganju na deponije mogu dovesti do nastanka stakleničkih gasova.
- 2) Proces spaljivanja moguće je iskoristiti u svrhu dobijanja energije (spalionice tipa *Waste – to– Energy*).
- 3) Spalionice koje koristi noviju tehnologiju temelje se na zaštiti od zagađivanja životne sredine.

Navedene činjenice pokazuju spalionice u pozitivnom smislu, ali je ipak potrebno naglasiti sljedeće: iako se količina otpada u spalionicama smanjuje po zapremini na oko 1/10 od početnog i po težini na 1/3 od početnog, spaljivanje otpada dovodi do nastanka donjeg i letećeg pepela, koji sadrži toksična organska i neorganska jedinjenja, a nastali pepeo se takođe mora odložiti na deponije. Pri tome treba imati u vidu da su i pepeo i dimni gasovi visoko toksični, jer sadrže većinu toksičnih metala i jedinjenja iz grupe dioksina i furana. Otpad koji se sada spaljuje značajno se razlikuje od onog spaljenog u prošlosti, s većim opterećenjem teškim metalima i plastikom koja proizvodi daleko veći potencijal za zdravstvene i ekološke probleme. U najzahtjevnije otpadne materije za termički tretman otpada ubrajamo: miješanu plastiku, proizvode za dezinfekciju i čišćenje, lijekove, pesticide, rastvarače i sličan otpad, jer sadrže hemikalije koje dovode do opasnih emisija. Polivinil hlorid (PVC) je uobičajena plastika koja sadrži više od 90% organskog hlora, koji pri zagrijavanju ili sagorijevanju stvara dioksine, najotrovnija ikad stvorena jedinjenja.

Odavno je poznato da spalionice mogu predstavljati rizik za životnu sredinu i zdravlje ljudi, a posebno onih koji su zaposleni u ovim postrojenjima (udisanjem, dermalnom apsorpcijom i dr.). Neadekvatno spaljivanje, ili spaljivanje materijala neprikladnog za spaljivanje, rezultira oslobađanjem toksičnih zagađujućih materija u vazduh u velikoj koncentraciji i one mogu preći velike udaljenosti prije nego što se vrate na zemlju. Poznato je da mnoga jedinjenja nisu samo toksična, već i bioakumulativna i otporna na razgradnju (dugotrajna). Oni uključuju jedinjenja za koja je prijavljeno da utiču na: imunološki sistem, vezuju se za hromozome, narušavaju hormonsku regulaciju, izazivaju rak, mijenjaju ponašanje i smanjuju inteligenciju (Thompson & Anthony, 2005).

Treba naglasiti da je **emisija značajno smanjena primjenom uređaja za kontrolu zagađenja vazduha kojima se tretiraju otrovni dimni gasovi sorbentima koristeći suve/polusuve i mokre sisteme za čišćenje vazduha** (elektrostatički taložnici, vrećasti filteri, suvi skruberi i dr.). Pored toga emisije su smanjene i radom na optimalnoj temperaturi sa dovoljnom količinom kiseonika, uz adekvatne turbulencije (miješanje) i vrijeme zadržavanja radi potpunog

sagorijevanja. Upotreba uređaja za kontrolu zagađenja vazduha prebacila je zabrinutost sa zagađenja vazduha na zagađenje voda i to putem procjedne vode sa deponija pepela koji nastaje kao nusproizvod spaljivanja otpada. Prema tome, tok otpada iz spalionica, pored gasovitog, takođe uključuje čvrsti i tečni otpad, kao npr. pepeo sa dna ložišta i ostatke opreme za kontrolu zagađenja (ako ih ima, jer spalionice malih razmjera uglavnom rade bez kontrole zagađivanja).

Spaljivanje može imati i određene koristi po životnu sredinu, jer ovim tretmanom se mogu obraditi neke vrste opasnog otpada, kao što je medicinski, pri čemu patogeni i toksini mogu biti uništeni visokim temperaturama.

S obzirom na nehomogen sastav otpada, ostaci nakon insineracije su različiti i zahtijevaju dodatni tretman:

- 1) Kiseli gasovi (SO_2 , NO_x , HCl);
- 2) Gasovi u tragovima koji su opasni i u malim koncentracijama (dioksini i furani i teški metali);
- 3) Leteći pepeo;
- 4) Ostaci na dnu ložišta (šljaka i pepeo);
- 5) Otpadna voda.

9.3.1.4.1. Zagađivanje vazduha

Jedna od najvećih briga pri sagorijevanju čvrstog komunalnog otpada u postrojenjima za termalni tretman je emisija u atmosferu. Zavisno od vrste otpada u dimnim gasovima mogu biti prisutne različite zagađujuće materije. Postrojenja za spaljivanje otpada (insineratori) u kojima se iskorišćava toplotna energija su po svojim karakteristikama slična toplanama ili termoelektranama, kao i po nekim gasovima koji nastaju kao nusproizvodi: CO_2 , CO , H_2O , NO_x i SO_2 . Iako elektrane na čvrsti otpad emituju najznačajniji gas staklene bašte, ugljen-dioksid, smatra se da dio dobijen biomasom predstavlja sastavni dio Zemljinog prirodnog ciklusa ugljenika, jer biljke i drveće od kojih nastaju papir, hrana i drugi biogeni otpad uklanjaju ugljen-dioksid iz vazduha tokom njihovog rasta, a koji se vraća u vazduh pri sagorijevanju ovog materijala.⁴⁴

Pored navedenih gasova, spalionice zagađuju vazduh sitnim česticama ($\text{PM}_{2.5}$ i manje), toksičnim metalima i različitim organskim hemikalijama. **Spaljivanjem hlorisanih materija u otpadu, poput polivinilhloridne (PVC) plastike, nastaju**

⁴⁴ Nasuprot tome, kada se sagorijevaju fosilna goriva (ili proizvodi dobijeni iz njih, poput plastike), oni oslobađaju ugljen-dioksid koji dugo nije bio dio Zemljine atmosfere (tj. u ljudskoj vremenskoj skali).

nove hlorisane hemikalije, poput visoko toksičnih dioksina i furana (jednim imenom dioksina), koji se oslobađaju u dimnim gasovima, pepelu i drugim ostacima. Proizvođači uvode aditive uključujući: olovo, arsen, hrom i ftalate (za poboljšanje čvrstoće i trajnosti PVC plastike). Ovi aditivi i njihovi nusproizvodi sagorijevanja predstavljaju izazov emisija za bilo koji termički tretman miješane plastike. Spalionice komunalnog otpada identifikovane su kao najveći emiteri dioksina u životnu sredinu. Osim što su najotrovnija poznata jedinjenja, dioksini imaju veliku stabilnost u životnoj sredini i bioakumulacijske sposobnosti u organizmima. Pored dioksina i furana i druge hemikalije prisutne u gasovima iz dimnjaka često su prisutne i u pepelu i drugim ostacima. Takve hemikalije uključuju: polihlorovane bifenile (PCB), polihlorovane naftalene, hlorisane benzene, poliaromatične ugljovodonike (PAH), brojna isparljiva organska jedinjenja i teške metale, uključujući olovo, kadmijum i živu. Poznato je da su mnoge od ovih hemikalija: dugotrajne (veoma otporne na razgradnju u životnoj sredini), bioakumulativne (nakupljaju se u tkivima živih organizama) i toksične. Ova tri svojstva svrstavaju ih u najproblematičnije hemikalije kojima prirodni sistemi mogu biti izloženi.

Sastav emisija iz spalionica zavisi od:

- 1) Sastava i količine otpada koji se spaljuje;
- 2) Vrste tehnologije za termički tretman (dizajn i efikasnosti postrojenja);
- 3) Prisustva mjera za kontrolu zagađenja (sistema za prečišćavanje).

Spalionice mogu u atmosferu da emituju značajne količine gasovitih i čvrstih zagađujućih materija (EPA, 1996.), a spaljivanje medicinskog otpada u malim i loše kontrolisanim spalionicama glavni je izvor dioksina i furana (UNEP, 1999.). Iz tih razloga su stare spalionice sa visokim rizicima i visokim zdravstvenim troškovima loš izbor tehnologije za rješavanje otpada, a u budućnosti bi se trebale koristiti samo modernije i sigurnije tehnologije.

Nakon emisije iz dimnjaka spalionica, disperzija zagađujućih materija u atmosferi zavisi od brojnih fizičkih i ekoloških varijabli, kao što su: visina dimnjaka, brzina i smjer vjetra, temperatura i atmosferska stabilnost. Neki gasovi mogu pretrpiti različite hemijske transformacije, a dio zagađujućih materija (polutanata) se na kraju mogu taložiti na raznim površinama, poput: zemljišta, vegetacije i vode. Koncentracije u atmosferi i u zemljištu mogu se direktno udahnuti, progutati ili apsorbovati putem kožnih kontakata ili mogu ući u poljoprivredni prehrambeni lanac.

Međutim, moderna postrojenja za otpad iz energije uveliko se razlikuju od spalionica smeća koje su se uobičajeno koristile do prije nekoliko decenija. Za razliku od modernih, ta postrojenja obično nisu uklanjale opasne materijale ili materijale koji se mogu reciklirati prije spaljivanja. Te spalionice su ugrožavale zdravlje radnika u tvornici i obližnjih stanovnika, a većina njih nije proizvodila električnu energiju.

Čvrste čestice

Čvrste, suspendovane ili lebdeće čestice (aerosoli)⁴⁵ su zapravo sastavni dio prašine i manje su od 10 mikrometara (mikrona), a predstavljaju smjesu: dima, čađi i kiseline, uz teške metale i različite organske polutante. Čvrste čestice u vazduhu su klasifikovane prema veličini. PM₁₀ imaju prečnik manji od 10 mikrona, dok su sitne čestice (PM_{2,5}) manje od 2,5 mikrona i ultrafine čestice (PM_{0,1}) su manje od 0,1 mikrona. Poređenja radi, debljina dlake ljudske kose je 50–70 mikrona. Čestice većeg prečnika (između 2,5 i 10 μm) se kod ljudi efikasno i lako zaustavljaju u gornjim dijelovima respiratornog sistema (na dlačicama i sluznicama gornjih disajnih puteva) i zbog toga nemaju veću opasnost po ljudsko zdravlje. Čestice deponovane u gornjim disajnim putevima izbacuju se: kihanjem, kašljanjem, i sl. One relativno brzo napuštaju atmosferu zahvaljujući gravitaciji i padavinama. Sitne čestice (prečnika manjeg od 2,5 μm) mogu da prodru dublje u pluća, sve do alveola, i zbog toga se smatraju glavnim uzročnicima većine zdravstvenih problema. Koliko će gasovite zagađujuće materije duboko prodrijeti u disajne puteve zavisi i od njihove rastvorljivosti, jer lakše prolaze kroz sluznicu ukoliko su rastvorljive te se brže resorbuju u disajnom sistemu. Sitne čestice ostaju dugo u atmosferi i transportuju se na velike udaljenosti jer su prilično stabilne, dok ih i njihova veličina čini manje podložnim gravitacionom taloženju. Ultrafino suspendovane čestice (počevši od 0,1 μm do 0,01 μm) su relativno kratke postojanosti u tom obliku (od nekoliko minuta do par sati) usljed brzine fizičkih i hemijskih procesa kojima su podložne i od značaja su samo u neposrednoj blizini izvora tih čestica.

Pored veličine i koncentracije, toksičnost čestica zavisi od njihovog hemijskog sastava. Najznačajnije su čestice nerastvorljive u vodi, jer one imaju sposobnost da se akumuliraju i na kraju mogu dovesti do toksičnih efekata u organima, te prouzrokovati plućne i srčane bolesti. Lebdeće čestice se, uz ozon u prizemnom sloju, smatraju najštetnijim zagađujućim materijama za zdravlje čovjeka. Izlaganje navedenim zagađujućim materijama tokom najveće koncentracije, kao i njihova

⁴⁵ Aerosoli su dvofazni sistem u kojem su čvrste i/ili kapljice čestice dispergovane u vazduhu.

dugotrajna izloženost, mogu dovesti do narušavanja respiratornog sistema ili čak do preuranjene smrti (Van Zelm, et al., 2008).

Spalionice proizvode velike količine finih i ultrafina čestica. Spalionice mogu da ispuštaju čestice brzinom od 10 mg po kubnom metru ispuštenog gasa. Često korišćeni filteri za spalionice djeluju poput sita, efikasno dopuštajući prolaz najmanjih čestica i blokirajući veće čestice koje su manje opasne. Sadašnji uređaji za kontrolu zagađenja vazduha na spalionicama sprečavaju samo 5% do 30% respirabilnih čestica (veličine $< 2,5 \mu\text{m}$) da uđu u atmosferu, a mogu učiniti vrlo malo da spriječe izlazak veoma finih ($< 0,1 \mu\text{m}$) čestica (Allsopp, et al. 2001). Ove čestice koje se mogu udisati, a posebno ultrafine čestice, mogu doprijeti do najdubljih dijelova pluća, a smatra se da su odgovorne za izazivanje štetnih uticaja na zdravlje ljudi. Zapravo je većina čestica koje emituju spalionice upravo najopasnije ultrafine čestice. Emisija nanočestica se još uvijek ne mjeri u Evropi, iako je opasnost od njih itekako poznata. Studije su pokazale da se otrovni metali nakupljaju na najmanjim česticama i da je 95% PAH-ova povezano s finim česticama (PM_{10} i niže). PAH-ovi su toksični i kancerogeni, a procijenjeno je da povećavaju rizik od raka pluća za 7,8 puta (Zmirou, et al., 2000).

Organski polutanti

Širok spektar organskih jedinjenja oslobađa se iz spalionica. Oni uključuju mnoštvo hemikalija proizvedenih sagorijevanjem plastike i sličnih supstanci. Takođe, uključuju: PAH, bromovane usporivače gorenja, PCB, dioksine i furane, ftalate, ketone, aldehide, organske kiseline i sl. Otpad koji se sada spaljuje značajno se razlikuje od onog spaljenog u prošlosti, s većim opterećenjem teškim metalima i plastikom koji proizvodi daleko veći potencijal za zdravstvene i ekološke probleme.

Dioksini i dioksinima slična jedinjenja objedinjuju 29 različitih kongenera: dioksina, furana i polihlorovanih bifenila (PCB). Polihlorovani dibenzo-p-dioksini (PCDDS) i polihlorovani dibenzo-furani (PCDFS) su široko rasprostranjeni ekološki polutanti koji zajedno čine grupu organskih jedinjenja koja se obično naziva dioksini (PCDD/DFS). Dioksini (PCDD/PCDF) su grupa hemijski sličnih jedinjenja koja predstavljaju toksične supstance, polutante životne sredine i koja **spadaju u grupu postojanih (dugotrajnih) organskih zagađujućih materija** (engl. *Persistent Organic Pollutants* – POPs). Neka od tih jedinjenja vrlo su: toksična, teratogena, mutagena i kancerogena. Kao takvi, oni su **regulisani Stokholmskom konvencijom** koja ima za cilj uklanjanje ili ograničenje njihove proizvodnje i upotrebe. Najtoksičniji kongener je 2,3,7,8-tetrahlorodibenzo-p-dioksin (TCDD). Dioksini nisu rastvorljivi u vodi, nego u mastima, stoga se

akumuliraju u višim životinjskim vrstama, uključujući i čovjeka. Imaju tendenciju da se snažno adsorbuju na površinama čestice. Vrlo su: stabilni, otporni su na hemijsku i mikrobiološku degradaciju, zbog čega su vrlo postojani u životnoj sredini (teško se raspadaju), pa se lako prenose na velike udaljenosti uobičajenim mehanizmima transporta. Za razliku od većine drugih perzistentnih organskih polutanata, dioksini i furani se ne proizvode namjerno. Oni su nusprodukti drugih procesa, poput nekontrolisanog sagorijevanja. Najvećim dijelom nastaju kao neželjeni nusprodukti različitih industrijskih procesa, sagorijevanja otpada, te u proizvodnji određenih hemikalija (npr: organohlornih pesticida i herbicida).⁴⁶ **Najveće izvore emisije dioksina predstavljaju komunalni, medicinski i industrijski insineratori** (McKay, 2002). Prema procjeni japanske Agencije za životnu sredinu o količini oslobođenih dioksina, više od 90% dioksina potiče iz postrojenja za spaljivanje čvrstog komunalnog otpada (*Environmental Agency, 1997.*). Ove grupe toksičnih jedinjenja nastaju u svim procesima sagorijevanja organskog materijala, a posebno kada se sagorijevanje odvija na nižim temperaturama. Temperature od 300 °C do 400 °C favorizuju nastanak dioksina i furana, dok ih temperature preko 800 °C uništavaju. Najveća količina dioksina nastaje kada dođe do hlađenja dimnih gasova nakon napuštanja zone sagorijevanja. Moderni insineratori su dizajnirani tako da zadržavanje dimnih gasova na tim temperaturama bude minimalno, kao i da se u pri samom procesu sagorijevanja obezbijedi što veći nivo njihove destrukcije.

Količina dioksina nastalih tokom procesa spaljivanja otpada pored pomenute temperature, zavisi i od koncentracije O₂ i CO₂, i naročito od sadržaja hlora u otpadu. Dioksini i mnoga druga organska jedinjenja, koja su proizvodi nepotpunog sagorijevanja, biće minimizirani pod idealnim uslovima sagorijevanja, uključujući odgovarajuću: temperaturu, vrijeme zadržavanja i uslove turbulencije. Emisije su mnogo veće pri: pokretanju spalionice, zatvaranju, punjenju otpada i goriva ili u slučaju poremećaja u procesu spaljivanja.

Poboljšanje u tehnologijama za kontrolu zagađenja vazduha koje su instalisane u novim ili renoviranim spalionicama dovelo je do značajnog smanjenja količine dioksina ispuštenih u atmosferu. Murrai (1999) navodi da je najsofisticiranija njemačka tehnologija razvijena početkom devedesetih smanjila emisije u atmosferu za deset puta. Iako je ovo značajno poboljšanje, problem toksičnih otpadnih proizvoda iz spaljivanja nije nestao. Nedavne procjene ukazuju na to da su spalionice komunalnog otpada i dalje glavni izvor dioksina u životnoj sredini. U

⁴⁶ Ponekad su prisutni i kao nečistoće u drugim hemikalijama, na primjer narandžastom agensu (*Agent Orange*).

stvari, problem se pomaknuo tako da se više dioksina i drugih otrovnih materija koje se stvaraju sada pojavljuje u pepelu, stvarajući tako nove probleme odlaganja i zagađenja. U Velikoj Britaniji je procijenjeno da su spalionice komunalnog otpada odgovorne za 30–56% emisija dioksina, dok je u Danskoj nedavna studija identifikovala spaljivanje čvrstih otpadaka kao dominantni izvor dioksina u atmosferi, a značajan doprinos imaju i deponije zbog ostataka pepela. Dok su mjerenja obavljena na nekim novim ili modernizovanim spalionicama pokazala da su u skladu sa granicama postavljenim novom direktivom EZ, druga nisu ispunjavala regulatorno ograničenje EZ, kao npr. u: Španiji, Poljskoj, Švedskoj i Belgiji (Allsopp, et al. 2001).

Teški metali

Tipični metali emitovani pri sagorijevanju komunalnog čvrstog otpada su: kadmijum, talijum, hrom, arsen, živa i olovo. Poluisparljivi su: olovo i kadmijum, dok su: živa i talijum veoma nestabilni i lako isparavaju. Mnogi emitovani teški metali, poput kadmijuma, otrovni su u vrlo niskim koncentracijama. Selektivno vezivanje teških metala na najmanje čestice koje se emituju iz spalionica povećava toksičnost ovih čestica. Udisanje teških metala kao što su: nikl, berilijum, hrom, kadmijum i arsen povećava rizik od raka pluća (Peters, 1986). Udisanje vazduha koji sadrži toksične metale dovodi do bioakumulacije u ljudskom tijelu, gdje mogu ostati godinama, npr. kadmijum ima poluživot od 30 godina. Živa je u obliku gasa na temperaturama sagorijevanja i ne može se ukloniti filterima. Teoretski, živa se može ukloniti pomoću aktivnog uglja, ali u praksi je teško kontrolisati jer završava u letećem pepelu i odlaže se na deponije.

Sa izuzetkom žive, nivoi teških metala koji se oslobađaju iz spalionica značajno su se smanjili u posljednjoj deceniji zbog poboljšanja tehnologija za smanjenje zagađenja vazduha. Međutim, kao što je slučaj sa emisijom dioksina u atmosferu, tako i smanjenje nivoa teških metala koji se emituju gasovima, izaziva odgovarajuće povećanje njihovog nivoa u pepelu, što će na kraju za rezultat imati kontaminaciju životne sredine kada se oni odlože.

Kiseli oksidi

Zbog hemijskih i termičkih operacija potrebnih za obradu otpada u postrojenjima za spaljivanje nastaju kiseli gasovi, kao što su: azotni i sumporni oksidi, te hlorovodonik (HCl), zbog čega može doći do tehničkih problema u postrojenju⁴⁷, a

⁴⁷ Čak i moderne tehnologije za kontrolu zagađenja ne sprečavaju uvijek ozbiljne emisije i oštećenja opreme, što je pokazalo urušavanje krova i čeličnog dimnjaka postrojenja za gasifikaciju otpada u

njihove emisije u vazduh uzrokuju zagađivanje vazduha i pojavu kiselih kiša. Svi kiseli gasovi stvoreni za vrijeme spaljivanja komunalnog otpada moraju se neutralizovati prije ispuštanja u atmosferu, a postoje četiri postupka: suvi, polusuvi, polumokri-mokri i mokri. U svim postupcima nastaju čvrsti ostaci koji predstavljaju opasni otpad, osim u mokrom gdje nastaje tečni otpad, a sve to treba opet zbrinuti. Propuštanjem dima kroz prečišćivače, neutralizuju se sve kiseline koje mogu biti u dimu, što sprečava da kiselina dođe u atmosferu uzrokujući kisele kiše i nanese štete životnoj sredini.

9.3.1.4.2. Otpadne vode

U tečni otpad od spaljivanja ubrajamo: podnu drenažu, efluente iz skrubera i vodu za gašenje. Šljaka koja nastaje u procesu spaljivanja predstavlja nesagorivi dio otpada visoke temperature, te se hladi vodom. Ovako zagađene vode, praćene višom temperaturom, kada se ispuste mogu negativno uticati na kvalitet vode i život organizama u vodi. Pored toga, u slučaju da je sistem za prečišćavanje gasova mokrim skruberom, kao nusproizvod nastaju otpadne vode. Glavni nedostatak mokrog čišćenja gasova je stvaranje kiselih tokova otpadnih voda, koje takođe nose zagađujuće materije, poput teških metala i organohlornih jedinjenja, što zahtijeva fizičko-hemijski tretman prije sigurnog ispuštanja u javne kanalizacione sisteme ili površinske recipijente. Voda iz skrubera sadrži znatno više kontaminanata u odnosu na vodu korišćenu za hlađenje šljake. Sve otpadne vode od spaljivanja moraju se tretirati prije ispuštanja u površinske vode i vodonosnike kako ne bi uzrokovali njihovo zagađivanje.

9.3.1.4.3. Zagađivanje zemljišta

Postoje tri različite vrste otpada koji nastaje pri spaljivanju otpada: šljaka, filterski pepeo (donji i leteći) i filterski kolač ili pogača (nastali iz tretmana gasa). Leteći pepeo (iz sistema za čišćenje izduvnih gasova) i donji pepeo, koji ostaje na dnu peći nakon spaljivanja, sadrže brojne opasne hemikalije, poput dioksina i teških metala. Zbog njihove kontaminacije, odlaganje pepela iz spalionica predstavlja značajne ekološke probleme. U Austriji npr. na svaku tonu spaljenog otpada nastane od 230 kg do 300 kg šljake, od 15 kg do 55 kg filterskog pepela, te 1,1 kg do 3 kg filterskog kolača (Schuster, 1999). **Ostaci spaljivanja (pepeo i nesagoreli ostaci, tzv. šljaka) i ostaci koji nastaju prečišćavanjem vazduha predstavljaju**

Ham-Uentropu, Njemačka, uništavajući elektranu. Kolaps je pripisan koroziji iz kiselih dimnih gasova (Tangri and Wilson, 2017).

otpad koji se može svrstati u opasan otpad, te zahtijevaju dalji tretman ili odlaganje na deponije za opasan otpad. Odlaganje: šljake, pepela, tečnosti ili drugih ostataka u neobložene jame ili druge nepravilno upravljane objekte može kontaminirati podzemne vode koje se mogu koristiti za vodu za piće. Pepeo iz insineratora sadrži minerale i metale. Metali se uglavnom odvajaju i prodaju na tržište otpada, a minerali se ili odlažu na deponije ili koriste u građevinskom sektoru. Budući da ne postoji jedinstvena regulativa za korišćenje pepela iz insineratora na nivou EU, zemlje su razvile vlastita pravila sa različitim zahtjevima za korišćenje. U Nizozemskoj je dozvoljena upotreba letećeg pepela u građevinskim materijalima, gdje se oko 50% letećeg pepela koristi kao punilo u asfaltu, dok Njemačka dozvoljava upotrebu šljake u izgradnji donjeg sloja puteva. Važno je shvatiti da će korišćenje pepela kao građevinskog materijala omogućiti da vremenske prilike i erozija na kraju rezultiraju ponovnim ulaskom postojanih polutanata iz pepela, uključujući teške metale, u životnu sredinu. Posebnu brigu za dalji tretman zahtijevaju i ostaci opreme za kontrolu zagađenja vazduha. Filterski kolači iz austrijskih spalionica se tretiraju kao opasan otpad, izvoze u Njemačku i tamo skladište u iskorišćenom rudniku soli u Heilbronn (Schuster, 1999). Inače, u Austriji su aktivne 3 spalionice i to dvije u Beču i jedna u Velsu. U Velsu se većina šljake i sav filter-pepeo odlaže na deponiju za preostali otpad. Manji dio šljake se pomiješa sa cementom i koristi kao pokrivač deponije. U Beču se šljaka miješa sa cementom i vodom, a zatim se koristi u izgradnji deponija za granične zidove kao beton. Ovo može biti kritično zbog visokog sadržaja teških metala i dioksina u filter-pepelu. Postoji zabrinutost naučnika da bi teški metali i organski zagađivači (dioksini, PAH i dr.) mogli iscuriti iz betona. Postupak cementacije namijenjen je samo za imobilizaciju teških metala, a ne za organske materije.

S obzirom na klasifikaciju pepela iz spalionica kao potencijalno opasnog materijala, javno prihvatanje prerade pepela i proizvoda koji sadrže pepeo i dalje predstavlja veliku zabrinutost, ali i znatne troškove za postrojenja koji pretvaraju otpad u energiju.

9.3.1.5. Uticaj na zdravlje

Tri najvažnija sastojka emisije, u smislu zdravstvenih efekata, su: čestice, teški metali i organohlorni polutanti nastali kao proizvodi sagorijevanja vještačkih hemikalija (ova posljednja dva polutanta se mogu adsorbirati na manje čestice čineći ih posebno opasnim). Posljednjih godina polihlorovani dibenzofurani (PCDF), koji se obično nazivaju: dioksini i furani, izazivaju ozbiljnu zabrinutost zbog svoje toksičnosti, kancerogenosti i moguće mutagenosti. Zagađujuće materije

(polutanti) iz vazduha se mogu deponovati u zemljištu, vegetaciji i vodi, te dovesti do takozvanih „indirektnih“ izlaganja gutanjem lokalno proizvedene hrane ili vode, kao i dermalnom apsorpcijom usljed kontakta sa: kontaminiranom prašinom, zemljom, vodom, itd. Na regionalnom nivou (na određenoj udaljenosti od spalionica), pojedinci su izloženi različitim kombinacijama puteva za dugotrajne i/ili bioakumulativne polutante, kao što su: policiklični aromatični ugljovodonici (PAH), dioksini, furani, polihlorovani bifenili, živa, hrom, kadmijum itd. Ovi polutanti se podvrgavaju hemijskim i fizičkim transformacijama, dospjevajući iz vazduha i zemljišta u podzemne i površinske vode, te vegetaciju. Na taj način, ostaju dugo u životnoj sredini izazivajući različite posljedice po živa bića. Istraživanja su pokazala da i starije i modernije spalionice mogu doprinijeti zagađenju lokalnog tla i vegetacije dioksinima i teškim metalima. Slično, u nekoliko evropskih zemalja utvrđeno je da kravlje mlijeko sa farmi koje se nalaze u blizini spalionica sadrži povišene nivoe dioksina, u nekim slučajevima iznad regulatornih granica (Allsopp, et al. 2001).

Ulaskom u organizam štetan efekat dioksina se ogleda na nekoliko načina:

- 1) Potencijalni su uzročnik kancerogenih oboljenja.
- 2) Uzrokuje hormonalne poremećaje, što se najočiglednije vidi kod izložene djece koja već od pete godine života pokazuju znakove puberteta.
- 3) Dovode do defektnosti kod novorođenčadi.
- 4) Uzrokuje poremećaje u nervnom sistemu (smanjena koncentracija, smanjenje IQ, hiperaktivnost kod djece);
- 5) Oštećuje imunološki sistem.
- 6) Dovode do povećanja: infektivnih oboljenja, astme i alergija.

Studija iz Japana je pokazala da su prosječne koncentracije dioksina u krvi radnika 3,7 puta veće od nivoa izmjerenih kod stanovnika naseljenih oko spalionice u Japanu. Radnici koji su čistili unutrašnjost spalionica imali su najveći nivo dioksina (Kitamura, 2000).

S druge strane, neke novije studije iznose drugačije tvrdnje. Evropska komisija je 2010. godine objavila da „Španski istraživači u oblasti medicine i javnog zdravlja nisu pronašli jasne dokaze o povećanju nivoa teških metala kod odraslih koji žive u blizini nedavno izgrađene gradske spalionice čvrstog otpada tokom dve godine rada. Koncentracije olova, hroma i žive u uzorcima krvi i urina uzetim oko postrojenja nisu bile značajno veće nego kod populacije koje su živjele dalje”

(European Commission, 2010). Prema izvještaju UK DEFRA (2004) većina objavljenih studija koncentriše se na efekte izloženosti emisijama iz starije generacije spalionica koje su postupno ugašene u Velikoj Britaniji nakon uvođenje strožih kontrola emisija, a koje se sprovode kroz režim integrisane kontrole zagađenja.

Međutim, pri procjeni uticaja dioksina iz spalionica na zdravlje stanovništva treba imati u vidu dug latentni periodi od izloženosti opasnostima po zdravlje do pojave hroničnih bolesti kao posljedice izloženosti. Dugoročna izloženost vezana je uz slabljenje imunološkog sistema, oštećenje nervnog i endokrinog sistema te reproduktivne funkcije, a kratkoročna izloženost velikim koncentracijama dioksina može izazvati lezije na koži, kao što su „hlorakne“, te izazvati promjene u funkciji jetre (Batterman, 2004).

Neka istraživanja pokazuju da su emisije iz spalionica povezane sa povećanom učestalošću raka pluća i drugih kancerogenih oboljenja, a vrhunac se javlja najmanje 14 godina nakon pokretanja spalionice. Pored toga, oko spalionica su se pokazale povećane urođene mane i povećana učestalost karcinoma u dječjoj dobi, a postoje naznake da se neki efekti mogu prenijeti na sljedeću generaciju (Thompson & Anthony, 2005).

9.3.1.6. Novi ekološki standardi EU za spaljivanje otpada

Evropske zemlje se veoma razlikuju u primjeni spaljivanja otpada. U sjevernoevropskim zemljama (Švedska, Finska) preko 50% komunalnog otpada se tretira spaljivanjem. Ostale evropske zemlje, posebno: Norveška, Danska, Luksemburg, Belgija, Estonija i druge se u velikoj mjeri oslanjaju na spaljivanje kojim tretiraju preko 40% komunalnog otpada (CEWEP, 2021.), a energija proizvedena u ovim postrojenjima se koristi za snabdijevanje parom daljinskog grijanja. Mnoge evropske zemlje postepeno ukidaju ranije generacije spalionica koje ne proizvode energiju, jer one nisu u skladu sa ograničenjima emisija u nacionalnom i zakonu Evropske zajednice. U nekim slučajevima, starije spalionice se nadograđuju i dodatno opremaju opremom za kontrolu zagađenja. Do nedavno, većina spalionica se oslanjala na tehnologiju masovnog sagorijevanja, ali postoji sve veći interes i pozitivno iskustvo sa tehnologijama fluidizovanog sloja.

U Službenom listu EU, 3. decembra 2019. objavljeni su novi standardi za emisije, monitoring i efikasnost postrojenja za spaljivanje otpada koji bi trebao pomoći nacionalnim vlastima da smanje uticaj na životnu sredinu iz ovog sektora u EU. Ovaj sektor predstavlja više od 500 instalacija i tretira oko 30% komunalnog

otpada EU, kao i drugih vrsta otpada, poput opasnog otpada ili mulja iz kanalizacije. Nove specifikacije proizilaze iz pregleda referentnog dokumenta o najboljim raspoloživim tehnikama (BAT) za spaljivanje otpada. Zaključci BAT-a pružaju nacionalnim vlastima čvrstu tehničku osnovu za postavljanje uslova za dozvole za industrijska postrojenja. Postojeće instalacije za spaljivanje otpada (tj. one koje su bile dozvoljene prije objavljivanja zaključaka o BAT) imaju rok od četiri godine da budu u skladu s novim standardima. Nova postrojenja (tj. ona koja su dozvoljena nakon objavljivanja zaključaka o BAT) moraju odmah biti u skladu s novim zahtjevima.

Iako je glavni cilj ovih zaključaka o najboljim raspoloživim tehnikama smanjenje emisija nastalih spaljivanjem otpada, uključujući buku i mirise, druga pitanja životne sredine koja doprinose cirkularnoj ekonomiji – poput energetske efikasnosti, efikasnosti resursa (potrošnja vode i reagensa, povrat korisnih materijala), takođe su obuhvaćeni. U poređenju sa postojećim standardima, novi zaključci o BAT-u pružaju pojačan nivo zaštite, sa posebnim naglaskom na toksične i postojeane organske zagađujuće materije kao što su živa i polihlorovani dioksini i furani.

Spalionice opremljene savremenim uređajima za kontrolu zagađenja (elektrostatički taložnici, filteri od tkanine, suvi i mokri skruberi) koji rade na optimalnoj temperaturi sa dovoljnom količinom kiseonika, uz turbulencije (miješanje) i vrijeme zadržavanja za potpuno sagorijevanje, smanjuju emisiju pepela, kao i gasovitih i organskih emisija.

Spaljivanje kao metoda za tretman otpada je skupa opcija i pogodna samo u industrijalizovanim oblastima sa velikom gustinom stanovništva koji imaju tehničke i finansijske mogućnosti za podizanje i održavanje rada postrojenja za spaljivanje, a nemaju pogodne oblasti za odlaganje otpada, kao ni tržište za kompost.

9.4. NAPREDNE METODE TERMIČKOG TRETMANA

9.4.1. Piroliza

Piroliza je oblik spaljivanja koji termički razlaže organske materijale, pod dejstvom toplote koja se dovodi spolja, bez prisustva kiseonika ili u vrlo malim količinama (ne računajući kiseonik prisutan u otpadu). Toplota za proces može se obezbijediti djelimičnim sagorijevanjem piroliznog gasa u peći i sagorijevanjem elementarnog ugljenika. Radne temperature se kreću u granicama 400–900 °C, mada se mogu povećati do 1400 °C. Tokom procesa pirolize nastaju pirolitički gas, ulje, te čvrsta faza bogata ugljenikom, kao glavni proizvodi.

Inače, proizvodi pirolize se klasifikuju u tri grupe (Vukić, Papuga, 2015):

- 1) Čvrsti produkti (pirolitički koks ili ugljenik);
- 2) Tečni produkti (ulje, katran, voda koja sadrži organske kiseline nastale razlaganjem);
- 3) Gasoviti produkti (CO₂, H₂O, CO, C₂H₂, C₂H₄, C₂H₆, C₆H₆, itd.).

Prema rasponu temperatura pri kojima se odvija piroliza, mogu se razlikovati tri varijante:

- 1) Niskotemperaturna do 500 °C;
- 2) Srednjetemperaturna od 500 °C do 800 °C;
- 3) Visokotemperaturna viša od 800 °C.

Relativni udio ovih produkata zavisi od uslova pod kojim se proces odvija, posebno: temperature, tipa reaktora, vremena izlaganja i vrste sirovine. Niske temperature daju više katrana i drvenog uglja, a visoke temperature favorizuju nastajanje gasa. Kod povećanja temperature do 1.400 °C omogućuje se prevođenje čvrstog ostatka u rastopljeno stanje i potpuna stabilizacija šljake (Sredojević, 2003). Piroliza se uglavnom primjenjuje pri preradi industrijskog otpada sa većim sadržajem ugljenika i vodonika, pri čemu se kao produkti dobijaju: ugljovodonici, ugljenik (čad) i metali. Piroliza može imati značajnu ulogu u upravljanju komunalnim otpadom, posebno minimizaciji opasnog i hemijskog otpada generisanog u industriji, kao i u proizvodnji energije.

Pirolitički gas se može koristiti kao gorivo za peći ili dizel-generatore. Dimni se gasovi mogu uvesti u generator para te se dobivena para iskorišćavati za grijanje ili pokretanje turbine spojene s električnim generatorom. Na sličan način, pirolitičko

ulje koje nije kondenzovano se može zagrijati da bi se dobila para pa upotrijebiti za proizvodnju električne energije. Piroizvedeno ulje može se koristiti u više primjena, poput: peći, kotlova, turbina i dizel-motora. Takođe, pirolitičko ulje može da se koristi i kao sirovina u petrohemijskoj industriji.

Zavisno od sastava otpada koji se obrađuje procesima pirolize, moguć je nastanak različitih količina i kvaliteta pirolitičkog koksa, koji se takođe može koristiti kao gorivo. Tako je na primjer pri pirolizi otpadne plastike nastanak koksa zanemariv, dok se kod pirolize otpadnih pneumatika (guma) količine nastalog koksa kreću do 50%. Piroliza privlači sve veću pažnju kao način rješavanja problema odlaganja otpadnih polimernih materijala (plastike), jer bi se taj proces mogao koristiti za proizvodnju velike količine tečnog goriva i smanjiti zavisnost od fosilnog goriva (Sharuddin, 2018). Parametri procesa pirolize mogu se mijenjati kako bi se optimizirao prinos ulja koje može poslužiti kao gorivo za: dizel-motore, kotlove i turbine (Bridgwater, 2012). Mogućnost korišćenja produkata pirolize za proizvodnju goriva ili različitih hemijskih supstanci su određene eventualnim prisustvom polutanata.

Iz visoko kaloričnog otpada pirolizom se generišu visoko kalorični gas i čvrsta frakcija slična koksu, a oba proizvoda ispunjavaju zahtjeve za spaljivanje u termoelektranama. U poređenju sa konvencionalnim postrojenjima za spaljivanje otpada, veća toplotna efikasnost termoelektrana omogućava bolju iskorišćenost kalorijske vrijednosti otpada pod uslovom da veći rizik od korozije ne utiče na glavni proces (Gleis, 2012).

Postrojenja za pirolizu za tretman otpada obično uključuju sljedeće osnovne faze procesa (Bosmans, Helsens, 2010):

1. **Priprema i usitnjavanje:** mljevenje otpada poboljšava i ujednačava kvalitet otpada za naredno procesiranje, poboljšavajući osobine prenosa toplote.
2. **Sušenje** (zavisi od konkretnog procesa): sušenjem, tj. uklanjanjem vlage iz materijala poboljšava se donja toplotna moć dobijenog gasa i povećava se efikasnost reakcija u reaktoru.
3. **Piroliza otpada:** pored gasovitih produkata pirolize, nastaje i ugljenisani čvrsti ostatak (pirolitički koks) koji sadrži i mineralne i metalne komponente. Generalno, temperature u fazi pirolize se kreću u intervalu 450°C do 700 °C, iako se određene reakcije počinju odvijati već na 250 °C;
4. **Sekundarni tretman gasovitih produkata i koksa:** kondenzacija gasova u cilju ekstrakcije energetski iskoristivog pirolitičkog ulja i/ili insineracije

gasa i koksa u cilju eliminacije organskih jedinjenja i energetskog iskorišćavanja.



Slika 9.9. Industrijsko postrojenje za pirolizu (Splainex, 2020)

Pored termičke obrade komunalnog otpada i mulja iz kanalizacije, procesi pirolize se takođe koriste za: dekontaminaciju tla, obradu sintetičkog otpada i korišćenih guma, obradu kablovskih ostataka, kao i gumenih i plastičnih materijala. Piroliza uništava poluispariva organska jedinjenja, goriva i pesticide u zemljištu. Postupak je primjenjiv za: tretiranje organskih materija iz rafinerijskog otpada, otpadaka katrana uglja, zemljišta kontaminiranog kreozotom, ugljovodonika i isparljivih organskih jedinjenja.

Prednosti postupka pirolize su sljedeće:

- 1) Manja proizvodnja dimnih gasova, a time i manji troškovi za njihovo prečišćavanje.
- 2) Operativni troškovi su niži od spalionice zbog niže procesne temperature.
- 3) Otpad može biti miješani i nekomunalni.
- 4) Upotreblijivi i tržišno orijentisani nusproizvodi (ulje, gas, katran/koks) kao sirovina za druge procese.

Nedostaci procesa pirolize:

- 1) Visoki sadržaj ugljen-monoksida (CO).
- 2) Povećani sadržaj teških metala i toksičnih organskih supstanci u čvrstom pirolitičkom ostatku, zbog nižih temperatura reakcija sa lošijim stepenom vezivanja.
- 3) Potrebno usitnjavanje i homogenizacija otpada.
- 4) Slabije energetsko iskorišćavanje otpada u odnosu na spalionice.
- 5) Visoki investicioni i pogonski troškovi u poređenju sa spalionicom i drugim tehnologijama.

Zbog većeg broja nedostataka procesa pirolize ovaj tip termičkog tretmana još uvijek ima malu komercijalnu primjenu. Investicioni troškovi su visoki pa cijene produkata teško mogu obezbijediti samoodrživost postrojenja. U Evropi se nalazi mali broj ovih postrojenja. Dostupno je nekoliko vrsta jedinica za pirolizu koje su slične spalionicama, s tim što rade na nižim temperaturama i sa manjim dovodom vazduha. U posljednjih nekoliko godina uznapredovali su procesi pirolize otpadnih automobilskih guma, a jedno od takvih postrojenja se gradi u Danskoj sa planiranom preradom 30.000 tona otpadnih guma godišnje i patentiranom tehnologijom pirolize guma koja ima sposobnost izdvajanja: čađi, metala i ulja iz guma. Najviše postrojenja ovakvog tipa ima u Japanu (najveća je kapaciteta 150.000 t/god).

Za različite vrste organskog otpada, od plastike i polovnih guma do poljoprivrednih ostataka i medicinskog otpada se sve više koristi tehnologija termalne plazma pirolize. Rezultati istraživanja su pokazali da termička plazma piroliza može biti koristan način upravljanja otpadom za korišćenje energije i materijala. Plazma piroliza ima niz jedinstvenih prednosti u odnosu na konvencionalnu pirolizu. Obezbiđuje visoku temperaturu i visoku energiju za reakciju. Reakcioni uzorak se brzo zagrijeva do visoke temperature i javljaju se neke reakcije koje se ne pojavljuju u konvencionalnoj pirolizi. Plazma piroliza pokazuje mnogo niže nivoe emisija u životnu sredinu u odnosu na druge termalne tehnologije. Visoke temperature u procesu gasifikacije uništavaju sva jedinjenja dioksina ili furana, a redukujuće okruženje sprečava stvaranje slobodnog hlora iz HCl, čime se ograničava hlorisanje bilo koje vrste u sintetičkom gasu. Zbog toga je tehnologija termalne plazma pirolize odgovarajuća metoda za pirolizu polimera (Punčochar, 2012.) Međutim, predstoji veliki obim proučavanja u modeliranju i simulaciji pirolize plazme da bi se dizajnirao odgovarajući reaktor za industrijsku primjenu.

Vitrifikacija (ostakljivanje) plazma pirolizom je relativno nova tehnologija za odlaganje opasnog otpada, radioaktivnog otpada itd. Toksični materijali se inkapsuliraju u staklastu masu, koja je relativno mnogo bezbjednija za rukovanje od pepela iz procesa spaljivanja (Reddy, 2011). Nastala staklasta šljaka je i u hemijskom i u mehaničkom smislu stabilan sistem, koji sprečava oslobađanje teških metala.

9.4.2. Gasifikacija

Gasifikacija je termohemijski proces pri kojem se otpad bogat ugljenikom (poput biomase, mulja, organskog komunalnog otpada i sl.) pretvara u korisna gasovita goriva – sintetički gas (engl. *sin-gas*). Proizvedeni gas se zatim može koristiti izvan lokacije ili na licu mjesta u drugoj fazi termičkog sagorijevanja za proizvodnju toplotne i/ili električne energije. Tokom procesa gasifikacije nivo kiseonika se održava na niskom nivou kako bi se spriječilo trenutno sagorijevanje, a umjesto toga, frakcija čvrstog otpada na bazi ugljenika raspada se u sintetički gas i sporedne produkte u vidu čvrstog ostatka (poznatog kao šljaka i pepeo) i tečnih katranskih produkata, uglavnom aromatskih ugljovodonika (Tangri & Wilson, 2017). Gasifikacija proizvodi višak energije i zbog toga zahtijeva dodatnu energiju samo tokom pokretanja procesa. Proces se obično odvija pri temperaturi > 750 °C. Sintetički gas se sastoji uglavnom od vodonika (H_2) i ugljen-monoksida (CO), a u manjoj mjeri i metana (CH_4), vode (H_2O), azota (N_2), ugljen-dioksida (CO_2) i različitih ugljovodonika. Sintetički gas je sam po sebi gorivo i može se sagorijevati direktno u motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem ili koristiti za proizvodnju metanola i vodonika. Međutim, osim ovih glavnih komponenti, gorivo sadrži kontaminante u tragovima poput: čestica, katrana, kiselih gasova i teških metala. Oni mogu izazvati operative probleme u bilo kojem procesu konverzije energije, zbog čega sirovi gas treba očistiti prije dalje upotrebe. Nakon toga, gas dobijen gasifikacijom se može koristiti za proizvodnju električne energije, proizvodnju kombinovane toplote i energije ili dalje prerađivati za proizvodnju: hemikalija, đubriva, tečnih goriva, zamjenskog prirodnog gasa ili vodonika.

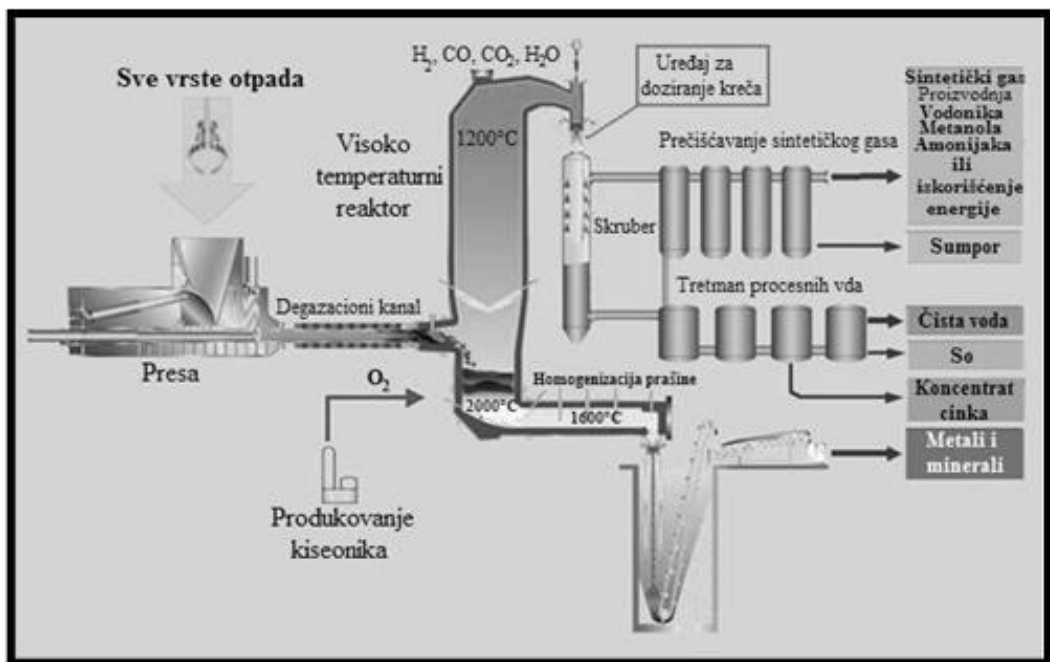
Proces gasifikacije nije nov. Prvobitno je razvijen u 19. vijeku za proizvodnju gradskog gasa iz fosilnih goriva za osvjetljenje i kuhanje, a prvi četverotaktni motor je radio na proizvođački gas 1876. godine. Električna energija i prirodni gas kasnije su zamijenili gradski gas za ove primjene, ali je proces gasifikacije korišćen za proizvodnju sintetičkih hemikalija (amonijaka) i goriva od 1920-ih. Generatori drvnog gasa korišćeni su za pogon motornih vozila u Evropi kada je tokom Drugog svjetskog rata bilo nestašice goriva. Kao alternativu, mnogi ljudi su pribjegli generatorima drvnog gasa testiranim tokom Prvog svjetskog rata, koji, međutim, nisu uspjeli da dostignu snagu i kvalitet motora na benzin (slika 9.10.).



Slika 9.10. Limuzina pogonjena drvnim gasom, 1941. godina⁴⁸ (Flickr, 2016)

Gasifikacija industrijskog obima uglavnom se koristi za proizvodnju električne energije iz fosilnih goriva, poput uglja, dok su u nekim regionima bogatim drvetom instalisana nova postrojenja za gasifikaciju biomase. Sintetički gas se može koristiti i za proizvodnju toplote i za proizvodnju mehaničke i električne energije. Mehanička energija iz motora može se koristiti za pogon vodenih pumpi za navodnjavanje ili za alternator za proizvodnju električne energije. Manji ruralni gasifikatori na biomasu naširoko su primijenjeni u Indiji, gdje se koriste za pumpanje vode i uličnu rasvjetu. Uprkos tehničkoj ispravnosti, ovi sistemi se suočavaju sa finansijskim problemima i problemima održavanja, te većina sistema ne radi nakon 1 do 3 godine od pokretanja. I neka veća postrojenja gasifikatora koja su pokrenuta u Fondotoci (Italija) 1992. godine i u Karlsruheu (Njemačka) 2000. godine su zatvorena (Reddy, 2011). I pored svih problema, gasifikacija otpada se smatra visoko potencijalnim procesom proizvodnje obnovljive energije. Gasifikacija se može koristiti sa bilo kojim organskim materijalom, biomasom ili čvrstim otpadom, uključujući plastični otpad, ali kao relativno nova tehnologija još uvek je u fazi komercijalne demonstracije.

⁴⁸ Adler limuzina sa šest sjedišta opremljena je Imbertovim generatorom drvnog gasa za rad na drveni gas. Umjesto 1 kg benzina, 1942. za vozilo je bilo potrebno oko 2,5 kg do 3,5 kg drva. Velika težina sistema i drva dodatno su smanjili njegovu efikasnost. Drvo je takođe trebalo pretovariti na kraćim udaljenostima (50-100 km) na tzv. „punionicama drva“.



Slika 9.11. Konceptualni pregled procesa gasifikacije otpada na visokim temperaturama na osnovu procesa „Thermoselect“ (Stantec Consulting, 2011)

Dostupno je nekoliko različitih procesa gasifikacije koji su u principu pogodni za tretman komunalnog otpada, određenog opasnog otpada i osušenog mulja kanalizacije. Postoje tri primarne vrste tehnologija gasifikacije koje se mogu koristiti za tretman otpadnih materijala, a to su: fiksni sloj, fluidizovani sloj i gasifikacija na visokim temperaturama. Od tri tipa tehnologija gasifikacije, visokotemperaturna metoda je najšire korišćena u komercijalnim razmjerama. Otpad prolazi kroz kanal za degazifikaciju u kome se zagrijava da bi se smanjio sadržaj vode u njemu (sušenje i degazifikacija), a zatim se dovodi u komoru/reaktor za gasifikaciju, gdje se zagrijava pod odgovarajućim uslovima da bi se otpad pretvorio u sintetički gas. Generisani gas se obrađuje da bi se uklonila vodena para i ostali zagađivači u tragovima, tako da se može koristiti za proizvodnju energije, grijanje ili kao hemijska sirovina (slika 9.11.). Šljaka nastala tokom procesa gasifikacije nalazi se na dnu gasifikatora i zatim se mora pravilno tretirati (npr. na odgovarajućoj deponiji). Sastav otpada važan je za gasifikaciju, jer gasifikacijom se može pretvoriti samo organski otpad. Gasifikacija otpada će zato biti najuspješnija u zajednicama u kojima postoji dobra praksa selekcije negorivog i zapaljivog otpada.

Tehnologije pirolize i gasifikacije svrstavaju se u **napredni termički tretman**. Dizajnirane su za proizvodnju energije i smanjenje količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada. Gasifikacija je proces sličan pirolizi, prisutne su i određene razlike: piroliza koristi spoljni izvor toplote za izvođenje endotermne pirolitičke reakcije u sredini bez kiseonika, dok se gasifikacijom otpad pretvara u gasovite materije pomoću vazduha, ali ima djelimičnu reakciju sagorijevanja.

Glavni nedostatak procesa gasifikacije je činjenica da su kapitalni i operativni troškovi mnogo veći u odnosu na konvencionalna postrojenja za sagorijevanje. Primarni izazov za tehnologije gasifikacije otpada je postizanje prihvatljive električne efikasnosti. Faktori koji utiču na manju efikasnost pretvaranja sintetičkog gasa u električnu energiju su značajna potrošnja energije u prethodnoj obradi otpada (usitnjavanje, sušenje, i sl.), potrošnja velikih količina čistog kiseonika (često se koristi kao agens za gasifikaciju), kao i čišćenje sirovog gasa za dalje korišćenje. Iz tog razloga je do sada izgrađeno svega nekoliko ovakvih postrojenja i to u Japanu, gdje su prisutne strožije zakonske regulative u oblasti zaštite životne sredine, kojom se favorizuje termička obrada otpada pri visokim temperaturama i postiže veoma mala koncentracija dioksina u nastalom pepelu.

Prednosti gasifikacije u odnosu na druge metode termičkog tretmana (Marushima, et al., 2005) su:

- 1) Izrazito niska emisija dioksina i nulta emisija letećeg pepela. To se postiže izlaganjem sintetičkog gasa visokoj temperaturi (od 1200 °C) u trajanju od 2 sekunde ili duže, nakon čega se naglo hladi u inertnoj sredini bez kiseonika, što utiče na uništavanje dioksina.
- 2) Mogućnost korišćenja sintetičkog gasa ne samo za energetske korišćenje, nego i u petrohemijskoj industriji.
- 3) Električna energija se može proizvesti u motorima i gasnim turbinama, koji su mnogo jeftiniji i efikasniji od ciklusa pare koja se koristi u spaljivanju.
- 4) Ekonomska efikasnost procesa sa aspekta nulte emisije koje eliminišu potrebu za naknadnom obradom, a 100%-tnom konverzijom otpada se izbjegavaju troškovi deponovanja ostataka otpada na deponije.

Evropska unija i Američka agencija za zaštitu životne sredine gasifikaciju otpada klasifikuju kao oblik spaljivanja (EU Directive 2010/75/EU), jer uključuje i termičku obradu otpada i u većini slučajeva sagorijevanje nastalih gasova (bilo na lokaciji ili kao distribuisano gorivo).

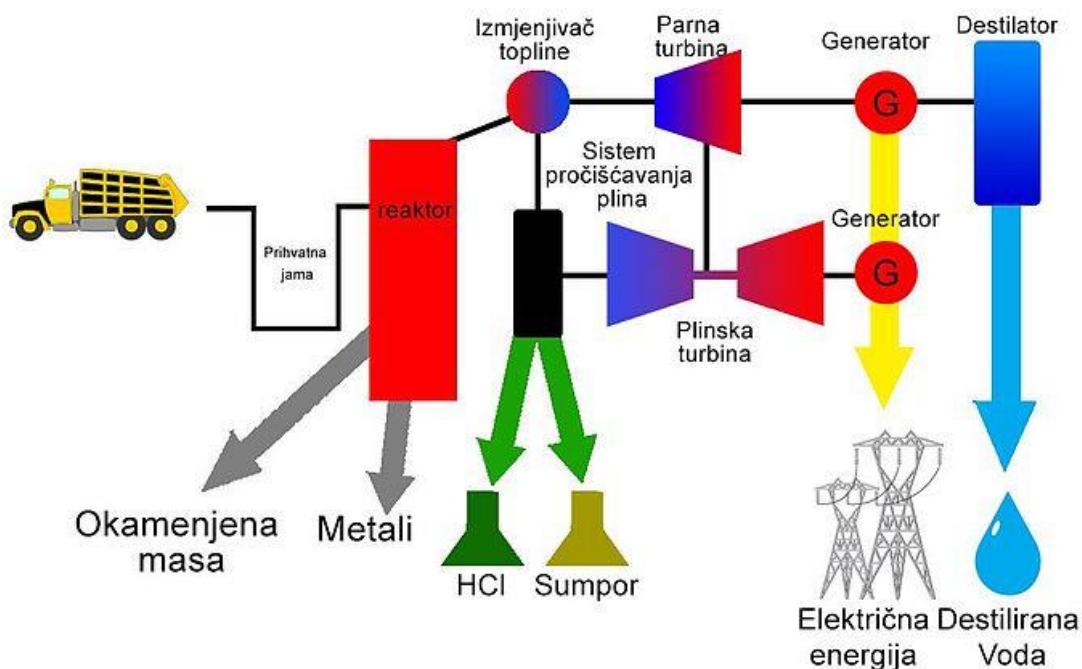
9.4.3. Plazma tehnologije

Plazma postupak je tehnologija tretmana otpada koja koristi električnu energiju i visoke temperature stvarajući električni luk u zatvorenoj posudi/reaktoru. U osnovi predstavlja varijantu gasifikacije koja se zasniva na nastajanju plazme⁴⁹ pomoću plazma gorionika ili plazma-baklje, tj. uređaja koji stvaraju izuzetno visoke temperature. Plazma gorionik funkcionira kao jedna elektroda, dok centralni dio dna reaktora funkcionira kao druga elektroda. Unutar zapečaćene posude od nehrđajućeg čelika ispunjene inertnim gasom, poput azota ili vazduha, visokonaponska struja prolazi između dvije elektrode i stvara električni luk koji pretvara gas u plazmu. Jaka struja teče kontinuirano kroz ovu plazmu stvarajući polje intenzivne energije (visoke temperature). Energija plazma luka je toliko snažna da razlaže većinu vrsta otpada na osnovne elementarne gasovite komponente, a složeni molekuli se razdvajaju na pojedinačne atome. Električno pražnjenje između dvije elektrode uzrokuje da temperatura plazme dostiže od 5 000 °C do 15 000 °C (Jakšić i dr., 2001). Gasifikacija plazme ili gasifikacija potpomognuta plazmom je u komercijalnoj upotrebi kao sistem za pretvaranje otpada u energiju koji pretvara komunalni čvrsti otpad, gume, opasan otpad i kanalizacijski mulj u sintetski gas, koji sadrži vodonik i ugljen-monoksid, a koji se može koristiti za proizvodnju energije. Tehnologija plazme se može koristiti za termičku obradu bilo koje vrste otpada, osim nuklearnog. Jedina promjenljiva je količina energije potrebna za uništavanje otpada (Moustakas & Loizidou, 2010).

Na početku procesa miješani čvrsti otpad se usitnjava i ubacuje u reaktor gdje se, zbog visoke temperature, brzo rasplinjava i pretvara organsku frakciju u sintetički gas koji može služiti za dobijanje električne energije, a neorgansku frakciju u rastopljene metale i šljaku koji se lako mogu regenerirati i ponovo upotrijebiti. Usljed visoke temperature sve neorganske materije iz tretiranog otpada se rastope i teku iz reaktora kao lava, a zatim se naglo hladi pri čemu se metali odvajaju, a neorganska šljaka ostaje kao inertan kamen staklaste strukture koji se koristi kao tehnički kamen ili termoizolacioni materijal. Metali i šljaka se odvajaju na dnu reaktora, a sintetski gas se dodatno prečišćava. Gas se pri izlasku iz reaktora hladi te pregrijava paru u izmjenjivaču toplote koja se odvodi na parnu turbinu. Para se prolaskom kroz turbinu kondenzuje i prečišćava te se kao krajnji proizvod dobija destilovana voda. Kao sporedni proizvod prečišćavanja je hlorovodonik (HCl) i

⁴⁹ Plazma je poznata kao četvrto stanje materije (pored tečnog, čvrstog i gasovitog) i predstavlja jonizovan gas. Plazma se stvara kada se gasoviti molekuli primoraju na visokoenergetske sudare sa naelektrisanim elektronima, što rezultira stvaranjem naelektrisanih čestica. Prisustvo naelektrisanih čestica čini plazmu izuzetno reaktivnom sredinom, sa osobinama koje se razlikuju od osobina drugih gasova, tečnosti ili čvrste materije.

sumpor. Prečišćeni gas se upućuje u gasnu turbinu gdje se posredstvom generatora proizvodi energija koja se koristi u procesu, a višak prodaje u električnu mrežu (slika 9.12.). Sintetički gas se može koristiti u: kotlovima, gasnim turbinama ili motorima sa unutrašnjim sagorijevanjem za proizvodnju električne energije.



Slika 9.12. Proces tretmana otpada primjenjujući tehnologiju plazma gasifikacije

Elektrode koje proizvode električni luk (plazmene baklje) i stvaraju plazmu moraju biti u kontaktu sa čvrstim otpadom. Fizičke karakteristike otpada, kao i korozivnost koju izazivaju gasovi tokom ovih procesa, uzrokuju veoma kratak vijek ovih elektroda tako da se ovi reaktori moraju često servisirati (GCS, 2015), što povećava cijenu tretmana otpada u odnosu na spalionice. S druge strane, prednost plazma procesa u odnosu na insineraciju je u tome što u gasovitoj fazi dolazi do intenzivnog razlaganja organskih molekula što gotovo u potpunosti eliminiše štetne emisije, te ne proizvodi ni kontaminirani pepeo. Dakle, plazma postupak može pretvoriti mnoge zagađivače u ekološki bezopasne i korisne nusproizvode. Nedostaci procesa uključuju: relativno visoku cijenu zbog visoke potrošnje električne energije, visok nivo održavanja i kvalifikovanu radnu snagu potrebnu za rad.

Plazma tehnologije za tretman otpada mogu biti podjeljeni u različite kategorije (Heberlein and Murphy, 2008) navedeno u (Bosmans and Helsens, 2010):

- 1) Plazma piroliza ili postepeno sagorijevanje (npr. Hovalov proces);
- 2) Plazma gasifikacija;
- 3) Plazma vitrifikacija;
- 4) Kombinovani plazma procesi (plazma piroliza/gasifikacija/vitrifikacija).

Efekat navedenih tehnologija se još ispituje, a problem predstavlja činjenica da nedostaje korisnih informacija o procesu, kao što su bilansi mase i energije u postojećim postrojenjima. S obzirom da postoje različite tehnologije plazme za tretman otpada, pri odabiru optimalnog postupka važan parameter je i sastav otpada. Za tokove otpada koji sadrže visoke koncentracije organskih materijala sa visokom grejnom vrijednošću, plazma procesi mogu ponuditi atraktivnu alternativu potpunom sagorijevanju i stvaranju pare, jer obrada plazmom obnavlja energetski sadržaj otpada u obliku sintetskog gasa. Tokovi otpada sa visokom koncentracijom halogena, uključujući većinu plastičnih materijala, zahtijevaju obradu i kaljenje na vrlo visokim temperaturama kako bi se spriječile ili smanjile toksične emisije i kontrolisao sastav proizvoda.

Prednosti korišćenja plazma tehnologije u rješavanju problema otpada:

- 1) Često zbrinjavanje hemijsko kontaminiranog otpada;
- 2) Ne proizvodi donji pepeo niti leteći pepeo koji zahtijevaju odlaganje na sanitarnu deponiju;
- 3) Nema emisija štetnih gasova;
- 4) Proizvodnja hemijski nereaktivne šljake koja se koristi kao građevinski materijal;
- 5) Proizvodnja sintetičkog gasa za proizvodnju električne energije, odnosno hemikalija, đubriva ili transportnih goriva – time smanjujući potrebu za izvornim materijalima za proizvodnju ovih proizvoda;
- 6) U poređenju sa tradicionalnom gasifikacijom, ne stvara katran tokom procesa gasifikacije;
- 7) Izvlačenje korisnih metala iz otpada;
- 8) Manje emisije stakleničkih gasova u poređenju sa spaljivanjem otpada;
- 9) Mogu prerađivati otpad svih agregatnih stanja, vrsta kao i porijekla istovremeno;
- 10) Rade bez buke ili na veoma tihom režimu;
- 11) Mogu raditi i u režimu od par sati dnevno i 24 sata bez prestanka i pauza, hlađenja i sl.

Glavni **nedostaci korišćenja plazma tehnologije** u rješavanju problema otpada:

- 1) Veliki investicioni trošak u poređenju sa procesom deponovanja otpada;
- 2) Visoka potrošnje električne energije;
- 3) Nije dokazano u velikim postrojenjima;
- 4) Neophodna kvalifikovana radna snaga potrebna za rad.

Ranije se ova tehnologija odbacivala zbog visoke cijene, ali razvojem tehnologije i uračunavanjem ekoloških troškova u proračune za druge procese, dolazi se do zaključka da plazma tehnologije kao najnovije rješenje termičkog tretmana otpada ujedno predstavlja najbolje rješenje, jer skoro da nema štetnih uticaja na životnu sredinu, uz nižu cijenu tretmana komunalnog otpada. **Ovim postupcima se mogu tretirati sve vrste otpada, osim nuklearnog**, a najčešće se koristi za medicinski otpad, tj. za potpuno uništavanje infektivne organske materije.

Postoji nekoliko postrojenja za plazma luk (*plazma arc*) koji rade širom svijeta. Ovaj tip postrojenja za tretman komunalnog otpada su u funkciji u Japanu i Kini od 2002. godine. Plazma postrojenje u gradu Tainan, na Tajvanu, koje je u funkciji od 2005. godine, dnevno tretira 3–5 tona otpada iz različitih tokova otpada, uključujući: leteći pepeo iz spalionica, medicinski otpad, organski otpad industrijskog procesa i neorganski mulj. Može takođe obrađivati otpadne potrošačke baterije i druge materijale, uključujući muljeve teških metala i rafinerijske katalizatore, ali bez povrata energije. Postrojenje je izgrađeno kao dio sveobuhvatnog postrojenja za povrat resursa koje je finansirala tajvanska vlada, što je prvi put da je vlada Tajvana posvetila finansijska i tehnička sredstva za korišćenje plazma tehnologije. Nekoliko godina kasnije, u januaru 2013. godine „Alter NRG“ je pustio u rad „Westinghouse plazma“ gasifikaciju u demonstracionom postrojenju u Vuhanu, u Kini. Jedinica za gasifikaciju plazme je dizajnirana da preradi približno 100 tona otpada biomase dnevno i pretvori ga u čisti sintetski gas. Gas se zatim pretvara u dizel-gorivo i druga transportna goriva. Treći primjer je američka kompanija „Startech Environmental Corporation“, u Bristolu, koja je razvila postrojenje plazme zasnovano na gasifikaciji plazme. Dnevno može zbrinuti 2000 tona otpada, što je dnevna produkcija otpada grada od milion ljudi. Ova mašina koja košta otprilike 250 miliona dolara može potrošiti bilo koju vrstu otpada, od pelena do hemijskog oružja i uništiti otrovne materijale. Uzimajući u obzir nacionalnu prosječnu naknadu za odlaganje otpada od 35 USD/toni koju američki grad plaća operateru deponija u velikim gradovima, te dodatne troškove (koji uključuju: transport smeća do deponija, tretman deponijskih gasova i voda), ova Startech mašina se, prema njihovim proračunima, može

otplatiti za otprilike deset godina, čak i bez obzira na novac vraćen prodajom viška električne energije i sintetičkog gasa (Reddy, 2011).

Poznati su i brojni primjeri neuspjelih pokušaja primjene plazma procesa za tretman otpada koji su prestali sa radom. Takav slučaj je bio sa postrojenjem od 150 t dnevno koje je završeno 2002. godine u gradu Utashinai, u Japanu. Bilo je potrebno više od 5 godina da se pokrene zbog problema s veličinom dna reaktora, prenošenja ljepljivih čestica i pogrešnog izbora vatrostalnog materijala. Kao rezultat toga, vlasnik je izgubio ugovore o isporuci otpada i nije ispunio projektovani toplotni i materijalni balans, pa ga je zatvorio 2013. godine.

Poznati su i primjeri odustajanja od gradnje postrojenja nakon nekoliko godina kao npr. kada je vlasnik napustio elektranu od 49 MW koja koristi gasifikaciju plazme tokom faze puštanja u rad u Tesideu u Velikoj Britaniji. Prvi sistem za odlaganje otpada baziran na plazmi u SAD najavljen je 2006. godine u okrugu St. Luis, na Floridi. Plan je bio da se isprazni postojeća deponija otpada (od 3.900.000 t), prikupljenog tokom 18 godina. Prijetnje po javno zdravlje i životnu sredinu od spalionica, zajedno s neizvjesnošću da zajednica proizvodi tako velike količine otpada na konzistentnoj osnovi, naveli su investitore da raskinu ugovor sa izvođačem i okončaju projekat (VIT, 2019).

9.5. TEHNOLOŠKI RIZICI I OPERATIVNI IZAZOVI TERMIČKIH TRETMANA

Zavisno od primjenjenih tehnoloških procesa i drugih faktora pomenuti oblici termičkog tretmana otpada mogu izazvati različite vrste rizika. Tako npr. zbog hemijskih i termičkih operacija potrebnih za obradu otpada, pri kojima nastaju kiseli gasovi kao što su azotni oksidi, te temperature čak i do 1000 °C, u spalionicama može doći do tehničkih nepravilnosti. U takvim situacijama dolazi do prekida rada spalionice, što je ekonomski veoma skupo jer zahtijeva gašenje cijelog sistema i nove energetske gubitke. Požari u skladištima otpada su posebno opasni za životnu sredinu jer emituju značajne količine dugotrajnih (perzistentnih) organskih jedinjenja poput dioksina i furana, kao i polihlorovanih bifenila. Iako posljednjih godina postoji određen napredak u smanjivanju emisija iz spalionica, još uvijek ne postoji dokaz da su spalionice odjednom postale potpuno sigurne.

Konverzija komunalnog čvrstog otpada u postrojenjima za pretvaranje otpada u energiju globalno je prepoznata kao sredstvo za očuvanje fosilnih goriva i poboljšanje kvaliteta životne sredine smanjenjem količine otpada koji se odlaže na deponije. Širom svijeta, godišnje se sagorijeva preko 130 miliona tona komunalnog

otpada u objektima za termički tretman koji proizvode električnu energiju i paru za daljinsko grijanje (Albina & Themelis, 2003). Direktive o deponijama – koje su potisnule biorazgradivi otpad sa deponija rezultirale su groznicom za izgradnju novih spalionica, bez primjetnog povećanja prevencije ili recikliranja. Spalionice su, međutim, kontroverzne u pogledu njihovih potencijalnih uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi, kao i u pogledu ekonomskih razloga koji ne idu u prilog ovoj tehnologiji. Treba imati u vidu da je spaljivanje tehnologija koja kao nusproizvod stvara otpad. Postoji potreba za daljom obradom: letećeg pepela, šljake i donjeg pepela iz procesa sagorijevanja, kao i svih metala koji se mogu izvući iz donjeg pepela (reziduala ili ostataka otpada koji nije sagorio). Neke evropske zemlje, poput Njemačke ili Švedske, većinu svog otpada šalju na spaljivanje, odnosno pretvaranja otpada u energiju (u manjoj mjeri na lokacije za mehaničko-biološki tretman (MBT) sa proizvodnjom goriva iz otpada – RDF). Kao rezultat, pepeo ili odbačeni otpad od MBT više se ne klasifikuju kao komunalni otpad, ali u većini slučajeva ostaje otpad (i zatim se odlaže na deponije) (*Zero Waste Europe*, 2015).

9.5.1. Eksplozija u spalionici opasnog otpada u Leverkusenu (Njemačka)

U vrijeme pisanja ovog udžbenika, tačnije u julu 2021. godine, dogodila se eksplozija u spalionici opasnog otpada u industrijskom parku Čempark, kojim upravlja operater Kurenta, smještenoj u Leverkusenu u zapadnoj Njemačkoj. Incident se dogodio na Čemparkovoj deponiji i području za spaljivanje otpada u okrugu Buerig u Leverkusenu, koji je odvojen od glavnog industrijskog parka u kojem se nalaze brojne hemijske kompanije (France 24, 2021). Prema riječima operatera, eksplozija se dogodila u skladištu spalionice opasnog otpada gdje se sakupljaju i odlažu proizvodni ostaci. Prilikom požara zapalila su se tri rezervoara sa organskim rastvaračima. Eksplozija i vatra stvorili su ogroman oblak dima (slika 9.13.), a čestice čađi pale su na obližnja sela. Iz tog razloga, portparol agencije je izjavio da pretpostavlja da su jedinjenja poput dioksina, PCB i furana raznešena dimom u okolna stambena područja. Vlasti su upozorile da vrata i prozori moraju biti zatvoreni. Profesor dr Martin Vilks, iz Švajcarskog centra za primjenjenu humanu toksikologiju, rekao je da potencijalni nadražujući gasovi u oblaku dima mogu izazvati ozbiljne respiratorne tegobe, te da bi se u zavisnosti od gorućih jedinjenja fina prašina i druge supstance mogle širiti po velikim površinama i zagađivati zemljište i biljke. Stanovnici su upozoreni: da djeci ne dopuštaju da se igraju napolju, da ne koriste otvorene bazene, da ne jedu proizvode iz vrtova na

otvorenom i da ne unose čađ na obuću u kuće. U eksploziji je povrijeđena 31 osoba, a sedam ljudi je poginulo (DW, 2021).



Slika 9.13. Eksplozija u postrojenju za spaljivanje opasnog otpada u Leverkusenu (Remonews, 2021)

9.6. PRETHODNA ANALIZA KOLIČINA I VRSTA OTPADA

Za ispravan rad spalionice potrebne su konstantne količine otpada slične ogrevne vrijednosti. Zbog toga je obavezno uraditi morfološki bilans otpada, jer svaka komponenta otpada ima svoju energetska vrijednost. Komunalni otpad je izrazito nehomogene strukture i mijenja se u zavisnosti od: mjesta sakupljanja, socijalnog standarda, navika stanovništva, godišnjeg doba i sl. Sagorivi dio otpada uglavnom se sastoji od celuloznog materijala, na primjer: hartija, karton i neki baštenski otpaci, drvo, šećeri i skrob imaju slični elementarni sastav i toplotnu vrijednost. Visoko sagorivi materijal, kao što su: plastične mase, ulja, masti i nesagorele čestice uglja čine manju frakciju otpada, mada je njihov doprinos ukupnoj toplotnoj vrijednosti u izvjesnim slučajevima zapažen.

Spaljivanje kao metod tretmana otpada je manje atraktivno kada otpad slobodno gori zbog visokog sadržaja vlage ili nezapaljivog materijala. U tom slučaju potrebno je dodatno gorivo, te spaljivanje postaje ekonomski neprihvatljivo. Ako je udio biorazgradivog kuhinjskog otpada veći, ukupna energetska vrijednost otpada je manja, odnosno za ispravno i potpuno spaljivanje treba dodavati veće količine fosilnih goriva, što poskupljuje cijeli proces. Sve to treba imati u vidu prije nego se donese odluka o izgradnji postrojenja za spaljivanje otpada.

Hemijskom analizom utvrđuje se sadržaj: ugljenika, vodonika, kiseonika, sumpora, hlora i azota. Ova analiza može poslužiti da se izračuna sastav dimnih gasova. Tri posljednja elementa (S, O i N) su važni za određivanje zagađenja vazduha.

Gasifikacija otpada, piroliza ili plazma, kao alternativne tehnologije, imaju slične nedostatke kao spaljivanje u konvencionalnim spalionicama. Troškovi su

zabrinjavajući faktor, jer se pokazalo da su ova postrojenja najskuplja opcija tretmana otpada. Posljedice takođe uključuju:

1) 2–30% težine otpada ostaje kao pepeo (*Zero Waste Europe*, 2015). Umjesto da izbjegava deponije, spaljivanje je samo korak prije odlaganja otpada koji od sagorijevanja postaje opasniji.

2) Intenzivne emisije ugljenika i emisije postojećih (dugotrajnih) organskih polutanata (dioksini, furani), teški metali, čestice, nanočestice i drugi zagađivači (Thompson & Anthony, 2005).

3) U Kini, izvještaj iz 2015. godine, o 160 postojećih i operativnih spalionica komunalnog otpada u zemlji, otkrio je da 40% ima nepotpune podatke o emisiji gasova, a samo 8% spalionica ima podatke o emisiji dioksina dostupnih javnosti (Tangri & Wilson, 2017).

Decenije pokušaja primjene gasifikacije, pirolize i plazme na komunalni otpad razotkrile su osnovne komplikacije sa ovim pristupom, o čemu svjedoči velika stopa prekida rada ovih postrojenja. Od objekata komercijalnog obima koji su uspostavljeni u Evropi, Ujedinjenom Kraljevstvu, Kanadi i SAD-u, mnogi su imali problema sa održavanjem redovnog poslovanja i proizvodnjom dovoljno energije da bi nastavili sa radom (Gleis, 2012).

Pogoni su oštećeni iz tehničkih razloga, uključujući:

- 1) Nemogućnost ispunjavanja ograničenja zagađenja;
- 2) Korozivno oštećenje opreme (poput urušavanja krova i čeličnog dimnjaka postrojenja za gasifikaciju otpada u Hamm Uentrop, Njemačka);
- 3) Problemi sa održavanjem zadovoljavajućih reakcionih temperature;
- 4) Energetska neefikasnost.

U Velikoj Britaniji je u posljednjoj deceniji zabilježeno šest neuspjelih ili napuštenih projekata gasifikacije i pirolize, jer nisu uspjeli savladati tehnološke poteškoće s kojima su se suočavali u svojim projektima, čak i nakon što su na tu tehnologiju potrošili milijarde dolara (UKW IN, 2016).

U Zagrebu je 1. avgusta 2002. g. buknuo požar i eksplozija u spalionici smeća preduzeća „Puto”. U ovoj spalionici se spaljivao: bolnički, industrijski i hemijski otpad. Uzrok požara je bilo nepravilno skladištenje opasnog otpada, usljed čega je nastupilo miješanje opasnih hemijskih materija, koje u međusobnom kontaktu izazivaju burnu reakciju s oslobađanjem toplote i lakozapaljivih gasova. Požar je ugašen tek nakon 8 dana, a materijalna šteta procijenjena na oko 2.250.000,00 kuna

(blizu 300.000 evra) na štetu grada Zagreba i suvlasnika spalionice (Muslim, 2009).

Godine 1987. izbio je požar u spalionici otpada Špitelau u Beču pri kojem je spalionica otpada bila skoro u potpunosti uništena. Nakon požara, umjesto da je sruše Grad Beč je odlučio obnoviti spalionicu na istom mjestu i to uz pomoć umjetnika Fraidenzraiha Hundertvasera zbog čije je konstrukcije fasade spalionica Špitelau postala jedna je od najfotografisanijih zgrada u Beču (slika 9.5.). Špitelau postrojenje za spaljivanje otpada godišnje snabdijeva preko 60.000 domaćinstava ekološki prihvatljivim daljinskim grijanjem i skoro 50.000 domaćinstava električnom energijom (WMW, 2021).

Početakom 80-ih godina piroliza se u Njemačkoj nije koristila samo za termičku obradu kućnog otpada, već i za čišćenje zagađenih mjesta (npr. zemljišta ili pijeska). Izgrađena su različita postrojenja za dekontaminaciju:

- 1) Zemljišta kontaminiranog uljem;
- 2) Zemljišta zagađenog živom;
- 3) Zemljišta zagađena dioksinima i furanima (Gleis, 2012).

Koncepti upravljanja otpadom orijentisani ka budućnosti treba da kombinuju ekonomske i ekološke zahtjeve. Uprkos još uvijek postojećim tehničkim problemima, piroliza ili gasifikacija otpada sa visokokaloričnim sadržajem može, u kombinaciji sa postojećim ili novoizgrađenim elektranama i industrijskim pećima, ponuditi alternativno tehničko rješenje, pod uslovom da se uglavnom koristi za odabrani visokokalorični otpad i otpadna goriva.

10. DEPONOVANJE

Deponovanje otpada predstavlja najstariji i najviše primjenjivan način zbrinjavanja komunalnog otpada. U zemljama u razvoju, deponovanje otpada je često jedina dostupna i praktikovana opcija upravljanja komunalnim otpadom, kao najlakši i najjeftiniji način njegovog konačnog zbrinjavanja. Međutim, treba imati u vidu da odlaganje komunalnog otpada na deponijama nosi niz ekoloških rizika. U najznačajnije negativne uticaje deponija na životnu sredinu predstavljaju zagađenja koja dolaze od procjednih voda i deponijskih gasova. Zbog svih negativnih pojava koje nastaju kao posljedica razgradnje deponovanog otpada na neuređenim i nekontrolisanim deponijama pribjegava se izgradnji sanitarnih deponija na kojima se nastoji minimizovati štetni uticaji na životnu sredinu i zdravlje ljudi.

Kao jedan od elemenata integralnog upravljanja otpadom, deponovanje otpada je prema principu „hijerarhije upravljanja otpadom” na posljednjem mjestu, kao najmanje poželjna opcija. To znači da bi deponije, kao konačna mjesta za skladištenje otpada, trebalo koristiti tek nakon što se iskoriste sve druge opcije tretmana i iskorišćavanja komunalnog otpada. Kao što se može primijetiti iz prethodnih poglavlja, u mnogim zemljama se primjenjuju različite vrste tretmana i iskorišćavanja kao što su: mehaničko-biološki, termički tretman otpada, reciklaža i dr. U svim navedenim metodama tretmana ostaje dio otpada koji se mora odložiti na deponije. Dakle, sanitarne deponije su neophodne u svakoj izabranoj opciji tretmana, jer uvek postoji jedan dio otpada koji se mora odložiti.

Deponije se razlikuju po opremljenosti i mogu se izdvojiti tri osnovne grupe deponija: nekontrolisane otvorene deponije, kontrolisane otvorene deponije i sanitarne deponije. Nekontrolisane otvorene deponije su primitivne i nisu ekološki prihvatljive, ali kontrolisane i sanitarne deponije mogu da obezbijede efikasno odlaganje komunalnog otpada u skladu sa odgovarajućim lokalnim zdravstvenim i ekološkim standardima.

Deponovanje na sanitarne deponije zahtijeva poznavanje niza različitih pojmova, postupaka i aktivnosti, koji treba da omoguće pravilno planiranje, projektovanje, izvođenje, eksploataciju i finansiranje deponija, kao i kontrolu njihovog uticaja na životnu sredinu. Sanitarna deponija je tehnički uređeni prostor na kome se vrši kontrolisan prijem otpada, njegovo plansko odlaganje, razastiranje, sabijanje i prekrivanje inertnim materijalom, kontrolisano sakupljanje otpadnih (procjednih) voda i njihovo prečišćavanje prije konačnog ispuštanja u prirodni recipijent ili

sistem javne kanalizacije, kao i kontrolisano usmjeravanje, odvođenje i korišćenje deponijskog gasa. Na ovaj način uređena deponija je isplaniran, izgrađen i opremljen prostor na kome se otpad odlaže sa minimalnim posljedicama na životnu sredinu. S druge strane, nesanitarna deponija je prostor gdje se otpad baca bez bilo kakvih zaštitnih mjera po životnu sredinu.

Zbog uočenih nedostataka deponovanja otpada kao metode njegovog konačnog tretmana, Direktiva Evropske unije (EU) o deponijama otpada uvela je specifične ciljeve za smanjenje količine odloženog otpada i vrlo stroge zahtjeve za deponije.⁵⁰ Bez obzira na ovu direktivu, situacija u Evropi je vrlo heterogena. Na primjer, Švajcarska, Njemačka, Nizozemska, Švedska, Austrija, Danska i Belgija prijavljuju deponovanje ispod 5% proizvedenog otpada (Brenan, 2016). Nasuprot njima, u novim zemljama članicama i zemljama kandidatima odlaganje otpada je i dalje preovlađujuća tehnologija upravljanja otpadom. Na primjer, zastupljenost deponovanog otpada u Rumuniji 71%, u Hrvatskoj 75%, u Grčkoj 80%, na Kipru 82%, dok na Malti dostiže čak 93% (European Parliament, 2018).

I u državama izvan Evrope deponije su uobičajena praksa za odlaganje čvrstog komunalnog otpada. Tako, na primjer, u SAD-u je 52,6% čvrstog komunalnog otpada odbačeno na deponije, u Saudijskoj Arabiji 85%, u Kini 79%, a u Maleziji čak 94,5% otpada (Vaverková, 2019).

Iako je odlaganje čvrstog otpada na deponijama smanjeno, deponije će vjerovatno ostati važan dio integralnog sistema upravljanja čvrstim otpadom u cijelom svijetu.

10.1. UTICAJ DEPONIJAMA NA ŽIVOTNU SREDINU

Uticaji otpadnih materija na životnu sredinu su višestruki. Otpad sam po sebi, predstavlja gubitak materije i energije, te zahtijeva dodatnu energiju za sakupljanje, treman i odlaganje. Iako se odlaganje na deponijama smatra efikasnom metodom za upravljanje otpadom, postoji mnogo razloga zašto se deponovanje pojavljuje kao

⁵⁰ Direktivom 99/31/EC o deponijama otpada propisuje se niz kriterijuma za određivanje lokacije deponije, propisuju se mjere zaštite: vode, zemljišta i vazduha kroz primjenu sistema za sakupljanje i prečišćavanje procjednih voda i sistema za sakupljanje i iskorišćenje deponijskog gasa uz obnavljanje energije. Ukoliko se gas ne koristi za proizvodnju energije on se mora sagorijevati radi sprečavanja njegove emisije u atmosferu. Takođe, Direktiva definiše tehničke standarde izgradnje vodonepropusnog dna deponije i mjere za postupanje po njenom zatvaranju, zatim mjerenje i praćenje određenih radnih parametara i tokom rada deponije i nakon njenog zatvaranja. Za sva zahtijevana mjerenja direktivom se propisuju i vremenski periodi kada se ona moraju sprovesti u toku perioda rada deponije kao i poslije njenog zatvaranja.

najmanje racionalna metoda upravljanja otpadom. Pored toga, deponija može izazvati sljedeće probleme u životnoj sredini:

- 1) Kontaminacija podzemnih voda procjednim vodama;
- 2) Kontaminacija površinskih voda kroz spiranje sa površine deponije ili putem procjednih voda;
- 3) Kontaminacija vazduha usljed: gasova, prašine, neprijatnih mirisa;
- 4) Drugi problemi kao što su zdravstveni i sigurnosni rizici zbog: glodara, štetočina, ptica, požara, buke, slijeganja, itd.

Deponovanje u suštini uključuje dugotrajno skladištenje inertnih materijala uz relativno nekontrolisanu razgradnju biorazgradivog otpada (White et al., 1995). Najveći dio potencijalnog rizika od deponije komunalnog otpada proizlazi iz migracije kontaminiranih procjednih voda i deponijskog gasa. Procjedne vode nastaju na deponiji kao posljedica kontakta vode sa čvrstim otpadom, te mogu sadržavati rastvoreni ili suspendovani materijal povezan s otpadom koji se odlaže na deponiju, kao i mnoge nusproizvode hemijskih i bioloških reakcija. Osobine procjednih voda sa deponija komunalnog otpada variraju u zavisnosti od napretka biološke aktivnosti koja se javlja na deponiji. U cilju smanjenja negativnog uticaja deponijskih procjednih voda, razvijen je niz tehnologija za njihov tretman, u cilju postizanja standarda utvrđenih zakonodavstvom.

Sa komunalnih deponija se emituje i deponijski gas, kao nus-produkt procesa razgradnje fermentabilnog deponovanog otpada. Deponijski gas može predstavljati jako ozbiljan problem. U procesima truljenja, koji su anaerobni, razvija se staklenički gas metan (CH_4) koji u istoj količini daleko više intenzivira klimatske promjene nego CO_2 . Metan je zapaljivi gas bez boje i mirisa koji pri koncentracijama od 5% do 15% može biti eksplozivan. Na neuređenim deponijama se događaju i spontani požari koji na određenim temperaturama, uz prisutnost organskih komponenti otpada i hlora (npr. iz PVC plastike), stvaraju dioksine i furane – dugotrajne organske polutante. Izloženost radnika deponijskom gasu može uzrokovati trovanje. Emisije metana iz deponija mogu se smanjiti ukoliko se izbjegava odlaganje organskih materija ili ako se proizvedeni metan sakuplja i koristi. Sakupljen gas se može ili spaliti, kako bi se uništio metan i organske zagađujuće materije, ili upotrijebiti kao gorivo.

Neugodni mirisi i zagađenje vazduha dovode do ozbiljnih sanitarnih problema i glavni su uzroci sindroma „ne u mom dvorištu” (engl. *not in my back yard* – *NIMBY*), jer imaju značajan uticaj na kvalitet života u okolini deponija. U materije koje u najvećoj mjeri zagađuju vazduh, a emituju se sa deponija, ubrajaju se: azotni

i sumporni oksidi, policiklični aromatični ugljovodonici (PAH), vodonik-sulfid, dioksini, furani, prašina, teški metali, ozon (formiran reakcijom NO_x i nemetanskih organskih jedinjenja uz pomoć sunčeve svjetlosti) i dr. Neugodni mirisi mogu da potiču iz brojnih izvora, uključujući: otpadne materijale koji su se značajno razgradili prije odlaganja, procjedne vode i sisteme za tretman procjednih voda, kao i deponijski gas. Ograničavanje organskog otpada koji ulazi na deponiju može osigurati manju emisiju gasova i čestica.

Štetni uticaji buke na lokalnu zajednicu mogu nastati iz više izvora, uključujući: vozila za transport otpada do deponije, kao i vozila koja se koriste na samoj lokaciji deponije (bageri, kompaktori).

Zdravstveni i sigurnosni rizik tiče se mogućeg širenja bolesti i infekcija zbog prisustva potencijalnih prenosnika zaraze (muve, glodari, ptice, i dr.), posebno kod stanovnika koji žive u blizini deponija.

Da bi se izbjegla velika narušavanja ekološke ravnoteže na lokaciji deponije neophodno je, pri projektovanju, izgradnji i zatvaranju deponije, predvidjeti mjere za sprečavanje opasnih pojava: provoditi brižljive proračune gradnje kojima se obezbijeduje statička postojanost deponovanog materijala, obezbijediti visoku trajnost vodonepropusne podloge, predvidjeti efektivan sistem drenaže i prečišćavanja procjednih voda, kontrolisan izlaz zapaljivih i eksplozivnih gasova. Svi navedeni negativni uticaji se mogu smanjiti ili eliminisati poštovanjem pravila sanitarnog deponovanja koja su navedena u narednim potpoglavljima.

10.2. KLASIFIKACIJA DEPONIJA

Prema Zakonu o upravljanju otpadom („Službeni glasnik Republike Srpske”, broj: 111/13, 106/15 i 70/20): „Deponija je mjesto za odlaganje otpada na površini ili ispod površine zemlje gdje se otpad odlaže, a to uključuje i interna mjesta za odlaganje (deponija gdje proizvođač odlaže sopstveni otpad na mjestu nastanka), stalna mjesta (više od godinu dana) koja se koriste za privremeno skladištenje otpada, osim transfer stanica i skladištenja otpada prije tretmana ili ponovnog iskorišćenja (period kraći od tri godine) ili skladištenja otpada prije odlaganja (period kraći od godinu dana)”.

Deponija predstavlja krajnje odredište nastalog čvrstog otpada, bez obzira da li se odlaže netretiran ili nakon neke vrste tretmana i iskorišćavanja otpada.

Prema Direktivi Evropske unije o deponijama otpada postoje tri kategorije deponija:

1) Deponije za odlaganje **opasnog otpada** na koje se odlaže otpad koji je prema Direktivi Evropske unije okarakterisan kao opasan. Pravilno konstruisane i vođene, ove deponije se nazivaju sigurne (bezbjedne, bezopasne) deponije.

2) Deponije za **neopasan otpad** na koje se odlaže:

a) Komunalni čvrsti otpad zaostao poslije separacije reciklabilnih materijala;

b) Neopasan otpad koji zadovoljava kriterijume za prijem i odlaganje na deponiju;

c) Stabilan nereaktivan opasan otpad koji se ne smije odlagati u ćelije određene za biorazgradivi bezopasan otpad.

3) Deponije za **inertan otpad** na koje se odlaže otpad koji nije opasan i koji nije podložan u većoj mjeri fizičkim, hemijskim i biološkim transformacijama.

U cilju smanjenja negativnih uticaja deponija na životnu sredinu, u novije vrijeme se primjenjuje odlaganje na specijalizovane deponije.

Specijalizovane deponije se projektuju i izrađuju da bi se dobila što veća količina gasa, a mogu biti:

1) Deponije sa maksimalnom produkcijom gasa – bioreaktor. U bioreaktorskim deponijama se tokom anaerobne razgradnje biorazgradivog čvrstog otpada dobija velika količina metana koji se koristi za dobijanje energije. Troškovi rada ovih deponija su 2–4 puta veći nego kod klasičnih deponija. Sreću se češće u zemljama izvan Evropske unije.

2) Deponije kao dio integralnog sistema upravljanja komunalnim čvrstim otpadom – organski biorazgradivi sastojci se odlažu u blizini deponije, a nakon biološke razgradnje materijal se koristi kao prekrivka.

Direktiva 99/31/EC o deponijama otpada zabranjuje takođe deponovanje na teritoriji EU pojedinih vrsta otpada: opasnog otpada, tečnog otpada, zapaljivog ili izuzetno zapaljivog otpada, eksplozivnog otpada, infektivnog medicinskog otpada, fekalnog otpada, starih guma, osim guma za bicikle i guma čiji je prečnik veći od 1.400 mm (zabrana je počela da važi i za deponovanje cijelih guma od 2002. godine, a za deponovanje komadne gume od 2006. godine), kao i drugih tipova otpada koji ne zadovoljavaju kriterijume postavljene u Aneksu II. Direktivom se

zabranjuje i deponovanje netretiranog otpada, odnosno propisuje se da sav otpad mora biti tretiran prije deponovanja, i zabranjuje se ilegalno odlaganje otpada.

Još stroži zahtjevi važe za deponije za inertan otpad koji ne bi trebalo da bude reaktivan i da proizvodi procjedne vode ili deponijski gas, u bilo kojoj značajnoj količini koja može dovesti do zagađenja životne sredine ili štetiti ljudskom zdravlju. Najveći izvor inertnog otpada je iz građevinske industrije i rušenja građevinskih objekata, tako da se inertni otpad uglavnom sastoji od: cigle, stakla, pločica, keramičkih materijala, betona, kamena, itd. Svojstva procjednih voda na inertnim deponijama ne bi trebalo da ugrozi kvalitet površinskih i podzemnih voda. Shodno tome: biološki, fizički i hemijski procesi koji se dešavaju na deponiji inertnog otpada, treba da budu zanemarivi (Direktiva o deponijama otpada, 1999).

10.3. METODE DEPONOVANJA

Osnovne metode za deponovanje čvrstog otpada su:

- 1) Površinski metod;
- 2) Metod rova (iskopavanje ćelije);
- 3) Metod kanjona ili depresije.

Površinski metod je prikladan za lokacije gdje je zemljište ravno, a nivo vode visok. Nasipi (obično visoki 2–3 m) se izgrađuju oko deponije da formiraju fizičku granicu i omogućе sabijanje otpada. Priprema mjesta za deponovanje uključuje izradu podloge i sistema za kontrolu procjednih voda. Na ograničenom dijelu lokacije otpad se razbacuje i sabija u tankim slojevima. Nekoliko slojeva može biti nabijeno jedan na drugi, a na kraju svakog dana, otpad se prekriva slojem zemlje kako bi se eliminisalo raznošenje smeća putem vjetra, smanjili neugodni mirisi i problemi s insektima ili glodarima. Pokrivni materijal se mora nabaviti i transportovati sa obližnjeg zemljišta ili iz pozajmišta, ako višak zemlje nije dostupan na gradilištu. Završni poklopac za završenu deponiju takođe može biti prekriven slojem zemlje koji može podržati rast vegetacije. S obzirom na to da se površinskim metodom ne iskopava zemlja, pokrivni materijal se obično mora dovući na gradilište sa neke druge lokacije. Konačan izgled deponije rezultira humkom ili brdom koji se uzdiže iznad prvobitnog zemljišta.

Metod rova (ćelije). Koristi se za područja gdje se potrebna količina materijala za prekrivku obezbijеduje iskopavanjem i gdje nivo podzemnih voda nije blizu površine. Otpad se odlaže u ćelije ili rovove koji su prethodno iskopani, a podloga je pripremljena za izgradnju postavljanjem nepropusne podloge i sistema za

sakupljanje procjedne vode. Kod ove metode se mora voditi računa o padavinama, jer se može desiti da se jarak ispuni vodom. Zato se po obodu jarka iskopavaju kanali i postavljaju cijevi za drenažu, da bi se prikupila i preusmjerila voda iz jarka. Otpad se razastire buldožerima i kompaktira, a na kraju dana prekriva materijalom iz iskopa na toj lokaciji.

Metod kanjona ili depresije. Prikladan je za područja gdje postoje prirodne ili vještačke depresije kao što su: prirodni kanjoni, jaruge, napušteni površinski kopovi, kamenolomi i slični tereni koji mogu poslužiti za lokaciju deponije. Osnovni faktori u projektovanju i radu deponija kod ove metode su: geometrija lokacije, količina i kvalitet raspoloživog materijala za pokrivanje, hidrološke i geološke karakteristike lokacije, način kontrole procjednih voda i gasova, te pristup lokaciji. Ove osobine određuju tehnike razastiranja i kompaktacije čvrstog otpada pri deponovanju. Kontrola površinskih voda je često najkritičniji faktor kod ove metode deponovanja. Obično punjenje počinje od najniže etaže, pa se etaže podižu po nivoima uspostavljenim u skladu s konfiguracijom terena. Kako bi se površina zaštitila od erozije, vrh i vanjsku kosinu treba zasadi travom kada se dostigne projektovana visina.

10.3.1. Bioreaktorska deponija

Kako bi se umanjio problem nusproizvoda sanitarne deponije, potrebno je kontinuirano razmatrati nove i inovativne načine upravljanja odlaganjem čvrstog otpada. Novi i obećavajući trend u upravljanju čvrstim otpadom je upravljanje deponijom kao bioreaktorom. Bioreaktorska deponija je sanitarna deponija koja koristi poboljšane mikrobiološke procese za transformaciju i stabilizaciju lako i umjereno razgradivih sastojaka organskog otpada, koji u ovom slučaju iznose od 5–10 godina od početka implementacije procesa bioreaktora. Bioreaktorske deponije su kontrolisani sistemi u kojima se dodavanjem vlage i/ili ubrizgavanjem vazduha poboljšava razgradnja biorazgradivog organskog otpada. Dodatna vlaga stimuliše mikrobnu aktivnost obezbijavajući bolji kontakt između nerastvorljivih supstrata, rastvorljivih hranljivih materija i mikroorganizama.

Bioreaktorske deponije se još nazivaju „recirkulacijskim“ deponijama zbog dodavanja vode putem recirkulacije procjednih voda. Recirkulacija podrazumijeva da se procjedne vode izvlače iz baze deponije i vraćaju u tijelo deponije putem mreže ugrađenih perforiranih cijevi (izbušenih, tj. sa rupicama) koje mogu biti postavljene horizontalno i vertikalno (Reinhart, 1996). Na taj način se postiže

optimalan proces razgradnje i skraćuje period razgradnje otpada, ali i dostižu više stope proizvodnje deponijskog gasa.

Dodavanje i kretanje vode su važni faktori koji utiču na biorazgradnju otpada, što rezultira povećanjem sadržaja vlage u otpadu i distribucijom hranljivih materija po deponiji. Optimalan nivo vlage je između 40% i 70%, na osnovu mokre težine.

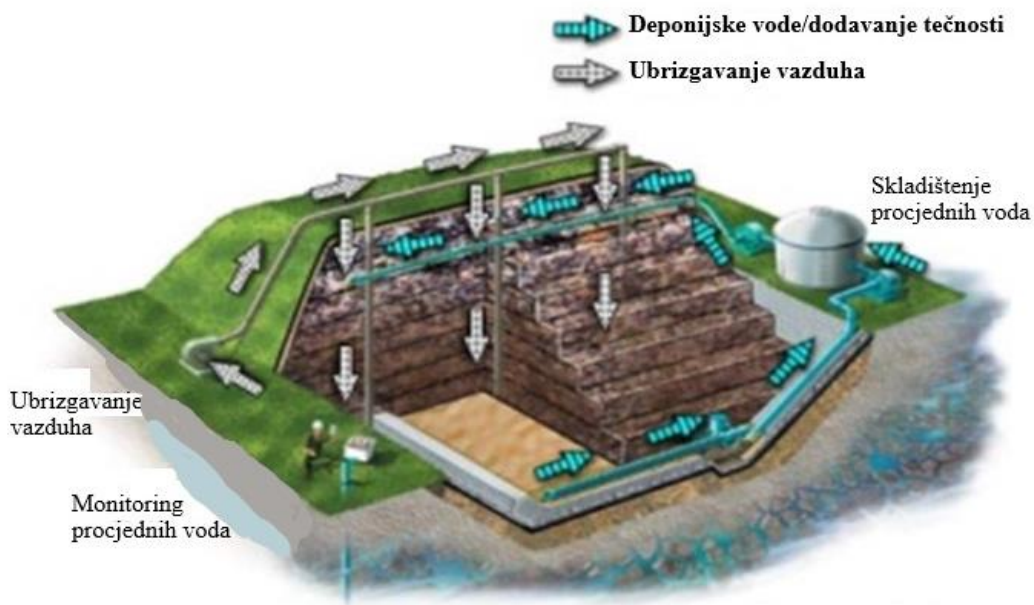
Sve sanitarne deponije mogu biti dizajnirane na način da od samog početka funkcionišu kao bioreaktor, ali se i naknadno mogu pokrenuti bioreaktorske ili recirkulacione operacije na već postojećim konvencionalnim deponijama.

10.3.1.1. Tipovi bioreaktorskih deponija

Postoje tri tipa bioreaktora: aerobni, anaerobni i hibridni. Sva tri mehanizma imaju za cilj ubrzavanje mikrobiološke razgradnje organskog otpada na deponiji.

Aerobne bioreaktorske deponije funkcionišu na principu dodavanja vazduha na deponije (pomoću vertikalnog ili horizontalnog sistema). Procjedne vode se uklanjaju sa donjeg sloja deponije i dovode u rezervoar za skladištenje tečnosti. Iz rezervoara, procjedna voda se vodi preko gornjeg sloja, gdje se pušta da se filtrira kroz deponiju da bi se ponovo prikupila. Duvaljka ubacuje vazduh u otpadnu masu kroz vertikalne ili horizontalne bunare koji se nalaze u gornjem sloju deponije (slika 10.1). Tokom aerobne degradacije komunalnog otpada, biorazgradivi materijali se uglavnom pretvaraju u ugljen-dioksid i vodu. Na taj način nastaje mnogo manje metana (samo u anaerobnim džepovima), što se može posmatrati kao prednost ili nedostatak, u zavisnosti od toga da li je prikupljanje metana i korišćenje kao izvora energije poželjno i potrebno. Metan je moćan gas staklene bašte i zato, ako se ne može efikasno kontrolisati i sakupljati na anaerobnim deponijama, njegova proizvodnja može biti lokalni problem sa aspekta zaštite životne sredine. Prijavljene **prednosti** rada aerobne bioreaktorske deponije, u odnosu na anaerobnu, uključuju: povećano slijeganje, smanjenu pokretljivost metala, smanjenu potrebu za tretmanom procjednih voda *ex situ*, niže troškove upravljanja procjednim vodama i kontrolu metana. Mirisi koji se često povezuju sa anaerobnim sistemima, kao što su vodonik sulfid i isparljive kiseline, manje su prisutni na deponijama aerobnih bioreaktora. Aerobno razlaganje sredine je ubrzano i količina isparljivih organskih jedinjenja (VOC), toksičnost procjednih voda i metana su smanjeni (Murphyb, 1992).

Aerobne bioreaktorske deponije



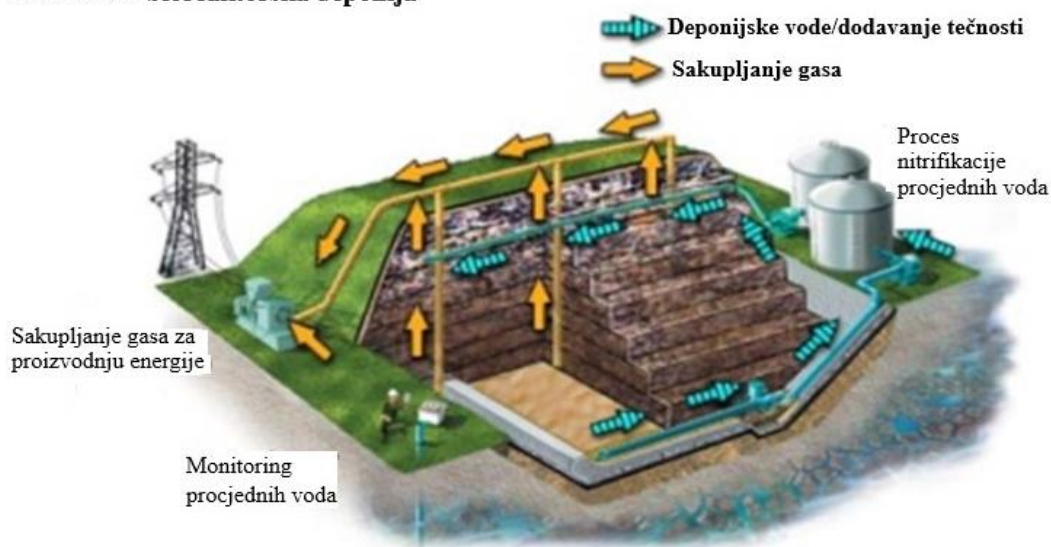
Slika 10.1. Aerobna bioreaktorska deponija (prema Waste Management, 2004)

Anaerobne bioreaktorske deponije su one u kojima se praktikuje samo dodavanje vlage. Izvori dodavanja tečnosti mogu uključivati: podzemne vode, atmosferske vode, infiltrirajuće padavine ili procjedne vode. Sama procjedna voda obično nije dostupna u dovoljnoj količini za održavanje procesa u bioreaktoru, pa je potrebno unositi dodatnu količinu vode u tijelo deponije. U anaerobnim bioreaktorima sa procjednim vodama koje cirkulišu, deponija proizvodi metan mnogo brže od tradicionalnih deponija. Visoka koncentracija i količina metana omogućava da se deponija efikasnije koristi u komercijalne svrhe, dok istovremeno skraćuje vremenski period u kojem je potrebno obezbijediti monitoring proizvodnje metana. Vremenski period za proizvodnju 99% metana može se smanjiti za skoro 14 puta u odnosu na konvencionalne deponije (Berge, 2005), ali ograničena proizvodnja metana može se nastaviti tokom dužeg vremena zbog vlaženja prethodno nedostignutih suvih područja. Na deponijama sa anaerobnim bioreaktorima, amonijačni azot⁵¹ prisutan u procjednim vodama se neprekidno vraća na deponiju, gdje ne postoji način razgradnje amonijaka u anaerobnim sredinama. Dakle, iako je na bioreaktorskim deponijama vrijednost organskog

⁵¹ Amonijačni azot ($\text{NH}_3\text{-N}$) je mjera za količinu amonijaka, toksičnog polutanta koji se često nalazi u procjednoj vodi sa deponije i u otpadnim proizvodima, kao što su: kanalizacija, tečno đubrivo i drugi tečni organski otpadni proizvodi.

zagađenja u procjednim vodama značajno smanjena, amonijak ostaje problem. Iz tog razloga se u posljednje vrijeme na anaerobnim bioreaktorskim deponijama grade postrojenja za biološki tretman procjednih voda *in situ*. Postrojenje koristi fakultativne anaerobne bakterije⁵² za nitrifikaciju procjednog amonijaka u nitrat. Tretirane procjedne vode i druge tečnosti se zatim ponovo ubrizgavaju na deponiju. Gas koji nastaje usljed raspadanja otpada diže se kroz deponiju, sakuplja se cijevima unutar otpada i na vrhu deponije. Sakupljeni deponijski gas se koristi za proizvodnju energije. Monitoring podzemnih voda vrši se na monitoring bunarima koji se nalaze oko deponije (slika 10.2).

Anaerobna bioreaktorska deponija



Slika 10.2. Anaerobna bioreaktorska deponija (prema Waste Management, 2004)

Prednost anaerobnog rada bioreaktora u poređenju sa drugim tipovima bioreaktorskih deponija je što se ne dodaje vazduh. Stoga su operativni troškovi manji, a metan se može sakupiti i ponovo koristiti.

Hibridni bioreaktori su još uvijek u ranoj fazi razvoja. Hibridne bioreaktorske deponije uključuju kombinaciju i aerobnih i anaerobnih uslova. Istražena su dva tipa ovih aerobnih/anaerobnih sistema: kratkotrajni ciklus ubrizgavanja vazduha u deponiju i izmjena aerobnih i anaerobnih uslova. Korišćenje jedne od ovih hibridnih tehnika može omogućiti potpuniji tretman procjednih voda i/ili otpada.

⁵² **Fakultativne anaerobne** bakterijesu bakterije sposobne da žive i u prisustvu i u odsustvu kiseonika.

Druge tehnike podvrgavaju gornje dijelove deponije kroz aerobno-anaerobne cikluse kako bi povećali brzinu razlaganja, dok se metan proizvodi u donjim dijelovima deponije (Hinkley Center, 2006).

10.3.1.2. Prednosti bioreaktorske deponije

Njen koncept se vidi kao način da se značajno poveća stepen razgradnje otpada, brzina konverzije i efikasnost procesa u odnosu na standardne sanitarne deponije.

Osnovne prednosti bioreaktorske deponije su:

- 1) Brza konverzija/stabilizacija organskog otpada.
- 2) Brzo slijeganje povećava kapacitet deponije – zapremina se smanjuje i stabilizuje u roku od 5 do 10 godina od početka implementacije procesa bioreaktora.
- 3) Maksimiziranje sakupljanja deponijskog gasa – gotovo svi brzo i umjereno razgradivi organski sastojci će se razgraditi u roku od 5 do 10 godina.
- 4) Smanjenje gasova sa efektom staklene bašte zbog smanjenih emisija.
- 5) Recirkulacija procjednih voda može smanjiti troškove tretmana procjednih voda.
- 6) Rano korišćenje zemljišta moguće nakon zatvaranja.

Generalno, bioreaktorske deponije prolaze kroz iste procese degradacije kao i konvencionalne deponije, samo brže i u većoj mjeri zbog optimizacije uslova in situ. U poređenju sa konvencionalnim deponijama, bioreaktorske deponije su pokazale brži i potpuniji proces konverzije i stabilizacije otpada.

Kako se procjedna voda recirkuliše, ona se tretira in situ i filtrira do određenog nivoa, smanjujući koncentraciju organske materije (tj. hemijsku i biohemijsku potrebu za kiseonikom za skoro 50%) i sadržaj teških metala, čime je smanjen uticaj na životnu sredinu (Reinhart & Basel Al-Yousfi, 1996). Bioreaktorske deponije zahtijevaju manje vremena i energije za tretman procjednih voda, čineći proces efikasnijim (Hinkley Center, 2006). Posljedično, in situ tretman potencijalno smanjuje dužinu perioda praćenja nakon zatvaranja i povezane troškove. Međutim, kao što je već pomenuto, amonijak u procjednim vodama može da predstavlja problem zbog nemogućnosti razgradnje amonijaka u anaerobnim sredinama.

Pored toga, bioreaktorske deponije stimulišu proizvodnju gasa na način da većina metana se proizvodi tokom vijeka trajanja deponije, što omogućava efikasnije sakupljanje i korisnu upotrebu. Bioreaktorske deponije proizvode manje količine

isparljivih organskih jedinjenja (VOC) od tradicionalnih deponija, ali veće količine H₂S.

Kako razlaganje napreduje, masa biorazgradivih komponenti na deponiji se smanjuje, stvarajući više prostora za odlaganje. Očekuje se da će bioreaktorske deponije povećati ovu stopu razlaganja i uštediti do 30% prostora potrebnog za deponije. Sa sve većim količinama čvrstog otpada koji se proizvodi svake godine i nedostatkom prostora na deponiji, bioreaktorska deponija može da pruži značajan način za uštedu prostora na deponiji.

Većina sanitarnih deponija se nadgleda najmanje 3–4 decenije kako bi se osiguralo da procjedna voda ili deponijski gasovi ne izlaze u sredinu koja okružuje lokaciju deponije. Nasuprot tome, očekuje se da će se bioreaktorska deponija razgraditi do nivoa koji ne zahtijeva monitoring više od jedne decenije. Dakle, zemljište deponije nekon tog perioda se može koristiti u druge svrhe kao što su pošumljavanje ili parkovi i sl., u zavisnosti od karakteristika lokacije u ranijem periodu (Townsend et al., 2015).

10.3.1.3. Nedostaci bioreaktorskih deponija

Bioreaktorske deponije su relativno nova tehnologija. Za bioreaktorske deponije početni troškovi monitoringa su veći kako bi se osiguralo da sve pravilno kontroliše. Ovo uključuje monitoring gasova, mirisa i procjednih voda. Povećani sadržaj vlage u bioreaktorskoj deponiji može smanjiti strukturnu stabilnost deponije povećanjem pritiska vode u porama unutar mase otpada (Townsend et al., 2015). Pošto je cilj bioreaktorskih deponija održavanje visokog sadržaja vlage, sistemi za sakupljanje gasa mogu biti pogođeni zbog povećane produkcije gasa do koje dolazi usljed povećane vlažnosti otpada.

Uprkos potencijalnim prednostima bioreaktorskih deponija, ne postoje standardizovani i odobreni projekti sa smjernicama i operativnim procedurama. Bioreaktorske deponije kao nova tehnologija su još uvek u fazi razvoja. U SAD-u je implementiran niz bioreaktorskih i recirkulacijskih deponija (Reinhart & Townsend, 2018), zbog većeg prepoznavanja potencijalnih prednosti bioreaktorskih deponija, kao i sve češćeg regulatornog prihvatanja.

Dodatni izazov primjene bioreaktorskih deponija je već pomenuta koncentracija amonijaka i azota koja se nalazi u procjednoj vodi. Koncentracije amonijačnog azota imaju tendenciju da rastu iznad koncentracija koje se nalaze u procjednim vodama sa konvencionalnih deponija, jer recirkulišuće procjedne vode povećavaju stopu amonifikacije i rezultiraju akumulacijom viših nivoa koncentracija

amonijačnog azota, čak i nakon što se organska frakcija otpada stabilizuje. Povećane koncentracije amonijaka i azota pojačavaju toksičnost procjedne vode za vodene organizme. Kako sve više deponija prebacuje rad na bioreaktore, više pažnje se mora posvetiti tome kako rad deponije kao bioreaktora može uticati na sudbinu azota (Berge et al., 2005).

Bioreaktorska deponija zahtijeva određene specifične aktivnosti upravljanja i operativne modifikacije kako bi se poboljšali procesi mikrobne razgradnje. Najvažnija i najisplativija metoda je dodavanje i upravljanje tečnostima. Druge strategije za optimizaciju procesa bioreaktora uključuju: usitnjavanje otpada, podešavanje pH, dodavanje nutrijenata, kondicioniranje otpada prije odlaganja i nakon odlaganja, te upravljanje temperaturom.

10.4. PROCESI NA DEPONIJAMA

Deponije se mogu smatrati aktivnim postrojenjima za tretman otpada, gdje biohemijski procesi djeluju i razgrađuju deponovani čvrsti otpad izazivajući slijeganje terena i stvaranje deponijskih gasova i procjednih voda. Na svakoj deponiji se odvija niz međusobno povezanih fizičkih, hemijskih i bioloških procesa koji utiču na razgradnju otpada. U fizičke promjene spada slijeganje otpada i sorpcije različitih materijala. Slijeganje otpada je uzrokovano procesima razgradnje, ali i sabijanjem (kompakcijom) otpada uz pomoć opreme na deponiji, tzv. kompaktora. Ove fizičke promjene možemo nazvati i „geotehničke” pojave na deponiji. Hemijska razgradnja uključuje hemijske reakcije kao što su: adsorpcija, desorpcija i rastvaranje. Biološka razgradnja ili biodegradacija obuhvata degradaciju organskih i neorganskih supstanci pod dejstvom živih organizama kao što su: bakterije, alge ili gljive. Proces biodegradacije su veoma važni jer na taj način degradiraju mnoge opasne organske supstance. Biodegradacija predstavlja organsko raspadanje ili truljenje, a suština procesa je degradacija: složenih ugljenih hidrata, bjelančevina, masti, biopolimera ili vještačkih organskih proizvoda podložnih degradaciji do prostih organskih kiselina, ugljen-dioksida i metana. Inače, biološka razgradnja organske supstance odvija se u aerobnim (u površinskom sloju deponije) i anaerobnim uslovima (u dubljim dijelovima deponije). U oba slučaja, organski otpad se razlaže enzimima koje proizvode bakterije na način koji je uporediv sa varenjem hrane.

Komunalni otpad sadrži visok udio organskog biorazgradivog materijala koji se može podijeliti na lako biorazgradivu frakciju (hrana i vrtni otpad) i umjereno biorazgradivu frakciju (papir, karton, tekstil i drvo). Udio biorazgradivog otpada je

procijenjen na više od 66% od ukupnog komunalnog otpada za niz zemalja širom Evrope (*Evropska agencija za životnu sredinu*, 2002).

Najveći dio neorganskog materijala u deponijama, posebno teški metali i opasni elementi, nalaze se u čvrstoj fazi koja je nastala na razne načine, a najčešće tokom nekog industrijskog procesa. Kada ovaj materijal dospije na deponiju on postaje nestabilan i počinje da se razlaže – degradira, tj. korodira i transformiše. Razlaganjem ovih materijala, tokom složenih i heterogenih procesa koji se odvijaju u deponijama, oslobađa se niz opasnih i štetnih supstanci, kao što su teški metali i druge supstance (Veselinović i dr., 1995).

Ukupan rezultat biološke razgradnje komunalnog otpada u tijelu deponije je mineralizacija organske supstance i nastanak emisije različitih zagađujućih materija, i to:

- 1) Deponijski gasovi (metan, vodonik, ugljen-dioksid, vodonik-sulfid);
- 2) Procjedna (deponijska) voda (tamnosmeđi filtrat koji ima povećan sadržaj: nitrata, hlorida, sulfata i teških metala);
- 3) Neprijatni mirisi (merkaptani);
- 4) Emisija čestica prašine.

Deponija otpada funkcioniše kao mikrobiološki i hemijski reaktor, a do potpune stabilizacije odloženog materijala dolazi tek nakon dugog vremenskog perioda (i do nekoliko decenija). Proces razgradnje otpada odloženog na deponiji prvo podliježe aerobnoj razgradnji, zatim hidrolizi i fermentaciji, acetogenezi, metanogenezi, te oksidaciji. Produkti svake faze predstavljaju reaktante sljedeće faze te rezultiraju stvaranjem deponijskog gasa i procjedne vode.

10.4.1. Faze razgradnje otpada

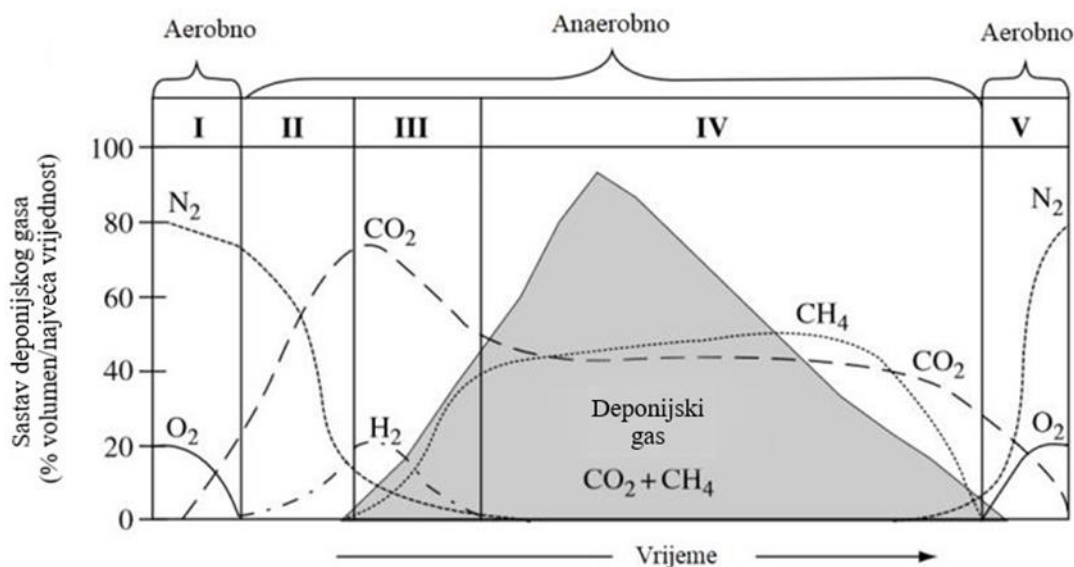
Biološki procesi koji se dešavaju na deponiji mogu se podijeliti na **faze**. Svaka faza se razlikuje na osnovu fizičko-hemijskog sastava procjednih voda, kao i količine i kvaliteta biogasa. Brojne studije o istraživanju procesa na deponiji utvrdile su da se stabilizacija otpada odvija u pet uzastopnih i odvojenih faza. Tokom ovih faza, brzina nastanka i karakteristike procjedne (deponijske) vode i gasa koji se stvara na deponiji su različite i odražavaju mikrobiološke procese koji se odvijaju unutar deponije. Biološka razgradnja otpada zavisi od uslova pri kojima se odvija.

Faza I – aerobna. Povezana je sa početnim odlaganjem čvrstog otpada i akumulacijom vlage unutar deponija. Biološka razgradnja se odvija u aerobnim uslovima pri čemu se kidaju dugi molekularni lanci kompleksnih jedinjenja koja

sačinjavaju organski otpad: ugljeni hidrati, proteini i masti. Prva faza može trajati danima ili mjesecima u zavisnosti od raspoloživog kiseonika. Razgradnjom organske materije nastaju: jednostavniji ugljovodonici, ugljen-dioksid (CO₂), voda (H₂O), toplota, te razgrađeni otpad. Oslobođena toplota povećava temperaturu tijela deponije, a ona može dostići od 70 °C do 90 °C (Williams, 2005). Razgradnjom otpada dolazi do potrošnje kiseonika kada aerobni uslovi postepeno prelaze u anaerobne, pri čemu se mijenja i pH. Ugljen-dioksid se oslobađa kao gas ili se apsorbuje u vodi da bi se formirala ugljena kiselina, koja daje kiselost procjednoj vodi. U ovoj fazi nastaju male količine filtrata koje sadrže otopljene soli i male količine rastvorljive organske materije.

Faza II – anaerobna, nemetanska faza. Traje okvirno nekoliko mjeseci, a počinje nakon potrošnje prisutnog kiseonika. U ovoj fazi su aktivni mikroorganizmi koji mogu tolerisati smanjene uslove kiseonika, a razlaganje organskih materija postepeno postaje anaeroban proces. Ti organizmi hidrolizom pretvaraju: ugljenohidrate, proteine i lipide, nastale u prethodnoj fazi, u šećere koji se daljnjim procesom razgrađuju na: ugljen-dioksid, vodonik, amonijak, organske kiseline i alkohole. Kiselo okruženje je toksično za bakterije koje proizvode metan i proizvodnja metana se ne odvija. Temperatura unutar tijela deponije pada na 30 °C do 50 °C, a koncentracija gasova može narasti na nivo od 80% CO₂ i 20% H₂ (Williams, 2005).

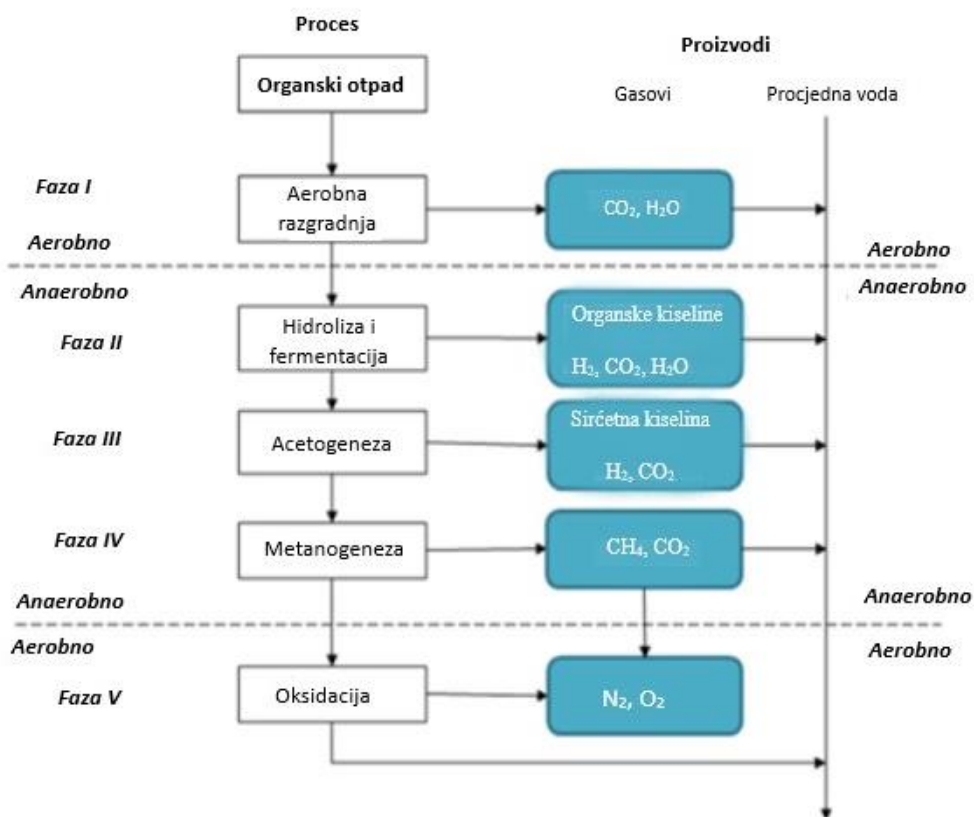
Faza III – anaerobna, nestabilna, metanska faza. Počinje kada određene vrste anaerobnih bakterija (acetogeni mikroorganizmi) konzumiraju organske kiseline proizvedene u fazi II i počnu da formiraju acetate (sirćetnu kiselinu). Ova faza traje od nekoliko mjeseci do godinu dana. U ovoj fazi počinju djelovati bakterije koje stvaraju metan, ali je ugljen-dioksid i dalje osnovni gas koji nastaje tokom treće faze, uz manje količine vodonika. Koncentracija metana varira, pa se ova faza označava kao nestabilna metanska produkcija. Faza III se naziva i „**acetogena**“ zbog nastanka izrazito velikih količina kiselina i povišene koncentracije CO₂. Mikroorganizmi, koji za svoj rast i razvoj koriste CO₂ i N₂ (čija koncentracija u ovoj fazi izrazito pada) (slika 10.3.), direktno razgrađuju ugljenohidrate u sirćetnu kiselinu u prisustvu ugljen-dioksida i vodonika.



Slika 10.3. Sastav deponijskog gasa kroz faze procesa raspadanja otpada (prema Williams, 2005)

Faza IV – anaerobna stabilna metanska faza. Traje godinama, a počinje kada sastav i produkcija deponijskog gasa postanu relativno konstantni. U ovoj fazi sirćetna kiselina, pod uticajem metanskih bakterija, prelazi u deponijski gas, koji se u najvećem dijelu sastoji od metana (CH₄) i ugljen-dioksida (CO₂). Faza metanogeneze je glavna faza proizvodnje deponijskog gasa koji sadrži približno 60% metana i 40% ugljen-dioksida. Temperatura u tijelu deponije u ovoj fazi se kreće između 30 °C i 65 °C. Postoje dvije klase mikroorganizama koje su aktivne u metanogenoj fazi: mezofilne bakterije koje su aktivne u temperaturnom opsegu 30–35 °C i termofilne bakterije aktivne u opsegu 45–65 °C. Faza IV je najduža faza razgradnje otpada, a počinje između 6 mjeseci i 2 godine nakon što se otpad odloži i traje od 15 do 30 godina, u zavisnosti od otpada i karakteristika lokacije. Međutim, niski nivoi deponijskog gasa mogu se generisati i do 100 godina nakon postavljanja otpada. Nakon zatvaranja deponije proizvodnja deponijskog gasa se smanjuje po eksponencijalnoj krivoj, tako da se svakih 5–8 godina proizvodnja smanji na polovinu (Milanović, 1992). Organske kiseline nastale tokom faza II i III razgrađuju se od strane metanogenih mikroorganizama, a kako se koncentracija kiseline smanjuje, pH se povećava na oko pH 7–8, te se smanjuje agresivnost filtrata. Pri kraju faze dolazi do smanjenja pritiska gasa unutar tijela deponije što omogućuje prodor atmosferskog vazduha u deponiju i ponovno uspostavljanje aerobnih uslova (Pawlowska, 2019).

Faza V je završna faza razgradnje otpada i povratak u aerobne uslove. Nakon što je potrošena sva kiselina pri proizvodnji metana (CH_4) i ugljen-dioksida (CO_2) i nakon što su ponovno uspostavljeni aerobni uslovi nastupa proces oksidacije, odnosno dolazi do stabilizacije otpada, što može trajati dugi niz godina. Dio biorazgradivog materijala koji nije bio dostupan ranije u ovoj fazi biva razgrađen, zbog vlage koja nastavlja da migrira kroz otpad. Brzina nastajanja gasa je znatno smanjena, jer su brojni nutrijenti napustili deponiju sa procjedinim vodama, a supstrat koji je zaostao je slabo razgradiv. U ovoj fazi se kod nekih deponija u gornjim slojevima mogu pojaviti aerobne zone, kao i male količine azota i kiseonika u gasu, što zavisi od preduzetih mjera prilikom zatvaranja deponije (Ristić i Vuković, 2006).



Slika 10.4. Šematski prikaz faza razgradnje glavnih organskih i neorganskih komponenti biorazgradivog otpada u deponiji otpada (prema Williams, 2005)

10.5. DEPONIJSKI GAS

10.5.1. Faktori koji utiču na formiranje deponijskih gasova

Kvalitet i kvantitet deponijskog gasa prvenstveno zavise od sastava i starosti otpada, a zatim ostalih faktora kao što su: prisustvo i količina kiseonika u deponiji, sadržaj vlage, kiselost, meteorološki parametri (temperatura, padavine, atmosferski pritisak i vlažnost vazduha) i praksa upravljanja deponijom (stepen sabijanja i debljina prekrivenog sloja).

Sastav otpada

Najveći dio deponijskog gasa se formira bakterijskom razgradnjom organskog otpada, tako da količina generisanog gasa zavisi od količine organskog otpada u deponiji. Prema tome, sastav otpada određuje stepen biološke aktivnosti u otpadu. Određene vrste organskog otpada sadrže velike količine hranljivih sastojaka za bakterije (natrijum, kalijum, kalcijum i magnezijum) što prouzrokuje veću aktivnost bakterija, a samim tim i veću količinu proizvedenog gasa. Komponente otpada koje sadrže značajne biorazgradive frakcije su: hrana, baštenski otpad, tekstil, papir i proizvodi od kartona. Određene vrste otpada sadrže jedinjenja koja negativno utiču na aktivnost bakterija, uzrokujući smanjenje generisanja gasa. Toksična ili inhibitorna jedinjenja mogu se stvarati i tokom razgradnje otpadnih materijala. Prisustvo soli u visokim koncentracijama štetno djeluje na bakterije koje proizvode metan.

Starost otpada

Deponije obično proizvode značajne količine gasa između jedne i tri godine. Maksimumi generisanja gasa su u periodu od pet do sedam godina, nakon što je otpad odložen na deponiju. Dugogodišnja posmatranja su pokazala da se gas intenzivno razvija oko 10 godina, a zatim emisija gasa opada i može se reći da se svi degradacioni procesi organskih supstanci završavaju nakon 30 godina, a rjeđe nakon 100 godina u područjima sa hladnom klimom. U područjima sa toplijom klimom nastajanje deponijskog gasa je minimalno 20 godina nakon deponovanja, dok se manje količine gasa mogu emitovati i poslije 50 godina. Različiti dijelovi deponije mogu biti u različitim fazama razlaganja otpada, što zavisi od starosti otpada.

Vlažnost

Sadržaj vlage unutar deponije zavisiće od: početnog sadržaja vlage u otpadu, nivoa padavina u tom području, prodora površinskih i podzemnih voda na lokaciji. S

obzirom da je dio vode proizvod razgradnje otpada, sadržaj vlage u tijelu deponije zavisi i od brzine biorazgradnje otpada. U svakoj deponiji se odvija degradacija otpadnih materija u prisustvu vode i vazduha, pri čemu se stvaraju nove organske ili neorganske supstance koje se često oslobađaju iz deponija u obliku deponijskih voda (filtrata). Dostupnost vlage potiče mikrobnu degradaciju na dva načina. Prvo, olakšava kretanje nutrijenata i mikroba kroz čvrsti otpad i, drugo, ispira rastvorljive zagađujuće materije i proizvode razgradnje. Količina vodenog taloga, koji dospije na deponiju u obliku kiše ili snijega, direktno utiče na kinetiku reakcija. U slučaju jakih padavina proizvodnja gasa je veća i/ili ako su prisutni propusni pokrivni slojevi koji omogućavaju dovod dodatnih količina vode u deponiju. Vještački izazvano ispiranje procjednom vodom (recirkulacija) povećava stopu razgradnje i transport hranljivih materija za mikroorganizme, a time i stopu proizvodnje gasa, ali i proizvodnja procjednih voda će se takođe povećati. Pored toga, prisustvo određene količine vode u deponovanom otpadu takođe povećava produkciju gasa, jer vlaga podstiče rast bakterija i transport hranljivih sastojaka do svih dijelova deponije. Obim sadržaja vlage za tipični čvrsti komunalni otpad kreće se od 15% do 40% sa tipičnom prosječnom vrijednošću od 30%. Sadržaj vlage od 40% i više dovodi do maksimalne produkcije gasa. Pri energetskom iskorišćavanju biogasa procjedna voda se recirkuliše (vraća u tijelo deponije) da bi se održao optimalni nivo vlage i ubrzala biološka razgradnja. S druge strane, kompaktnost otpada utiče na smanjenje produkcije gasa, jer je u tim uslovima povećana gustina deponije i smanjena infiltracija vode u sve slojeve otpada.

Kiseonik u deponiji

Aerobna degradacija otpada je prisutna u svježim slojevima otpada ili kada se otpad miješa prilikom manipulacije na tijelu deponije. U takvoj zoni se materijal razgrađuje pod uticajem aerobnih mikroorganizama. Ukoliko je dostupna dovoljna količina kiseonika, značajan dio polaznog biorazgradivog materijala se razloži do kraja u aerobnoj zoni. Kada se sav kiseonik potroši, počinje produkcija metana. Vrijeme trajanja aerobnog procesa zavisi od: količine zarobljenog kiseonika u porama tijela deponije kao i u samom otpadu, od stepena zbijenosti otpada, te od brzine prekrivanja otpada dnevnim prekrivnim slojem. Ako je otpad sabijen (kompaktiran) biće manje raspoloživog kiseonika i proizvodnja metana će početi ranije, odnosno čim anaerobne bakterije zamijene aerobne bakterije. Anaerobne bakterije postaju dominantne, samo kada aerobne bakterije potroše kiseonik, tako da bi bilo kakvo prisustvo kiseonika u deponiji dovelo do usporavanja produkcije metana. Promjene atmosferskog pritiska mogu takođe da utiču da se kiseonik iz

okoline nađe u deponiji i ta mogućnost postoji kod slojeva na manjim dubinama u kojima tada dolazi do aerobne faze razgradnje otpada (Vujić i dr., 2010).

Meteorološki parametri

Meteorološki parametri imaju veliki uticaj na: stvaranje, sastav i migraciju deponijskog gasa u tijelo deponije. Smanjenje atmosferskog pritiska povezano je sa povećanom emisijom deponijskog gasa, a samim tim i metana sa deponija. Padavine, snježni pokrivač i ledeni pokrivači na površini deponije mogu značajno uticati na emisiju i sastav deponijskog gasa. Međutim, povećana količina padavina može dovesti do pojačanog stvaranja CH₄. Sezonske promjene takođe utiču na proizvodnju gasa sa deponije.

Temperatura

Promjene temperature vazduha imaju značajan uticaj na površinski sloj deponije, dok su u dubljim dijelovima deponije bakterije izolovane u odnosu na temperaturu spoljne sredine. Povećana temperatura ima za posljedicu povećanje produkcije gasa. Sa druge strane, niske temperature inhibiraju bakterijsku aktivnost, tako da bakterijska aktivnost drastično pada ispod 10° C. Obim temperature u tijelu deponije ukazuje na vrstu mikroorganizama koji su aktivni. U početku aerobne bakterije mogu povećati temperaturu do nivoa od 80 °C, dok sabijeni otpad postiže niže temperature zbog manje dostupnosti kiseonika. Kako su aerobni uslovi zamijenjeni anaerobnim uslovima u fazama II–IV, a aerobni mikroorganizmi su zamijenjeni anaerobnim mikroorganizmima, temperatura pada na nivo između 30 °C do 50 °C (Williams, 2005). Chaiampo i saradnici (1996) su pratili promjene temperature sa dubinom na 20 m dubokoj deponiji čvrstog komunalnog otpada u Italiji. Pokazali su da je prvih 1–2 m dubine temperatura bila u obimu od 10° C do 15 °C, ali je temperatura porasla na 35 °C do 40 °C na dubini od 3–5 m i na 45 °C do 65 °C na 5–20 m dubine. Više temperature stvaraju povoljne uslove za volatilizaciju (isparavanje) i hemijske reakcije. Kao opšte pravilo se može uzeti da se emisije nemetanskih ugljovodonika (NMHC) udvostruče sa svakim porastom temperature od 18 °C. Optimalne temperature za proizvodnju gasa su u rasponu od 30 °C do 35 °C, međutim, temperature deponije su često niže od ove (Farquer and Rovers, 1973).

Kiselost (pH vrijednost)

Vrijednost pH predstavlja ključni faktor sa aspekta odvijanja procesa degradacije otpada na deponijama, ali i pri kontroli kvaliteta procjednih voda sa deponija. Kiselost lokacije deponije utiče na aktivnost različitih mikroorganizama i stoga određuje brzinu biorazgradnje. A pH vrijednost tipične deponije je u početku

neutralna, a zatim slijede kisele faze, faze II i III, gdje se organske kiseline proizvode razgradnjom otpada od strane acetogenih mikroorganizama, kada pH pada na samo 4. Formirane organske kiseline obezbijavaju hranljive materije za metanogene bakterije i kako se kiseline troše, pH raste na oko pH 7–8 tokom faze metanogeneze. Metanogene bakterije su najaktivnije u pH opsegu 6,8–7,5 i, ako pH poraste ili padne izvan ovog optimalnog opsega, proizvodnja gasa je značajno smanjena (Williams, 2005).

Praksa upravljanja deponijom

Pored navedenih faktora, produkcija deponijskog gasa zavisi i od debljine i gustine odloženog otpada, kao i od prekrivanja slojeva otpada inertnim materijalima. Brzo pokrivanje otpada će smanjiti aerobnu fazu zbog manje dostupnog kiseonika. Pliće lokacije omogućavaju izmjenu vazduha i nižu anaerobnu aktivnost, a samim tim i manju proizvodnju deponijskog gasa.

Usitnjavanje otpada prije odlaganja rezultira povećanom homogenošću i većom stopom biološke degradacije. Previsok stepen zbijenosti, međutim, može ograničiti curenje vode kroz lokaciju, što je neophodno za slobodan protok hranljivih materija za mikroorganizme. Povećanje gustine otpada se postiže postupkom kompaktiranja na deponiji čime se smanjuje zapremina otpada, ali i dostupnost vlage u nekim dijelovima otpada, što dalje utiče na smanjenu stopu biološke razgradnje i produkcije gasa.

10.5.2. Sastav i karakteristike deponijskih gasova

S obzirom da se gas metan može koristiti kao zeleni izvor energije, kao što se praktikuje u većini razvijenih zemalja, važno je razumjeti: karakteristike, pravilnosti i mehanizme deponija velikih razmjera u proizvodnji električne energije. Najveći dio deponijskog gasa se proizvodi bakterijskom razgradnjom, koja nastaje kada se organski otpad razlaže bakterijama koje su prirodno prisutne u otpadu i zemljištu. Biorazgradivi komunalni otpad, kao što su: papir, otpad iz dvorišta i otpad od hrane, razlaže se na deponijama kroz različite biohemijske procese. Celuloza i hemiceluloza su glavne komponente biorazgradivog komunalnog otpada koje proizvode metan i ugljen-dioksid u anaerobnim uslovima (tj. bez kiseonika). Proizvodnja deponijskog gasa počinje u roku od nekoliko mjeseci nakon odlaganja otpada i uglavnom traje oko deset godina ili više, u zavisnosti od sastava otpada i dostupnosti vlage. Deponijski gas koji sadrži oko 45–55% metana može se ubaciti u mrežu cijevi za prikupljanje gasa i koristiti kao izvor energije. S druge strane, nekontrolisanim ispuštanjem deponijskog gasa

povećava se emisija gasova sa efektom staklene bašte koji negativno utiču na životnu sredinu.

Deponijski gas je mješavina nekoliko gasova čiji su glavni sastojci: metan i ugljen-dioksid, a u manjim količinama se mogu naći: ugljen-monoksid, azot, amonijak, vodonik-sulfid, hlor, fluor i dr. Hemijska jedinjenja koja se mogu naći u deponijskom gasu su veoma brojna, a uočeni su: alkani, aromatična jedinjenja, cikloalkani, terpeni, alkoholi i ketoni, halogenovana jedinjenja, jedinjenja sumpora i druga jedinjenja (Allen et al. 1997). Uočene varijacije u sastavu deponijskog gasa u velikoj mjeri su pripisane razlikama u sastavu otpada i stepenu dostignutog procesa razlaganja na svakoj od lokacija. Promjena sastava deponijskog gasa u zavisnosti od faza razgradnje otpada je prikazana na slici 10.3.

Tabela 10.1. Sastav deponijskog gasa (Tchobanoglous & Kreith, 2002; US EPA, 1995)

Komponenta	%	Karakteristike
Metan	45–60	Metan je gas bez boje i mirisa. Deponije su najveći izvori emisija metana koje je prouzrokovao čovjek.
Ugljen-dioksid	40–60	CO ₂ se nalazi u atmosferi u malim koncentracijama (0,02 %). Bezbojan je, bez mirisa i malo kiseo.
Azot	2–5	Azot predstavlja 79% atmosfere. Bez mirisa, ukusa i boje.
Kiseonik	0.1–1	Kiseonik reprezentuje 21% atmosfere. Bez mirisa, ukusa i boje.
Amonijak	0.1–1	Amonijak je bezbojan gas sa oštrim mirisom.
Nemetanska organska jedinjenja (NMOC)	0.01–0.6	NMOC-i su organska jedinjenja. Nalaze se u prirodi ili se mogu vještački sintetizovati. NMOC-a najčešće prisutna na deponiji su: akrilo-nitriti, etil-benzen, heksan, metil-etil-keton, tetra-hlor-etilen, tolueni, tri-hlor-etilen, vinil-hloridi i ksilen.
Sulfidi	0–1	Sulfidi (vodonik sulfid, dimetil sulfid, merkaptani) su gasovi prisutni u prirodi koji daju deponiji neprijatan miris pokvarenih jaja.
Vodonik	0–0.2	Vodonik je gas bez mirisa i boje.
Ugljen-monoksid	0–0.2	Ugljen-monoksid je gas bez mirisa i boje i gas koji je izuzetno toksičan.

Kao što je već navedeno, gasovi koji nastaju biorazgradnjom otpada na deponijama sastoje se uglavnom od vodonika i ugljen-dioksida u ranim fazama, a zatim

preovladavaju metan i ugljen-dioksid u kasnijim fazama. Već poslije 4 mjeseca nakon odlaganja otpada se može očekivati razvoj stabilne metanske faze, koja će trajati godinama. Zato **najkasnije 6 mjeseci nakon početka deponovanja otpada treba početi kontrolisano sakupljanje i tretman deponijskog gasa.**

U literaturi možemo pronaći više različitih rezultata sastava deponijskog gasa, ali se oni neznatno razlikuju. Tipičan sastav deponijskog gasa prikazan je u tabeli 10.1. Za srednji sadržaj gasova koji se oslobađaju iz komunalnih deponija neki autori navode donekle drugačije podatke. Tako npr. Ilić i Miletić (1998) navode da je sadržaj metana 30–70%, a ugljen-dioksida 10–50% vol.; Sredojević (2003) i Ćorović (2008) bilježe učešće metana od oko 54%, a ugljen-dioksida oko 40%; dok El-Fadel i sar. (1997) navode sadržaj metana u rasponu 40–70%, a ugljen-dioksida 30–60%. Svi ovi podaci govore u prilog tvrdnji da sastav, kvantitet i stopa generisanja deponijskog gasa zavise od brojnih faktora, kao što su: količina otpada, gustina i sastav, karakteristike odlaganja, dubina deponije, sadržaj vlage u otpadu, temperatura i količina prisutnog kiseonika.

Deponijski gas ima pozitivna i negativna svojstva. Glavna negativna svojstva su: neprijatan miris, doprinos problemu globalnog zagrijavanja i oštećenja vegetacije. Glavni sastojci deponijskog gasa, metan i ugljen-dioksid su bez mirisa, a manje prisutne komponente, kao što su: vodonik sulfid, organski estri i organska jedinjenja sumpora, daju deponijskom gasu neprijatan miris. Deponijski gas je rangiran kao treći najveći **izvor globalnih antropogenih emisija metana**, odgovoran za otprilike 9–12% tih emisija u 2005. godini (Međuvladin panel o klimatskim promjenama, IPCC, 2007). U Sjedinjenim Državama deponije čvrstog komunalnog otpada predstavljaju takođe treći najveći antropogeni izvor emisija metana, čineći približno 14,5% ovih emisija u 2020. godini (US EPA, 2022). Emisije metana sa deponija komunalnog otpada na prostoru SAD u 2020. godini bile su približno jednake emisiji iz oko 20,3 miliona putničkih vozila koja se voze godinu dana ili emisija CO₂ iz skoro 11,9 miliona domaćinstava koja koriste energiju tokom jedne godine. Istovremeno, emisije metana sa deponija komunalnog otpada predstavljaju izgublenu priliku da se uhvati i iskoristi značajan energetska resurs. Kao što je poznato, ugljen-dioksid je najzastupljeniji gas sa efektom staklene bašte, dok metan, čija je koncentracija u atmosferi značajno manja, ima 25 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od ugljen dioksida za period 100 godina (Wuebbles and Hayhoe, 2002). Pozitivna svojstva deponijskog gasa su mogućnost sagorijevanja i energetska vrijednost.

10.5.3. Upravljanje deponijskim gasovima

Pravilno upravljanje deponijskim gasovima od velikog je značaja u prevenciji nastajanja požara i eksplozija, širenja neprijatnih mirisa i emisija gasova sa efektom staklene bašte.

Pored negativne strane deponijskog gasa kao izvora stakleničkih gasova i doprinosa lokalnom smogu, deponijski gas se može koristiti kao obnovljivi izvor energije, pri čemu je neophodan preduslov formiranje optimalnog sistema za izdvajanje gasova. Moderno uređene deponije pokušavaju sakupiti i koristiti deponijski gas za proizvodnju električne ili toplotne energije.

Adekvatno (integralno) upravljanje deponijskim gasom obuhvata njegovu kontrolu kretanja i plansko sakupljanje, tretman i iskorišćavanje.

Kretanje osnovnih deponijskih gasova. Na osnovu sastava deponijskog gasa može se uočiti da je opasan po životnu sredinu i zdravlje živih organizama, kao i po infrastrukturne objekte. Nekontrolisani deponijski gasovi obično dovode do formiranja takozvanih „metanskih džepova“. Ovi metanski džepovi su ogromni podzemni rezervoari gasa, skloni spontanom sagorijevanju i snažnim eksplozijama. Ako se metanu dozvoli da migrira ispod zemlje na nekontrolisan način, on može da se akumulira (jer je njegova specifična težina manja od težine vazduha) ispod zgrada ili u drugim zatvorenim prostorima, na ili u blizini deponije. Deponijski gas sadrži komponente koje su zapaljive i kada se pomiješaju sa vazduhom mogu dostići eksplozivnu koncentraciju (kada koncentracija metana u vazduhu dostigne od 5% do 15%). Poznati su primjeri dvije eksplozije na neuređenoj deponiji otpada grada Sarajeva (1973. i 1977. godine) kada su pričinjene velike ljudske i materijalne štete. Prilikom eksplozije koja se na ovoj deponiji desila 1977. godine srušeno je selo Smiljevići i 3 mosta na rijeci Lepenici (Milanović, 1992). Ustanovljeno je da je nagomilani gas metan u šupljinama deponije izlazio kroz pukotine deponije u uslovima sniženog vazdušnog pritiska i kada je dostignuta eksplozivna koncentracija i stvoren izvor paljenja došlo je do snažne eksplozije. Tom prilikom je 200.000 m³ otpadnog materijala odbačeno oko 800 metara od centra erupcije (Đovčoš, 1995).

U svijetu je zabilježeno više problema povezanih sa nekontrolisanim curenjem deponijskog gasa u: kuće, šahtove, propuste, cjevovode, sa potencijalno razornim efektima. Za deponije bez ventilacije stepen horizontalne migracije zavisi od karakteristika prekrivke i okolnog materijala. Kod prirodne degasifikacije deponija, kroz gornje nepokrivene površine deponijski gas izlazi značajno razrijeđen, tako da nema neposredne opasnosti od eksplozije. Međutim, kod naglog pada atmosferskog

pritiska, može buknuti veća količina gasa, odnosno stvoriti eksplozivnu mješavinu gasova na površini deponije.

Gustina ugljen-dioksida je 15 puta veća od gustine vazduha, a 2,8 puta veća od gustine metana, zbog čega ugljen-dioksid migrira ka dnu deponije. Pošto je ugljen-dioksid lako rastvorljiv u vodi, on obično snižava pH, što može povećati tvrdoću i mineralni sadržaj podzemne vode. Metan nije otrovan, ali kroz istiskivanje kiseonika iz zone korijenovog sistema, može uzrokovati izumiranje površinske vegetacije.

Migracija deponijskog gasa se može spriječiti korišćenjem obloga na vrhu, sa strane i na dnu deponije (npr. glinene ili geosintetičke membrane). Postavljanje nepropusne barijere na vrhu deponije će ograničiti nekontrolisanu ventilaciju u atmosferu uzrokujući da se gas ispušta kroz otvore za gas ili sabirne bunare, a ne preko završnog pokrivača (poklopca) deponije.

Kretanje deponijskog gasa se reguliše da bi se:

- 1) Smanjila nekontrolisana emisija u atmosferu;
- 2) Smanjila emisija neprijatnih mirisa;
- 3) Minimizirala migracija gasova u tijelu deponije;
- 4) Iskoristio metan za dobijanje energije.

10.5.3.1. Sakupljanje deponijskog gasa

Zavisno od potencijalnog uticaja na životnu sredinu i odgovarajućih zakonskih propisa, nastali deponijski gasovi se mogu nakon sakupljanja osloboditi u atmosferu ili putem cjevovoda i gasne stanice odvesti u sistem za spaljivanje ili iskorišćavanje u energetske svrhe.

Tipičan sistem za sakupljanje i kontrolu deponijskog gasa uključuje sljedeće primarne komponente:

- 1) Bušotine za ekstrakciju gasa (degasifikaciju);
- 2) Sistem cjevovoda za transport prikupljenog deponijskog gasa do gasne stanice;
- 3) Sistem za prikupljanje i odvođenje kondenzata,
- 4) Kompresorska stanica sa bakljom za sagorijevanje;
- 5) Uređaji za praćenje i systemske kontrole.

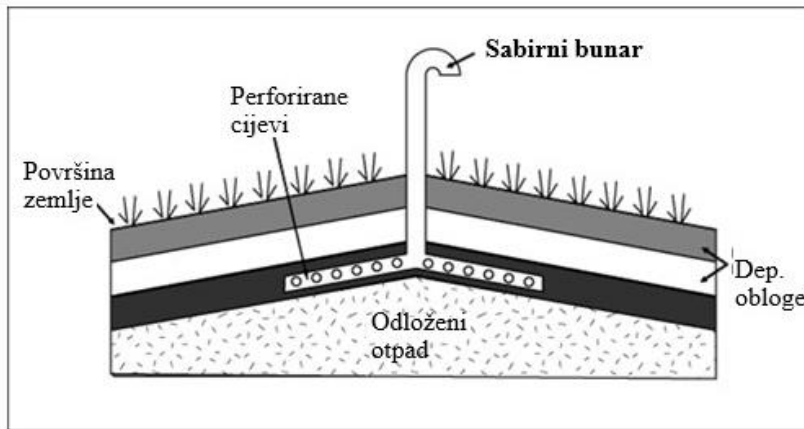
U osnovi postoje dva načina **ekstrakcije deponijskog gasa**: pasivni i aktivni.

Pasivna ekstrakcija deponijskog gasa podrazumijeva iskorišćavanje vlastitog pritiska gasa u tijelu deponije. U pasivnom sistemu, koji je relativno jeftin, gas se prirodno ispušta u atmosferu i može uključivati: rovove za degasifikaciju, granične zidove ili otvore za gas. Pasivni sistemi za sakupljanje mogu se instalirati tokom aktivnog rada deponije ili nakon zatvaranja (**bušenjem mase otpada**). Pasivni ventilacioni sistemi se preporučuju samo za stare lokacije u kasnijim fazama proizvodnje gasa gdje su stope proizvodnje gasa niske, ili gdje se inertni otpad odlaže na deponije, odnosno gdje su niske ili zanemarive stope proizvodnje gasa. Generalno se preporučuje da se upotreba pasivnih ventilacionih otvora ograniči na ona područja u kojima je šansa da metan uđe u objekte preko podzemnih puteva minimalna. U oblastima gdje su zgrade u neposrednoj blizini deponija, često se preporučuju aktivni ventilacioni sistemi.

Pasivni sistemi za prikupljanje deponijskog gasa koriste sabirne bunare, koji se nazivaju i bunari za ekstrakciju. Ekstrakcioni bunari se obično sastoje od plastične cijevi sa prorezima, okružene kamenom ili drugim agregatnim materijalom (slika 10.5.) i postavljaju se okomito po cijeloj deponiji do dubine u rasponu od 50% do 90% debljine otpada. Ako se podzemne vode nađu u otpadu, bunari završavaju na nivou podzemnih voda.

Pasivni bunar za ventilaciju sastoji se od visoko propusnog otvora od šljunčanog materijala obloženog geotekstilnom tkaninom kako bi se spriječio ulazak finog materijala i smanjenje propusnosti. Gasovi pasivno izlaze u atmosferu kroz propusni sloj pijeska ili drobljenog kamena. Ventilacijski otvor takođe može biti izrađen sa centralnom perforiranom plastičnom cijevi (izbušenom, tj. sa rupicama), pri čemu cijev služi za ispuštanje gasova direktno u atmosferu. Obično se otvori za ventilaciju postavljaju u intervalima od 20 m do 50 m (Williams, 2005).

Fizičke barijere koriste barijere niske propusnosti (npr. od fleksibilnih polimernih geomembrana, bentonitnog cementa ili gline), da zadrže i ograniče migraciju gasa. Iako ove barijere mogu činiti dio sistema za zadržavanje procjednih voda, one su manje efikasne u zadržavanju gasa. Efikasnost barijera se poboljšava ako se kombinuju sa sredstvom za uklanjanje gasa bilo pasivnom ili aktivnom degasifikacijom.



Slika 10.5. Pasivni sistem za sakupljanje deponijskog gasa (prema ATSDR, 2001)

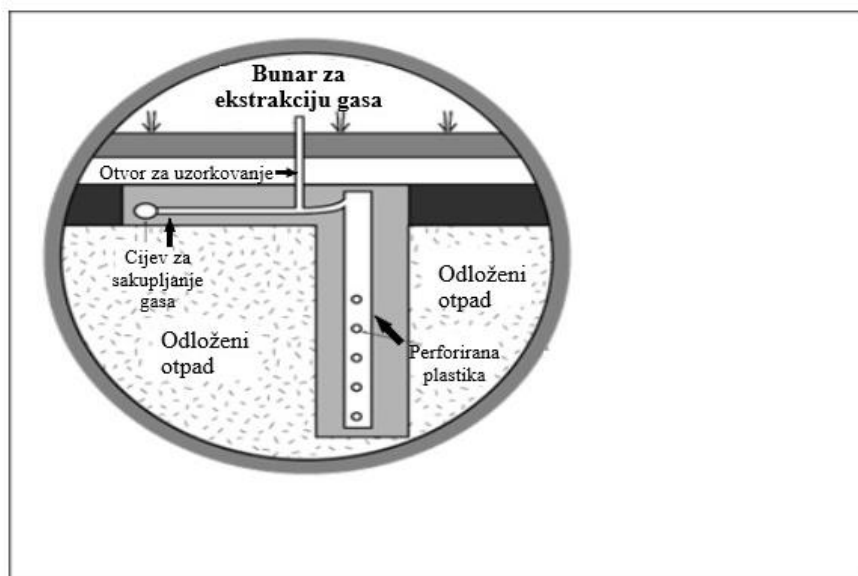
Aktivna ekstrakcija deponijskog gasa obuhvata postupak isisavanja gasa iz tijela deponije. Aktivni sistemi za sakupljanje gasa uključuju: vertikalne i horizontalne bunare (bušotine) za sakupljanje gasa slične pasivnim sistemima za sakupljanje. Sakupljanje biogasa vrši se perforiranim cijevima putem aspiratora, odnosno uređaja za usisavanje deponijskog gasa iz tijela sanitarne kade, a kvalitet i sastav gasa kontinuirano se prati putem gasnog analizatora. Za razliku od bunara za prikupljanje gasa u pasivnom sistemu, bunari u aktivnom sistemu treba da imaju ventile za regulaciju protoka gasa i da služe kao otvor za uzorkovanje. Uzorkovanje omogućava operateru sistema da izmjeri proizvodnju gasa, sastav i pritisak. Sistemi aktivnog sakupljanja povezuju sabirne bunare sa cjevovodima i izvlače gas pod vakuumom koji stvara centralni kompresor. Broj i razmak bunara zavise od karakteristika specifičnih za deponiju, kao što su: zapremina otpada, gustina, dubina i površina. Bunari su raspoređeni tako da im se radijusi uticaja preklapaju. Pojedinačni bunari za ekstrakciju gasa su povezani glavnom cijevi koja je u vezi sa ventilatorom kojim se postiže vakum u kolektorskom sistemu i u pojedinačnim bunarima.

Vertikalni bunari se obično postavljaju u oblastima gdje je lokacija prestala da prima otpad ili gdje se punjenje otpadom neće desiti godinu dana ili više. Međutim, oni se mogu instalirati i koristiti u oblastima sa kontinuiranim odlaganjem otpada, ali postavljanje će rezultirati povećanim zahtjevima za rad i održavanje. Komponente vertikalnog bunara uključuju: cijev sa perforacijama ili prorezima na donjem dijelu, zatrpavanje čistim šljunkom, zatrpavanje zemljom, bentonit i ušće bunara (početak bunara na površini zemlje). Za vertikalnu konstrukciju bunara se ponekad koriste polivinilhlorid (PVC) cijevi, jer je PVC otporniji na urušavanje izazvano toplotom i pritiskom u dubokom otpadu u odnosu na cijevi od polietilena

visoke gustine (engl. *High density polyethylene – HDPE*). Međutim, PVC cijev može vremenom postati krhka, popucati i srušiti se. Iz tog razloga, HDPE cijev može biti poželjnija varijanta i takođe se uspješno koristi u vertikalnim bunarima. Bentonit čep se koristi da spriječi infiltraciju vazduha sa površine kroz otvor bunara. Vertikalni bunari se kreću od 20–90 cm u prečniku i uključuju cijev prečnika od 5–15 cm. Preporučuju se minimalni prečnik bunara od 30 cm i prečnik cijevi od 10 cm. Bunari i cijevi većeg prečnika obično povećavaju sakupljanje deponijskog gasa kao rezultat povećane površine.

Kako raste visina otpada na deponiji, tako se i vertikalni sistem za degasifikaciju nadograđuje. Prilikom zatvaranja deponije, zahtijeva se izdizanje vrha PVC ili HDPE cijevi najmanje za 0,5 m iznad završne površine deponije. Preporučuje se ugradnja baklji koje sadrže dodatnu zatvorenu komoru u kojoj se gasovi duže zadržavaju, da bi se postigle veće temperature sagorijevanja i manje emisije zagađenja.

Horizontalni bunari za ekstrakciju gasova se mogu instalirati dok deponija još uvijek prima otpad. Horizontalni bunari za ekstrakciju postavljaju se u kanal/rov unutar otpada. Kanal se zatrpava šljunkom (ili drugim agregatom kao što su strugotine od guma ili razbijeno staklo), a perforirana cijev se postavlja u centar kanala (slika 10.6). Geotekstilna tkanina se preporučuje na vrhu kanala kako bi se smanjilo začepljenje od strane otpada iznad kanala. Uobičajeni razmak horizontalnih bunara je 30–40 metara. Perforirana cijev unutar kanala je obično 10–20 cm u prečniku.



Slika 10.6. Aktivni sistemi za sakupljanje gasa (prema ATSDR, 2001)

I aktivni i pasivni sistemi imaju uređaje za monitoring gasova u cilju sprečavanja eksplozija ili požara.

Savremeni sistem za sakupljanje deponijskog gasa koji se sastoji od gustih mreža vertikalnih i horizontalnih perforiranih fleksibilnih cijevi, u kombinaciji sa izgradnjom prekrivnih slojeva, postiže maksimalnu ekstrakciju gasa. Takav sistem obezbijuje kontrolu protoka nastalog i sakupljenog gasa, bez gubitka ili emisija u atmosferu, te omogućava izvlačenje i do 4 puta više gasa iz deponije u kraćem vremenskom periodu u odnosu na tradicionalne sisteme.⁵³ Ventilacioni otvori za gas se postavljaju na razmaku od 30–75 m na pokrivaču deponije i redovno se prati nivo metana (slika 10.7.).



Slika 10.7. Savremeni sistem za sakupljanje deponijskog gasa na regionalnoj deponiji Ramići kod Banjaluke (slika desno – izgled bunara za sakupljanje deponijskog gasa)

Upravljanje kondenzatom koji se formira prilikom ekstrakcije deponijskog gasa je takođe važan element u projektovanju sistema za iskorišćavanje gasa. Kondenzat se odnosi na vlagu ili tečnost koja se formira kada se ekstrahovani gas ohladi. Kondenzat deponijskog gasa nastaje kao posljedica prodiranja toplog deponijskog gasa u perforiranu cijev biotrna (gasnog bunara) i sastoji se uglavnom od vode i organskih materija. Sastav kondenzata deponijskog gasa zavisi od: sastava otpada, starosti otpada, sadržaja vlage, temperature, površine i dubine deponije, upotrebe gornjih i donjih nepropusnih slojeva, klimatskih faktora i organskih materija

⁵³ Naismith, M., Timmermans, E., Hillebregt, T., Anew, effective solution for landfill gas extraction, Proceedings Venice 2012, Fourth International Symposium on Energy from Biomass and Waste San Servolo, Venice, Italy; 12–15 November 2012.

porijeklom iz deponijskog gasa. Postoji mnogo faktora koji utiču na količinu kondenzata koji se stvara u sistemu za sakupljanje gasa, uključujući: temperaturu i zapreminu gasa, kao i klimatske uslove na lokaciji. Kondenzacija koja se formira može ograničiti ili potpuno blokirati protok gasa u sistemu cjevovoda. Sistem za sakupljanje deponijskog gasa mora biti pažljivo dizajniran kako bi se razmotrila pitanja upravljanja kondenzatom i kako bi se spriječili negativni uticaji na sakupljanje ovog gasa. Sakupljeni kondenzat se obično kombinuje sa procjednim vodama i šalje na tretman.

Kompresor obezbijeduje vakuum koji se koristi za sakupljanje gasa iz deponije. Takođe obezbijeduje neophodan pritisak da se gas potisne do baklje ili uređaja za korišćenje energije. Sistem baklje se koristi za sagorijevanje deponijskog gasa i u mnogim slučajevima je potreban za kontrolu mirisa ili ublažavanje drugih ekoloških ili zdravstvenih problema. Ako je moguće, sistem kompresora i baklje treba da budu centralno locirani u blizini sistema za sakupljanje deponijskog gasa ili blizu uređaja za korišćenje energije. Sisteme baklji treba postaviti dalje od drveća, dalekovoda ili drugih objekata koji se mogu zapaliti plamenom ili oštetiti toplotom.

Baklje se koriste za sve projekte sakupljanja deponijskog gasa, često u kombinaciji sa korišćenjem energije. Ove baklje mogu raditi kontinuirano u slučaju kada se prikupe količine gasa koje su veće od potreba za korišćenjem energije ili povremeno kada se koriste tokom pokretanja ili zastoja postrojenja.

Gas obično prolazi kroz sistem za mjerenje njegovog volumetrijskog protoka. Takođe je potreban i sistem za kontinuirano praćenje metana, odnosno mjerenje masenog protoka metana da bi se pratio sadržaj toplote deponijskog gasa (kao što je u MJ/m³) i ukupna isporuka energije. Gas bi trebalo da se koristi za proizvodnju energije i može se naknadno spaljivati samo ako korišćenje gasa više nije izvodljivo ili ako su dostupne samo niske stope proizvodnje gasa.

10.5.3.2. Metode za tretiranje deponijskog gasa nakon sakupljanja

Neki pasivni sistemi za sakupljanje gasa jednostavno **ispuštaju deponijski gas u atmosferu bez ikakvog tretmana prije ispuštanja**. Ovo može biti prikladno ako se proizvodi samo mala količina gasa, a u blizini nema naselja. Ukoliko energetska iskorišćavanje deponijskog gasa nije ekonomično, onda se mora spaljivati na licu mjesta, odnosno spaljivati na baklji. Energetski efikasnija rješenja zasnivaju se na sagorijevanju deponijskog gasa i direktnoj upotrebi nastale toplotne energije ili indirektnoj upotrebi za proizvodnju električne energije na generatorima.



Slika 10.8. Bušenje tijela nesantitarne deponije u cilju mjerenja sastava deponijskih gasova

Spaljivanje (tj. sagorijevanje plamenom) je najčešći metod tretmana deponijskih gasova. Tehnologije sagorijevanja kao što su baklje, spalionice, kotlovi, gasne turbine i motori sa unutrašnjim sagorijevanjem termički uništavaju jedinjenja u deponijskom gasu. Ovom termičkom destrukcijom se uništi više od 98% organskih jedinjenja (VOCs i drugih sličnih gasova).

Sagorijevanje ili spaljivanje na baklji je najefikasnije kada deponijski gas sadrži najmanje 20% zapremine metana. Pri ovoj koncentraciji metana, deponijski gas će lako formirati zapaljivu mješavinu sa okolnim vazduhom, tako da je za rad potreban samo izvor paljenja. Na deponijama sa manje od 20% zapremine metana, potrebno je dodatno gorivo (npr. prirodni gas) za rad baklji, što značajno povećava operativne troškove. Kada se koristi sagorijevanje, mogu se odabrati dvije različite vrste baklji: otvorene ili zatvorene baklje.

Baklje otvorenog plamena su najjednostavnija tehnologija spaljivanja, a njeni nedostaci su: neefikasno sagorijevanje, estetske pritužbe i poteškoće u praćenju. Ponekad su baklje otvorenog plamena djelimično pokrivene kako bi se plamen sakrio od pogleda i poboljšala preciznost praćenja.

Zatvorene baklje su složenije i skuplje od baklji otvorenog plamena. Ipak, većina baklji dizajniranih danas je zatvorena, jer ovaj dizajn eliminiše neke od nedostataka povezanih s bakljama otvorenog plamena. Zatvorene baklje sastoje se od više gorionika zatvorenih u vatrootpornim zidovima koji se protežu iznad plamena. Za razliku od baklji s otvorenim plamenom, količina gasa i vazduha koji ulaze u baklju zatvorenog plamena može se kontrolisati, čineći sagorijevanje pouzdanijim i efikasnijim.



Slika 10.9. Postrojenje za spaljivanje deponijskog gasa (baklja) na sanitarnoj deponiji Ramići kod Banjaluke (DEPOT, 2020)

Druge **zatvorene tehnologije sagorijevanja** kao što su: kotlovi, procesni grijači, gasne turbine i motori sa unutrašnjim sagorijevanjem mogu se koristiti ne samo za efikasno uništavanje organskih jedinjenja u deponijskom gasu, već i za generisanje korisne toplotne ili električne energije.

Tehnologije bez sagorijevanja dijele se u dvije grupe: tehnologije povrata energije i tehnologije konverzije gasa u proizvod. Bez obzira na to koja se tehnologija bez sagorijevanja koristi, deponijski gas mora prvo proći prethodnu obradu (dehidraciju i filtraciju) kako bi se uklonile nečistoće kao što su voda, nemetanska organska jedinjenja (NMOC) i ugljen-dioksid. Nakon izvlačenja iz deponije gasovi se sakupljaju u gasni kolektor, a zatim odvođe na primarni tretman koji podrazumijeva nekoliko uređaja u kojima se vrši prečišćavanje deponijskog gasa od zaostalih čestica zemljišta i vlage, i dalje transportovanje gasa pumpom. Zavisno od namjene i sastava deponijskog gasa, može se uvesti i dodatno prečišćavanje gasa za uklanjanje korozivnih i drugih specifičnih gasova (kao što su: azot, kiseonik, amonijak, vodonik, ugljen-monoksid, sulfidi i nemetanska organska jedinjenja). Napredni koraci tretmana obezbijavaju dodatnu obradu deponijskog gasa i mogu koristiti višestruke procese čišćenja. Tip naprednog tretmana zavisi od sastojaka koje treba ukloniti za potencijalnu krajnju upotrebu. U normalnim uslovima neće biti potrebno prečišćavati gas osim za uklanjanje vode i drugih primjesa (npr. čvrstih čestica) ako se gas koristi u kotlu ili motoru.

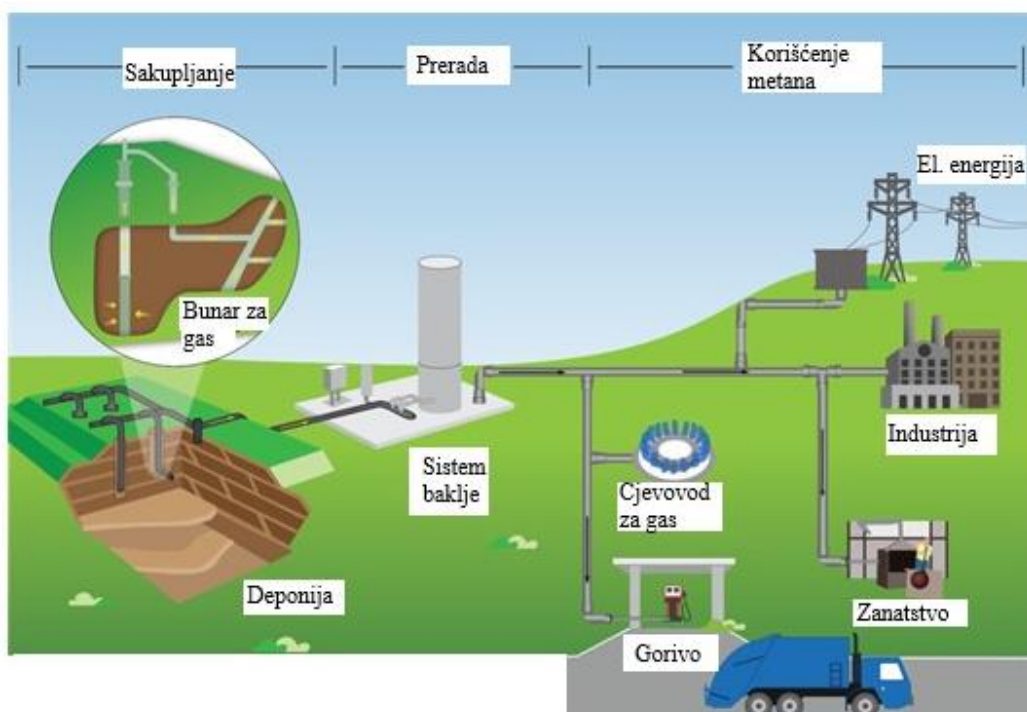
10.5.3.3. Korišćenje deponijskog gasa

Deponijski gas predstavlja obnovljivi izvor energije koji nastaje kao proizvod mikrobiološke razgradnje otpada. EU Direktiva o deponijama propisuje izdvajanje i

sagorijevanje formiranog gasa. Zbog potencijalne neposredne opasnosti po zdravlje od nekih komponenti deponijskog gasa, uništavanje deponijskog gasa u pravilno dizajniranom i upravljanom kontrolnom uređaju, kao što je baklja ili jedinica za obnavljanje energije, poželjnije je od nekontrolisanog oslobađanja deponijskog gasa. Sagorijevanje pomoću baklji se smatra minimumom, ali ovo nije korisna primjena ovog resursa, za razliku od sagorijevanju gasa u kotlu ili gasnom motoru. Korisni sistemi za iskorišćavanje energije uključuju direktnu upotrebu, proizvodnju električne energije i konverziju u hemikalije ili goriva. Izbor vrste uređaja za sagorijevanje (npr. kotao, gasna turbina, motor sa unutrašnjim sagorijevanjem) zavisi od toga koji se korisnici nalaze u blizini deponije, tehničkih i ekonomskih mogućnosti specifičnih za lokaciju, a ponekad i uticaja na životnu sredinu. Prednosti upotrebe deponijskog gasa u energetske svrhe su zaštita vazduha od zagađenja, smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte i ekonomska dobit. Do 2030. godine očekuje se da oko 10–20% biogasa može nastati iz deponija (Cvetković, 2014).

Da bi se odstranili negativni uticaji i nekontrolisano širenje deponijskog gasa na savremenim sanitarnim deponijama izvodi se plansko sakupljanje i spaljivanje u kontrolisanim uslovima ili korišćenje energije (grijanje, topla voda, struja). Ovaj koncept podrazumijeva postavljanje vertikalnih perforiranih cijevi (bunari, trnovi, sonde) i njihovo horizontalno povezivanje. Preko kompresorskog postrojenja deponijski gas se: isisava, sabija, suši i usmjerava ka gasnom motoru. Iz sigurnosnih razloga preporučuje se ugradnja visokotemperaturne baklje, koja preuzima viškove proizvedenog gasa. Deponijski gas sa prosječnim sadržajem metana od 50% ima donju toplotnu vrijednost od 5 kWh/m³, što ga čini dobrim gorivom za pogon gasnih motora specijalno razvijenih za ovu namjenu. Dobijena električna energija se koristi za potrebe na deponiji ili se predaje u električnu mrežu. Proizvedena toplota se koristi na deponiji za: proizvodnju tople vode ili u staklenicima i plastenicima za proizvodnju ranog povrća i cvijeća, u industrijskim pogonima u blizini deponije, zatim za grijanje stambenih zgrada, kao i kod drugih potrošača toplote. Slika 10.10. prikazuje potencijalnu krajnju upotrebu gasa, uključujući: industrijsku i/ili institucionalnu upotrebu, umjetnost i zanate, gas iz gasovoda i gorivo za vozila.

Čak i kada se ne koristi za dobijanje toplotne i/ili električne energije, deponijski gas se mora propisno odložiti i prečistiti, jer sadrži opasne zapaljive materije, od kojih mnoge stvaraju smog. Energetski su značajni samo metan i vodonik. Problematični su H₂S i amonijak, koje je često prije upotrebe biogasa neophodno odstraniti, da ne bi agresivno djelovali na opremu.



Slika 10.10. Sakupljanje i prerada deponijskog gasa za proizvodnju metana za višestruku upotrebu (prema EPA, 2021)⁵⁴

Količina nastalog deponijskog gasa. Proizvodnja deponijskog gasa počinje u roku od nekoliko mjeseci nakon odlaganja otpada i uglavnom traje oko 10 godina ili čak i više, u zavisnosti od sastava otpada i dostupnosti vlage. Godišnja proizvodnja uglavnom dostiže svoj maksimum 3–8 godina nakon deponovanja. Procjena/proračun količine nastalog deponijskog gasa može se dobiti mjerenjem emisija ili primjenom različitih matematičkih modela procjene. Za procjenu količine deponijskog gasa proizvedenog na deponiji može se, između ostalih, koristiti *LandGEM model* koji je razvila Američka agencija za zaštitu životne sredine (*US EPA*). Ovaj model određuje masu metana koji se stvara koristeći kapacitet proizvodnje metana i masu deponovanog otpada.

LandGEM koristi sljedeću formulu za procjenu produkcije metana:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (10.1.)$$

⁵⁴ <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>.

Gdje su:

Q_{CH_4} – količina godišnje proizvodnje metana (m^3/god)

i –jednogodišnji vremenski prirast

n – broj godina za koji se obračuna proizvodnja metana (početna godina prijema otpada)

j –vremensko povećanje od 0,1 godine

k – stopa proizvodnje metana ($1/god$)

L_o – potencijalni kapacitet proizvodnje metana (m^3/t)

M_i –masa otpada prihvaćenog u godini

t_{ij} – starost j -tog sektora (sekcije) odložene mase otpada prihvaćenog u i -toj godini (decimalni broj godina, npr. 3,2 godine).

Prema *LandGEM* modelu izračunate vrijednosti potencijala generisanja deponijskog gasa kreću se u obimu od 0,21 do 0,24 m^3/kg odloženog komunalnog otpada, u zavisnosti od količine prisutne vlažnosti. Oznaka k predstavlja stopu proizvodnje metana za masu otpada na deponiji. Što je veća vrijednost k , brzina proizvodnje metana raste. Vrijednost k zavisi prvenstveno od četiri faktora: 1) dostupnosti hranljivih materija za mikroorganizme koji razgrađuju otpad da formiraju ugljen-dioksid i metan; 2) pH mase otpada; 3) sadržaja vlage u otpadnoj masi; 4) temperature otpadne mase. Stopa proizvodnje metana za aridna područja je 0,02, u vlažnim uslovima 0,065, a za bioreaktorske deponije 0,7.

Inače, eksploatacija deponijskog gasa u energetske svrhe započeta je u SAD oko 1975. godine, a nešto kasnije u Evropi. U SAD se najčešće proizvodi samo električna energija, dok je u EU uobičajeno da se eksploatiše i otpadna toplota, čime postrojenje funkcioniše kao kombinovano postrojenje za električnu energiju i toplanu. Takođe je moguće nadograditi deponijski gas do skoro 100% sadržaja metana, nakon čega se može distribuirati sa prirodnim gasom (Willumsen, 1990). Primjera radi, u Sjedinjenim Državama do septembra 2021. godine je registrovano 548 operativnih energetskih projekata iskorišćavanja deponijskog gasa i 483 deponije koje su dobri kandidati za projekte (EPA, 2021).

10.6. PROCJEDNE VODE NA DEPONIJJI

Deponijske ili procjedne vode (engl. *eluat, leachate*) nastaju usljed infiltracije padavina i površinskih voda u tijelo deponije i njenog procjeđivanja kroz otpad, kao i vode koja se generiše tokom procesa degradacije biorazgradivih organskih materija. Ove vode mogu da uključe i vodu koja je bila sadržana u otpadu, kao i infiltrirane podzemne vode. Procjedne vode deponija se mogu definisati kao sve vode koja su „bile u kontaktu“ sa otpadom odloženim na deponiji.

Unutar deponije dešavaju se složeni: fizički, hemijski i biološki procesi, a kao posljedica ovih procesa otpad se degradira ili transformiše. Kako se voda procjeđuje kroz deponiju, ona ispira različite zagađujuće materije iz čvrstog otpada. Procjedna voda predstavlja složenu, heterogenu smjesu promjenjivog sastava, koja se sastoji od različitih organskih i neorganskih jedinjenja i mikroorganizama. Ovako zagađene vode koje nazivamo filtrat (jer tijelo deponije djeluje kao zaprljani filter) procuruju do dna deponije, koje, ako je nepropusno sprečava zagađivanje podzemnih voda, i obrnuto, ako je porozno omogućava njihovo zagađivanje.

Opšte karakteristike procjednih voda deponije su: jak miris i tamno-bron boja i visoki koncentracioni nivoi polutanata. Kod deponija komunalnog otpada koncentracija zagađenja filtrata može da bude 5–10 puta veće od prosječnog zagađenja otpadnih voda iz domaćinstava.

Ubrzo nakon što se komunalni otpad odloži na deponiju, organske komponente prolaze kroz biohemijske reakcije. Glavna biohemijska reakcija na deponijama je anaerobna degradacija, koja se dešava u tri glavne faze (hidroliza, acetogeneza i metanogeneza). Nakon zatvaranja deponije, sa generisanjem procjedne vode će se nastaviti u narednom periodu od 30–50 godina.

10.6.1. Faktori koji utiču na formiranje procjednih voda

Procjedna voda (filtrat) je veoma zagađena tečnost koja je prošla kroz slojeve deponovanog otpada primajući pri tome u sebe velike količine rastvorenih i suspendovanih materija, uključujući i proizvode biohemijskih reakcija.

Sastav i količinu procjednih voda veoma je teško predvidjeti, jer zavisi od niza varijabilnih faktora kao što su:

- 1) Faktori lokacije deponije: hidrogeološke karakteristike lokacije, klimatski elementi (temperatura, padavine, vjetrovi), transpiracija i sl.

- 2) Sastav i količina čvrstog otpada;
- 3) Starost deponije;
- 4) Sadržaj vlage;
- 5) Debljine tijela deponije;
- 6) Način odlaganja, prekrivanja i kompaktiranja otpada (nabijenost deponovanog materijala);
- 7) Mogući procesi samoprečišćavanja (mogućnosti međufaznih slojeva da apsorbuju i minimiziraju zagađenje);
- 8) Kvaliteta voda koje se infiltriraju u deponiju i drugi faktori (npr. recirkulacija filtrata).

Sa aspekta produkcije filtrata, pored navedenih faktora, uzimaju se u obzir i biološki i hemijski faktori koji su uglavnom povezani sa starošću deponija. Biološki faktor se veže za aktivnost mikroorganizama i fazu razgradnje otpada (aeobni ili anaerobni uslovi), dok su hemijski faktori uglavnom uslovljeni sastavom otpada i izraženi preko parametara zagađenja (organske materije, soli teških metala i dr.).

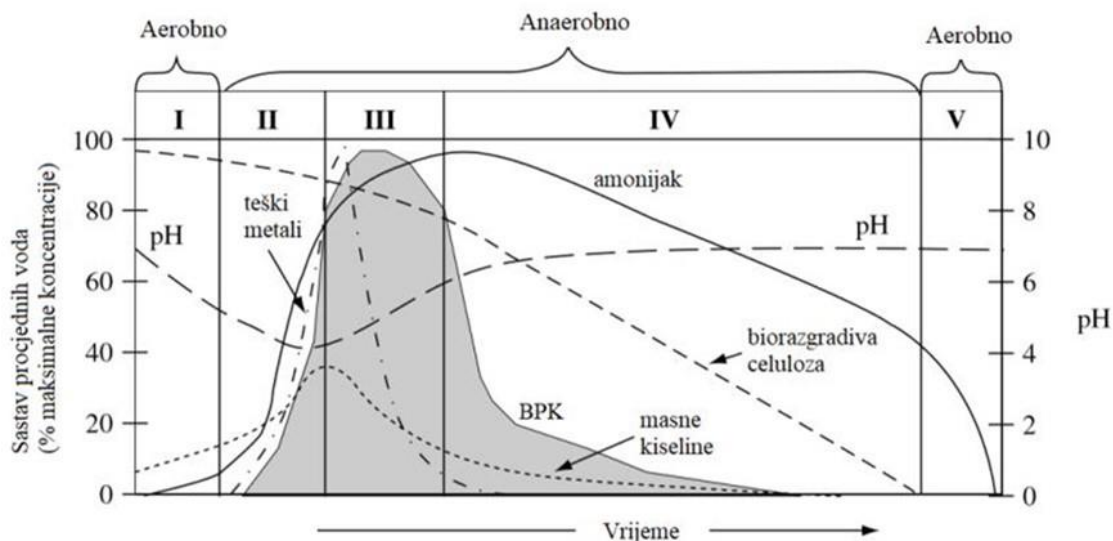
10.6.2. Sastav procjednih voda (filtrata)

Procjedne vode su veoma zagađene i sadrže različite neorganske i organske supstance, kao što su visok sadržaj: amonijaka, nitrita, teških metala, raznih organskih jedinjenja, među kojima su često i toksična jedinjenja. Pomenute supstance nastaju tokom vrlo složenih i heterogenih procesa koji se odvijaju u tijelu deponija. Proces degradacije na deponijama globalno se mogu podijeliti na: biodegradacione procese u prisustvu živih organizama (bakterije, alge, gljive, mikroorganizmi i dr.) i procese hemijske degradacije organskih i neorganskih supstanci pod dejstvom: atmosferskih faktora, vode, kiseonika, ugljen-dioksida, temperature, vlažnosti i fotolitičkih procesa. Procjedne vode često sadrže štetne metale i isparljiva organska jedinjenja (VOC), te obično imaju visoku biohemijску (BPK) i hemijsku potrebu za kiseonikom (HPK). Najznačajnija karakteristika ove otpadne vode je promjenjivost sastava, a prije svega zavisi od: starosti deponije koja utiče na promjene bioloških procesa u tijelu deponije (tj. faze razgradnje otpada), kao i sastava otpada, te načina odlaganja. Otpad od trenutka odlaganja prolazi kroz različite faze razlaganja, a svaka ima određene karakteristike i utiče na sastav procjednih voda i promjenu sastava deponijskog gasa. Aerobna faza je prilično kratka i u ovom periodu se ne očekuje nikakva značajna produkcija procjednih voda. U anaerobnim uslovima filtrat se generalno može podijeliti na „kiseli” i „metanski”, odnosno acetogene i metanogene procjedne vode. Zbog toga

su izražene razlike između procjednih voda novih deponija, odnosno deponija sa svježim otpadom i onih starih, sa višegodišnje odloženim otpadom. Procjednu vodu sa „mladog“ otpada, karakterišu visoke vrijednosti hemijske (HPK) i biološke potrošnje kiseonika (BPK). Metanogene procjedne vode (sa znatno nižim HPK i BPK) potiču sa starijih deponija, gdje je uveliko prisutan proces razgradnje organskih materijala u otpadu.

Degradacioni procesi jedne komunalne deponije mogu se globalno podijeliti u četiri, odnosno pet faza (u zavisnosti od prodora vazduha u tijelo deponije). Prvu, inicijalnu fazu (**faza I**) karakterišu: aerobni procesi u okviru kojih se intenzivno troši atmosferski kiseonik za oksidacionu hidrolizu ugljenih hidrata, proteina (aminokiselina) i masti (tj. dugolančanih masnih kiselina) iz organskih otpadaka. Tokom ove faze kiselost sredine polako raste, pH opada, što ujedno omogućava i ubrzano rastvaranje neorganskih sastojaka. Daljim odvijanjem procesa dekompozicije, sredina u tijelu deponije postaje anaerobna. Dakle, iza prve, aerobne faze, slijedi faza anaerobne razgradnje otpada koja se dijeli na tri faze. Prva faza anaerobne degradacije (**faza II**) je hidroliza i fermentacija, što uzrokuje smanjenje pH vrijednosti procjednih voda (blago do jako kiseli pH). U ovoj fazi procjedna voda sadrži: visoke koncentracije razgradivih organskih jedinjenja, prisutna je intenzivna proizvodnja kratkolančanih organskih kiselina, kao i visoke koncentracije metala (tabela 10.2). Dobijena procjedna voda sadrži i amonijačni azot u visokoj koncentraciji. Od organskih kiselina je uglavnom prisutna sirćetna kiselina, ali i mliječna i mravlja kiselina te proizvodi derivata kiselina, a njihovo formiranje zavisi od sastava inicijalnog otpadnog materijala. Druga anaerobna faza (**faza III**) – acetogeneza – počinje sporim rastom metanogenih bakterija. Dolazi i do pojave visoke vrijednosti BPK (biohemijske potrošnje kiseonika) (slika 10.11.) što ukazuje na visoku biorazgradivost velikog dijela razgradivih organskih jedinjenja. Kiseli uslovi acetogenog stadijuma povećavaju rastvorljivost metalnih jona i time povećavaju njihovu koncentraciju u procjednoj vodi. Hemijska potražnja za kiseonikom (HPK) se povećava kroz drugu i treću fazu, ali se smanjuje u metanogenoj fazi IV. Treću anaerobnu fazu (**faza IV**) razgradnje otpada karakteriše metanogena fermentacija izazvana metanogenim bakterijama. Kao posljedica toga, ukupni organski ugljenik, tj. koncentracija organskih materija, u procjednoj vodi se smanjuje u poređenju sa acetogenom fazom. U ovoj fazi, sastav procjednih voda karakteriše gotovo neutralna pH vrijednost uz niske koncentracije isparljivih kiselina i relativno niske vrijednosti BPK. Kako se pH procjedne vode povećava, joni metala postaju manje rastvorljivi i smanjuje se njihova koncentracija u procjednoj vodi. Amonijak je i dalje prisutan u visokim

koncentracijama, a takođe i: hloridi, sulfati i pojedini teški metali. Nivoi BPK i HPK se smanjuju u poređenju sa acetogenim procjedinim vodama.



Slika 10.11. Promjenjivost sastava procjedinih voda kroz faze razlaganja otpada u deponiji (prema Williams, 2005)

Kako se proces biodegradacije bliži finalizaciji, aerobni uslovi se ponovo mogu uspostaviti unutar tijela deponije, dok procjedna voda postaje manje hazardna po životnu sredinu.

Procjedne vode imaju tendenciju da sadrže veliki broj organskih i neorganskih jedinjenja u relativno niskoj koncentraciji koja mogu biti zabrinjavajuća ako dođe do kontaminacije podzemnih i površinskih voda. Ova jedinjenja su često sastojci benzina i loživih ulja (aromatični ugljovodonici kao što su benzol, ksilen i toluen), nusproizvodi degradacije biljaka (fenolna jedinjenja), hlorisani rastvarači (kao što se koriste u hemijskom čišćenju) i pesticidi. Neorganska jedinjenja koja izazivaju zabrinutost su olovo i kadmijum, koji potiču iz: baterija, plastike, ambalaže, elektronskih uređaja i sijalica.

U poređenju sa kanalizacionom vodom, procjedna voda se obično sastoji od: visoke koncentracije organskih jedinjenja, veće koncentracije azota i niže koncentracije fosfora. Visoke koncentracije teških metala se rijetko nalaze u procjedinim vodama zbog toga što se u anaerobnom okruženju unutrašnjosti deponije formira stabilan kompleks sulfida i metala (Christensen i Kjeldsen, 1995).

Koncentracija zagađujućih materija organskog porijekla dostiže svoj maksimum u ranijim fazama (prve dvije do tri godine), dok ostali parametri pokazuju smanjenje

nakon 3–5 godina (željezo, cink, fosfat, hloridi, natrijum, organski azot, bakar i suspendovane materije) (Serdarević, 2016)

Tabela 10.2. Sastav procjednih voda novih i starih deponija (<http://leachate.co.uk>)

Parametri	Jed.	Filtrat A	Filtrat B
		„svježi“ otpad	„stari“ otpad
pH		6.2	7.5-8
HPK	mg/l	23 800	1 160
BPK₅	mg/l	11 900	260
TOC	mg/l	8 000	465
VFA (volatilne masne kiseline)	mg/l	5 688	5
NH₄-N	mg/l	790	370
Orthofosfati	mg/l	0.73	1.4
Hloridi	mg/l	1 315	2 080
Natrijum	mg/l	960	1 300
Magnezijum	mg/l	252	185
Kalijum	mg/l	780	590
Kalcijum	mg/l	1 820	250
Zeljezo	mg/l	540	23
Nikl	mg/l	0.6	0.1
Bakar	mg/l	0.12	0.03
Cink	mg/l	21.5	0.4
Olovo	mg/l	0.4	0.14

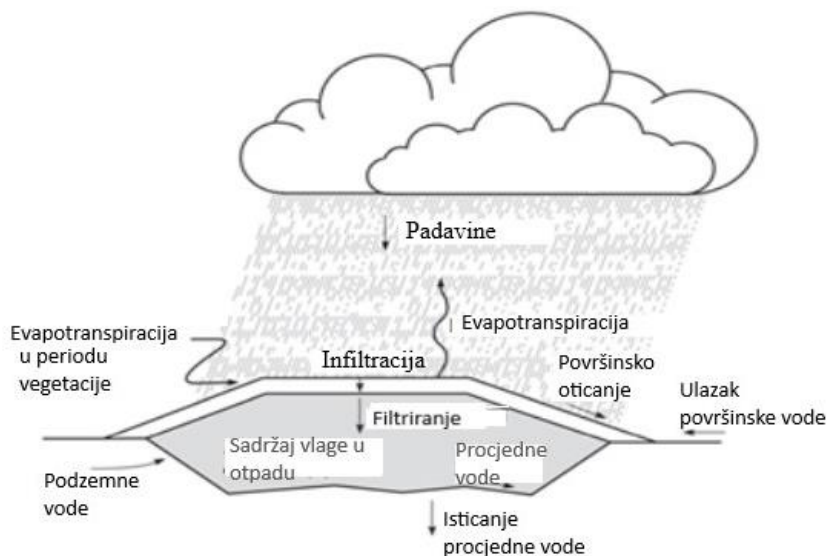
10.6.3. Količina procjednih voda

Najveća količina procjednih voda nastaje od vanjskih voda koje prodiru u tijelo deponije, pod pretpostavkom da otpad leži iznad nivoa podzemnih voda. Pored toga, na vodni bilans⁵⁵ deponije, utiče i sadržaj vlage otpada, kao i voda nastala kao rezultat biohemijskih reakcija. Međutim, na pravilno lociranoj i isprojektovanoj deponiji na količinu procjednih voda, najviše utiče količina padavina, izuzev u zemljama sa suvom klimom.

⁵⁵ Vodni bilans deponije predstavlja kvantitativne promjene sadržaja vode u deponiji u određenom periodu na određenoj teritoriji.

Generalno, vodni bilans sanitarne deponije predstavlja razliku između (Serdarević, 2016):

- 1) Količine vode koja dotiče u tijelo deponije (padavine, podzemni tokovi, recirkulacija filtrata na deponiju);
- 2) Količine vode koja izlazi iz tijela deponije (filtrat, evapotranspiracija⁵⁶).



Slika 10.12. Šema vodnog bilansa deponije sa završnim slojem bez izolacije (Worrell & Vesilind, 2011)

Na slici 10.12. je prikazana šema vodnog bilansa. Određeni dio padavina (zavisno od karakteristika oticanja, tipa i uslova zemljišta) će se procijeđivati kroz pokrovno zemljište, a dio ove vode se vraća u atmosferu kroz evapotranspiraciju. Ako procjeđivanje (infiltracija) premaši evapotranspiraciju dovoljno dugo, količina vode koju zemljište i otpad može da zadrži (njegov kapacitet) biće premašena. Kapacitet predstavlja maksimalnu vlagu koju otpad može zadržati bez kontinuiranog procjeđivanja naniže usljed gravitacije. Naime, tokom početnog perioda odlaganja otpada, sadržaj vlage u otpadu se povećava sve dok ne postigne maksimalnu mogućnost upijanja. Ako je zemljište na vrhu deponije prekriveno biljnim pokrivačem, biljke mogu da izvlače vodu iz zemljišta i oslobađaju je evapotranspiracijom, i na taj način isušuju zemljište i smanjuju količinu procjednih voda. Svi slojevi mješavine zemljišta i otpada na zbijenoj deponiji takođe imaju sposobnost zadržavanja vlage, a od njihovog kapaciteta zavisi da li će ispuštati

⁵⁶ Evapotranspiracija je složen proces sastavljen od gubitka vode isparavanjem iz zemljišta i transpiracijom biljaka (tj. izlučivanje vode iz biljke u obliku vodene pare).

procjednu vodu u dublje slojeve. Neke grube procjene se mogu koristiti za razvoj neophodnih proračuna, uzimajući u obzir: koeficijente površinskog oticanja (mogu se procijeniti za različita zemljišta i nagibe), podatke o padavinama, stope evapotranspiracije i dr.

10.6. 3.1. Modeli za procjenu količine filtrata

Na osnovu prethodno iznesenog, može se zaključiti da je proračun količina procjednih voda složen zadatak, posebno uzimajući u obzir neophodnost dinamičke analize vodnog bilansa deponije. U praksi se koristi više različitih modela za procjenu količine generisanih procjednih voda. Procjena proizvedene količine procjedne vode, nakon što se postigne stabilno stanje, može se razviti korišćenjem jednostavne metode vodnog bilansa. Faktori koji doprinose infiltraciji vode uključuju one primljene padavinama, oticanje površinske vode i vodu koja prodire kroz strane i dno ćelije. Za proračun količine filtrata se primjenjuje niz empirijskih jednačina, kao i smjernica, od kojih će samo neke biti navedene u nastavku teksta.

Hipotetički bilans vode po J. Pichtel (2014) je predstavljen jednačinom:

$$L = P + R_{on} + U - E - R_{off} \quad (10.2)$$

Gdje je:

L – procjedna voda

P – padavine

R_{on} – tekuća površinska voda

U – dotok podzemne vode u ćeliju

E – evapotranspiracija

R_{off} – oticanje površinskih voda

Ako je deponija pravilno projektovana, površinske vode će biti preusmjerene iz otpada, pa je $R_{on} = 0$. Pored toga, ako je deponija izgrađena iznad nivoa vode i poseduje nepropusnu oblogu i $U = 0$ (tj. nema donjeg dotoka). Jednačina se u tom slučaju može pojednostaviti na:

$$L = P - E - R_{off} \quad (10.3)$$

Za proračun bilansa vode se može koristiti i sljedeća jednačina (Worrell & Vesilind, 2011):

$$C = P (1 - R) - S - E \quad (10.4)$$

Gdje je:

C – ukupna filtracija u gornji sloj zemljišta, mm/god

P – padavine, mm/god

R – koeficijent oticanja

S – skladištenje u zemljište ili otpad, mm/god

E - evapotranspiracija, mm/god

Prema ruskim istraživanjima maksimalne dnevne količine procjernih voda mogu se izračunati prema sljedećoj formuli:

$$Q = k \cdot (A \cdot P) / 365 \quad (10.5)$$

Gdje je:

k – koeficijent apsorpcije vlage i isparavanja otpada (K = 0,1 za sanitarnu deponiju na ravnom terenu, K = 0,15 za sanitarnu deponiju na nagibu, K > 0,5 za neuređenu deponiju)

A – ukupna površina deponije pod otpadom (m²)

P – prosječna količina padavina (mm)

Okvirne vrijednosti produkcije filtrata za prosječne godišnje padavine od 750 mm vodenog taloga (20,55 m³/ha/dan) iznose oko 5 m³/ha/dan filtrata kod starijih i specifično gušćih deponija. Ta količina filtrata iznosi oko 25% od ukupno primljene količine vodenog taloga. U slučajevima mlađih komunalnih deponija sa malom specifičnom gustom godišnje se oslobađa prosječno oko 9 m³/ha/dan filtrata, ili oko 40% od ukupno primljene količine vodenog taloga (Gržetić, 1996). Treba imati u vidu da jedan dio vodenog taloga ispari, a drugi dio se zadržava u deponiji. U slučaju male količine padavina i visokih temperatura, kao npr. u Los Anđelesu, neto filtracija kroz deponovani otpad je nula i to objašnjava odsustvo procjernih voda na deponijama južne Kalifornije. Nedostatak vlažnosti u tijelu deponije uzrokuje smanjenje mikrobioloških procesa razgradnje organskih komponenti u otpadu i njihovog „mumificiranja”.

Računarski modeli koji se najčešće koriste su model HSSWDS (*Hydrologic simulation on solid waste disposal sites*) autora Perriera i Gibsona (1982) i HELP (*Hydrologic evaluation of landfill performance*), računarski program koji je razvio Inženjerski korpus američke vojske. Model HSSWDS simulira samo sistem pokrivača, ne uzimajući u obzir bočni tok kroz drenažne slojeve. HELP model

zahtijeva detaljnu morfologiju lokacije deponije i obimne hidrološke podatke da bi se izvršio vodni bilans. Ovaj model predstavlja hidrološku simulaciju kretanja vode: po, u, kroz i iz deponije, uzimajući u obzir: padavine, evapotranspiraciju, temperaturu, brzinu vetra, stope infiltracije i parametre sliva (kao što su: površina, propusnost, nagib i depresija). Mogu se modelovati različiti sistemi deponija, uključujući različite kombinacije: vegetacije, pokrivača, otpadnih ćelija, slojeva bočnih odvoda, barijera zemljišta niske propusnosti i sintetičkih geomembranskih obloga. HELP model je najkorisniji za dugoročno predviđanje količine procjednih voda, ali nije pogodan za predviđanje dnevne proizvodnje procjednih voda.

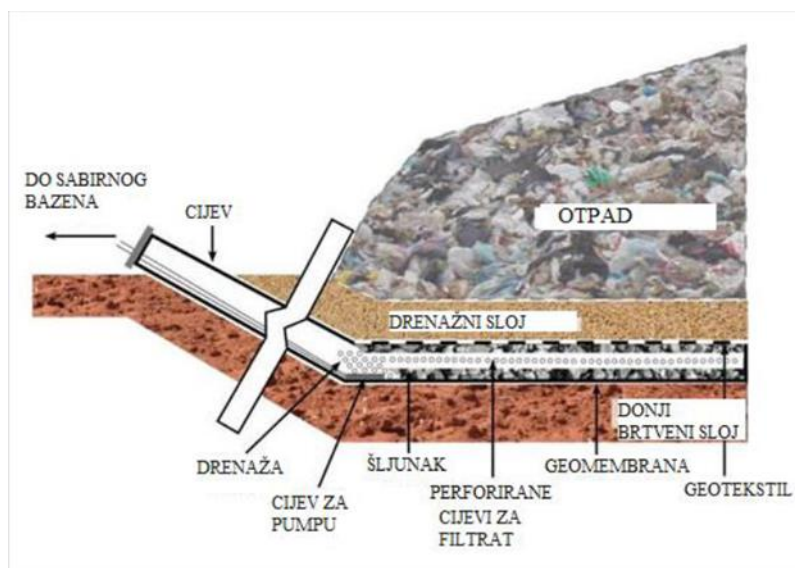
U praksi, količine procjednih voda mogu značajno odstupati od teoretskih proračuna količina. Značajan faktor predstavlja propusnost materijala za prekrivanje slojeva otpada. Uopšteno, zapremina procjednih voda se smanjuje nakon zatvaranja deponije, a iznos zavisi od propustljivosti poklopca deponije.

10.6.4. Sistemi sakupljanja i prečišćavanja procjednih voda

Procjedne vode sa deponija su uglavnom vrlo zagađene vode koje u sebi sadrže kompleksna jedinjenja čiji tretman nije nimalo lak. Deponijske otpadne vode su identifikovane kao jedna od glavnih prijetnji resursima podzemnih voda. Pored potencijalnog uticaja na podzemne vode, neprečišćene procjedne vode predstavljaju veliki teret zagađenja i opasnost po životnu sredinu ako se takve vode direktno ispuštaju u otvoreni vodotok. Ugradnjom nepropusnih folija u podloge sanitarnih deponija postiže se zaštita podzemnih voda od infiltracije procjednih voda sa deponija, čime se sprečava moguća drenaža filtrata u podzemni akvifer. Na savremenoj sanitarnoj deponiji osnovni zadatak je da sva procjedna voda (filtrat/eluat) koja se procjeđuje kroz otpad bude sakupljena na dnu deponije i odvedena do uređaja za prečišćavanje. Sakupljanje procjedne vode se obično izvodi postavljanjem kosih terasa koje omogućavaju kretanje ovih voda ka kolektorskim kanalima u kojima se nalaze porforirane cijevi. Za sakupljanje filtrata koriste se drenažni horizontalni sistemi koji se po visini mogu polagati u više slojeva, u zavisnosti od popunjavanja deponije (slika 10.13). Sistemom cijevi se deponijski filtrat transportuje gravitacionim putem ili uz pomoć pumpi do sabirnog bazena (rezervoara/lagune), gdje se privremeno zadržavaju radi ujednačavanja njihovog protoka i sastava. Sakupljene otpadne vode moraju se kontinuirano analizirati, a zatim odgovarajućim postupcima obrađivati.

Na izbor i projektovanje procesa tretmana procjednih voda utiče više faktora koji uključuju:

- 1) Definisane karakteristika procjednih voda (količina i kvalitet);
- 2) Analizu mogućnosti konačne dispozicije procjednih voda, te određivanje odgovarajućeg nivoa tretmana;
- 3) Izbor procesa prečišćavanja ili procesa koji će postići da kvalitet efluenta zadovoljava zakonsku regulativu i nesmetano ispuštanje u recipijent;
- 4) Potrošnja energije za rad postrojenja;
- 5) Uticaj na životnu sredinu;
- 6) Analiza troškova različitih procesa tretmana, zavisno od izbora konačne dispozicije;
- 7) Izbor najboljeg procesa tretmana i dispozicije sa aspekta pouzdanosti, fleksibilnosti i ostalih specifičnih zahtjeva.



Slika 10.13. Sakupljanje filtrata na sanitarnoj deponiji

Za pravilan odabir tehnologije i veličine postrojenja za prečišćavanje procjednih voda potrebno je uzeti u obzir sve prethodno navedene faktore. Zbog varijabilnosti karakteristika procjednih voda, dizajn sistema za njihov tretman je komplikovan. Na primjer, tip postrojenja za prečišćavanje koji je dizajniran da tretira procjedne vode sa karakteristikama prijavljenim za novu deponiju bi se prilično razlikovao od onog projektovanog za prečišćavanje procjednih voda sa zrele deponije. Problem

analize je dodatno komplikovan činjenicom da je procjedna voda koja se stvara u bilo kom trenutku mješavina procjednih voda dobijenih iz čvrstog otpada različite starosti.

U savremenoj svjetskoj praksi, problem prečišćavanja i konačnog odlaganja procjednih voda sa deponija, uglavnom se rješava na jedan od sljedeća četiri načina:

- 1) Biološko ili fizičko-hemijsko prečišćavanje voda na lokaciji deponije i ispuštanje prečišćene otpadne vode u vodotok.
- 2) Prečišćavanje na lokaciji deponije i konačno odlaganje prečišćene otpadne vode razlivanjem po obližnjem zemljištu.
- 3) Vraćanje prikupljene sirove procjedne vode nazad u tijelo deponije (recirkulacija).
- 4) Djelimično prečišćavanje procjedne vode na lokaciji deponije i ispuštanje u gradsku kanalizacionu mrežu.

Izbor načina rješavanja problema prečišćavanja i konačnog odlaganja procjednih voda sa deponija zavisi od: zakonske regulative, uslova na lokaciji deponije, prisustva kanalizacionih sistema i sl.

10.6. 4. 1. Recirkulacija procjednih voda

Recirkulacija predstavlja jedan od načina za smanjenje količina deponijskih procjednih voda, odnosno njihovo zbrinjavanje. Procjedne vode sakupljene drenažnim sistemom odvođe se iz tijela deponije do bazena (lagune), a nakon toga vraćaju na deponiju putem rasprskivanja po njenoj površini. Recirkulacija procjedne vode zahtijeva dizajn distributivnog sistema kako bi se obezbijedilo da procjedna voda ravnomjerno vlaži i prolazi kroz cjelokupni otpad. Korišćenjem niza razvodnih horizontalnih cijevi unutar otpada ili nanošenje rasprskivanjem direktno na radnu površinu, tretirana ili neobrađena procjedna voda se vraća na deponiju (slika 10.14).

Recirkulacija ima više korisnih efekata: ubrzava se proces razgradnje otpada i stabilizacije deponije, smanjuje se zapremina procjednih voda pomoću isparavanja, povećava se stvaranje deponijskog gasa, smanjuju se troškovi tretmana procjednih voda i ukupni troškovi rada deponije. Vlaga ubrzava razgradnju organskih materijala 2–3 puta, a brža stabilizacija otpada se postiže na način da dodatna težina vode ubrzava brzinu sabijanja deponijskog otpada, produžavajući vijek trajanja lokacije. Dodatna vlaga unutar deponijskog otpada podstiče razvoj gasa metana tako da vlasnici deponija mogu implementirati projekat energetske obnove

prikupljanjem i korišćenjem ovog gasa. S obzirom da veća koncentracija metana može biti eksplozivna potrebno je deponiju opremiti dobro osmišljenim sistemom za sakupljanje i iskorišćavanje gasa.



Slika 10.14. Primjer primjene recirkulacije kao postupka za upravljanje otpadnim vodama (Doran, 2014)

Nedostatak postupka recirkulacije je u tome što su iskustva pokazala da se na ovaj način ne mogu zbrinuti sve količine procjednih voda. Zbog toga se recirkulacija ubraja u postupke za smanjenje količine procjednih voda. Drugi nedostatak se ogleda u činjenici da procjedne vode svježeg otpada (na novim deponijama) imaju intenzivan smrad, te bi se prije raspršivanja po deponiji trebalo uputiti na predtretman gdje se intenzivno miješaju sa vazduhom (20 i više dana) (Milanović, 1992). Nakon takvog predtretmana dio procjednih voda se recirkuliše po površini deponovanog otpada, gdje se raspršuje putem posebnih mlaznica.

Inostrana iskustva pokazuju da je pri količini padavina od 750 mm godišnje, postupkom recirkulacije moguće smanjiti količinu procjednih voda za oko 50%. Dio procjednih voda koji se ne može recirkulisati, nakon predtretmana odvođi se do uređaja za prečišćavanje. Postupkom recirkulacije najveći dio proizvodnje gasa i procjednih voda će se odvijati u prvim godinama života deponije, dok sistemi za sakupljanje gasa i procjednih voda funkcionišu efikasno (prije nego se cijevi i pumpe začepe i pokvare).

Isparavanje procjedne vode može biti posebni postupak upravljanja ovim otpadnim vodama na način da se ona raspršuje u obložena jezera (akumulacije) za procjedne vode i dozvoli da isparava tokom ljetnjih mjeseci. Takva jezera moraju biti pokrivena geomembranama tokom perioda velikih padavina. U sušnijim klimama, isparavanje kroz velike površinske akumulacije je uobičajeno rješenje za manje količine procjednih voda. Na takvim akumulacijama mora se vršiti kontrola mirisa.

10.6. 4. 2. Prečišćavanje procjednih voda

Svi postupci prečišćavanja procjednih voda zasnivaju se na višestepenim postupcima, koji moraju biti usklađeni sa količinom i kvalitetom otpadnih voda koje se proizvode u tijelu deponije. U praksi se primjenjuju različite opcije za tretman procjednih voda, pri čemu je većina zasnovana na postojećim metodama prečišćavanja otpadnih voda, te uključuje početni predtretman, kao: fizičke, hemijske i biološke tehnike tretmana otpadnih voda. Izbor metoda za tretman procjednih voda zavisi, na prvom mjestu, od: željenog stepena prečišćavanja i zakonskih propisa.

Metode koje se koriste u obradi procjedne vode su brojne i uslovno se mogu podijeliti u tri kategorije:

1. Fizičke (sedimentacija, uparavanje);
2. Biološke (biohemijske) metode (aktivni mulj, aeracija, nitrifikacija, denitrifikacija);
3. Fizičko-hemijske (adsorpcija na aktivnom uglju, adsorpcija na specijalnim smolama, membranska tehnika, jonska izmjena, flokulacija i taloženje).

Tehnologije koje se danas najčešće koriste za prečišćavanje procjednih voda baziraju se uglavnom na primjeni bioloških postupaka prečišćavanja kao što su: procesi sa aktivnim muljem, membransko biološki reaktori (MBR)⁵⁷, SBR tehnologije za biološki tretman (engl. *Sequencing Batch Reactor*)⁵⁸, ali se iste vrlo često moraju kombinovati sa fizičko-hemijskim procesima kao što su: koagulacija, flokulacija, precipitacija, oksidacija, filtracija, reverzna osmoza i drugim, da bi se postigao propisani kvalitet efluenta. Kombinacija fizičko-hemijskog i biološkog tipa tretmana jedan je od efikasnijih postupaka za tretman procjednih voda. Fizičko-hemijske metode se uglavnom koriste kao predtretman biološkom procesu prečišćavanja procjednih voda.

Biološki tretman je vrlo efikasan način za prečišćavanje otpadnih voda sa srednjom ili visokom koncentracijom biorazgradivih organskih materija. Pri izboru tehnika za prečišćavanje procjednih voda treba imati u vidu da se s vremenom mijenja njihov sastav, pa tako npr. povećanjem starosti deponija povećava se sadržaj ukupnog azota, dok se organsko opterećenje poslije određenog vremena

⁵⁷ MBR tehnologija se bazira na kombinaciji bioloških procesa prečišćavanja sa aktivnim muljem i odvajenjem biomase i drugih suspedovanih materija membranskom filtracijom.

⁵⁸ SBR tehnologija predstavlja metod tretmana otpadnih voda na principu aerobne biološke obrade sa primjenom aktivnog mulja i dubinske aeracije

smanjuje. Najširu primjenu imaju procesi sa aktivnim muljem, gdje pored redukcije organskih materija, veoma važnu ulogu ima i proces redukcije amonijaka. Da bi se smanjile visoke koncentracije nitrata u efluentu postrojenja i stabilizovale vrijednosti pH, uspostavlja se proces denitrifikacije. Postupak sa aktivnim muljem je izuzetno efikasan, ali i skup. Zasniva se na miješanju procjednih voda sa suspendovanom populacijom mikroorganizama u aeracionoj laguni. Da bi proces sa aktivnim muljem bio u potpunosti aeroban, neophodno je da se kroz cijeli proces prečišćavanja obezbijedi dovoljna količina rastvorenog kiseonika, što se postiže njegovim konstantnim dovodenjem iz vazduha. Mulj koji nastaje ovim aerobnim procesom se podvrgava anaerobnom razlaganju.

Membranska tehnika prečišćavanja otpadne vode koja se bazira na fizičkom procesu, relativno je novijeg datuma. Kod ovog postupka procjedna voda prolazi kroz poroznu membranu zahvaljujući pogonskom pritisku koji se dobija preko odgovarajuće pumpe. Na membrani se zadržava u velikom procentu čak i do 98 % nerastvorljive i neorganske materije iz procjedne vode koja prečišćena može biti ispuštena u neki prirodni recipijent. Vrste membrana su različite i po materijalu od kojih se grade i po prečniku otvora na membrani.

Sistem prečišćavanja uz upotrebu membrana se može podijeliti na dvije grupe:

1) Nanofiltracija i reverzna osmoza – kod ovih sistema se koriste membranski moduli pod pritiskom, uz visok stepen prečišćavanja i recirkulacije koncentrata (25%).

2) Ultrafiltracija i mikrofiltracija – ovakva postrojenja su zasnovana na modulima i kasetama potpuno potopljenim u biološke reaktore koji se nazivaju MBR – membranski bioreaktori.

Membransko-biološki reaktor (MBR) je sistem koji predstavlja kombinaciju biološkog tretmana s aktivnim muljem i membranske filtracije u jednom procesu.

Sam postupak prečišćavanja procjednih voda MBR postupkom odvija se na sljedeći način:

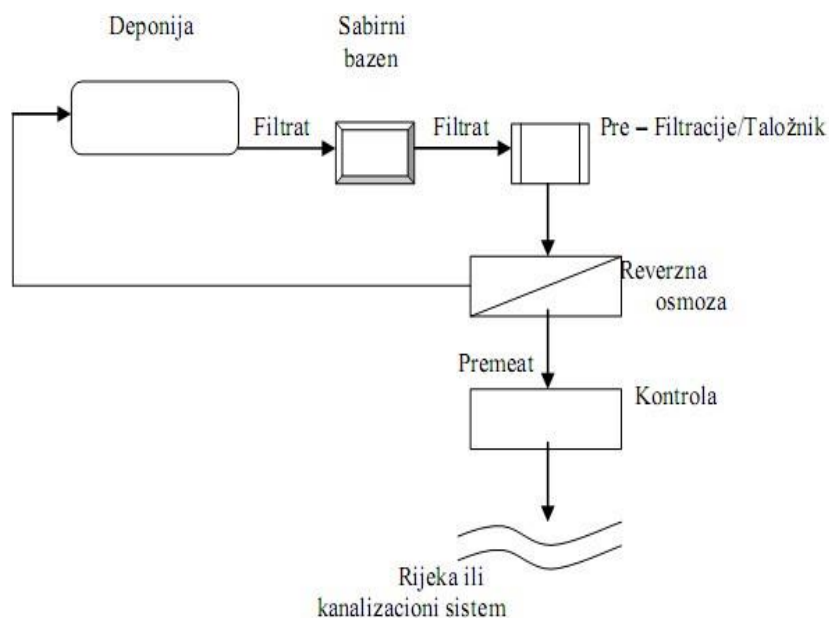
- 1) Poslije predtretmana, tj. egalizacije (izjednačavanja) količina i kvaliteta, procjedna voda se prečišćava biološkim postupkom sa aktivnim muljem. Organska zagađenja, azot i fosfor se uklanjaju.
- 2) Membranskom filtracijom se odvaja prečišćana voda od aktivnog mulja. Efluent se odvodi pomoću pumpi, a višak mulja se direktno šalje na dalji tretman.

- 3) Održavanje filtracija je ključna tačka MBR procesa. Zasniva se na različitim automatizovanim funkcijama: povratno pranje, propuhivanje i pranje hemikalijama.

Prečišćavanje procjednih voda, postupcima membranske filtracije, omogućava se visok stepen kvaliteta izlaznog efluenta, koji zadovoljava granične vrijednosti ispuštanja u površinske vodotoke, i u slučaju promjenjivog sastava i količine procjednih voda. Međutim, ovi postupci su skupi jer imaju visoke pogonske troškove i zahtijevaju određeni predtretman filtrata, koji takođe može biti zahtjevan i skup. Dodatno, postupci membranske filtracije su skupi i zbog održavanja membrana. Najčešće se vrši njihovo hemijsko čišćenje putem deterdženata, kiselina i baze, a neophodna je i njihova češća zamjena.

Za postupke prečišćavanja procjednih voda sanitarnih deponija u svijetu se, u posljednje 2–3 decenije, sve više koriste postupci prečišćavanja sa reverznom osmozom.

Reverzna osmoza je fizički postupak razdvajanja komponenti smješe. Osnova za prečišćavanje deponijskog filtrata reverznom osmozom zasniva se na tome da se sve nerastvorljive organske i anorganske supstance mogu zadržati na membrani u iznosu od 98% do 99%. Kroz difuzionu membranu prolazi prečišćena voda, a na membrani ostaje koncentrat. Ovaj koncentrat sadrži i dio vode. Permeat koji prođe kroz difuzionu membranu predstavlja prečišćenu vodu i može se direktno ispuštati u lagune ili vodotoke (slika 10.15.).



Slika 10.15. Šema prečišćavanja procjednih voda postupkom reverzne osmoze

Membrana reverzne osmoze djeluje kao barijera, na kojoj se odvija proces prečišćavanja deponijskog filtrata sa jednostavnim i preciznim mjerenjem električne provodljivosti. Primjena ovog postupka prečišćavanja omogućava visoku sigurnost u funkcionisanju sistema. Potrebni radni pritisak za odvijanje procesa reverzne osmoze ostvaruje se pomoću pumpe.

Koncentrat sa membrane, koji iznosi cca 15–25 % od ukupne količine filtrata, može se zbrinjavati sagorijevanjem u odgovarajućim postrojenjima ili miješanjem sa određenim materijalima i naknadnim odlaganjem na deponije otpada. Primjena reverzne osmoze je posebno adekvatan za postrojenja sa malim dnevnim dotokom procjednih voda (30–50 m³/dan).

Prednosti reverzne osmoze sa recirkulacijom koncentrata na deponiju su:

- 1) Uklanjanje se 90–99% suspendovanih koloidnih čestica, boje, amonijačni azot, teški metali, većina rastvorenih materija, BPK, HPK.
- 2) Biohemijski tretman koncentrata kroz filtraciju i adsorpciju.
- 3) Jednostavno proširenje kapaciteta i dodatak modula, te fleksibilnost u procesu uspostavljanja različitih kvalitativnih i kvantitativnih parametara.

Primjena reverzne osmoze je dosta skup proces koji zahtijeva obezbjeđivanje dovoljno sredstava za kontinuirane pogonske troškove (nabavke hemikalija, rezervnih filtera i dr.).

Flokulacija i taloženje. Poslije biološkog prečišćavanja ostaju teško razgradljive supstance u deponijskom filtratu koje se mogu dalje redukovati: flokulacijom, taloženjem i adsorpcijom. Ti postupci spadaju u fizičke procese. Koagulacija je fizičko-hemijski postupak u kojem se pomoću dodatka koagulanta vrši destabilizacija koloida u sirovoj vodi, odnosno postupak izbivanja naboja koloidnih čestica. Jednom neutralizovane, čestice se više ne odbijaju jedna od druge i mogu ostati okupljene. Flokulacija je fizičko-hemijski postupak u kojem se uz dodatak flokulanta ukupnjavaju koloidne čestice u veće aglomerate (flokule). Bez koagulacije ne može nastupiti flokulacija, odnosno taloženje čestica, a samim procesom koagulacije ne možemo praktično odstraniti koloidne čestice iz vode.

Adsorpcija. Kod adsorpcije se odvijaju fizičko-hemijski procesi. Adsorpcija predstavlja postupak prenosa mase u kojoj se sastojak iz tečne faze prenosi u čvrstu fazu (adsorbent). Adsorbenti mogu biti različiti, a potražnja za boljim kvalitetom prečišćavanja otpadnih voda, uključujući smanjenje toksičnosti, dovele su do intenzivnih ispitivanja i korišćenja adsorpcije na aktivnom uglju. Adsorpciji na

aktivnom uglju može da prethodi: biološka obrada procjedne vode, flokulacija, reverzna osmoza i sl. U ovom slučaju uglj se koristi da bi se uklonio dio preostale rastvorene organske materije. Reverzna osmoza se praktikuje i poslije procesa adsorpcije.

Hemijska oksidacija. Kod hemijske oksidacije neoksidirajuće supstance iz deponijskog filtrata oksidiraju uz prisustvo oksidacionog sredstva. Kao oksidaciono sredstvo koristi se vodonik-peroksid ili ozon. Dodavanjem jakog oksidacionog sredstva dolazi do direktne oksidacije toksičnih i kompleksnih supstanci iz deponijskog filtrata i njihovog razlaganja u ugljen-dioksid i vodu.

10.7. PLANIRANJE DEPONIJA

Prvi korak u planiranju nove deponije je utvrđivanje uslova za lokaciju deponije. Lokacija mora obezbijediti dovoljan kapacitet deponije za odabrani projektni period i podržati sve pomoćne funkcije upravljanja deponijom, kao što su: tretman procjednih voda, upravljanje deponijskim gasom i usluge prihvatanja posebnog otpada (npr. gume, glomazni predmeti, opasni otpad iz domaćinstva). Na nekim lokacijama se nalaze i objekti za rukovanje materijalima koji se mogu reciklirati (postrojenja za obnavljanje materijala) i kompostiranje zelenog otpada. Da bi se odredio kapacitet deponije, moraju se procijeniti količine otpada namijenjene za odlaganje u određenoj lokalnoj zajednici ili više zajednica. U planiranju odlaganja čvrstog otpada, zajednice moraju gledati mnogo godina u budućnost. Kontrolisana deponija se planira na rok ne kraći od 20 godina, u skladu sa odgovarajućim prostornim i urbanističkim planom. Optimalni vremenski okvir za koji bi trebalo planirati deponiju je oko 30 godina, jer za manji period bi moglo biti organizaciono i ekonomski neprihvatljivo, a nakon 30 godina postaje teško predvidjeti stvaranje čvrstog otpada i novu tehnologiju odlaganja.

Deponija se projektuje tako da zadovoljava potrebne uslove za sprečavanje zagađenja: zemljišta, podzemnih i površinskih voda, vazduha, kao i da obezbijedi kontrolisano upravljanje procjednim vodama i izdvojenim gasovima. Zaštita zemljišta, podzemnih i površinskih voda postiže se kombinacijom geološke barijere i donjeg nepropusnog sloja za vrijeme aktivne faze deponije i kombinacijom geološke barijere i gornjeg nepropusnog sloja za vrijeme pasivne faze nakon zatvaranja deponije. Kišnicu koja teče sa padina iznad i izvan područja deponije treba kanalisati u vodotoke, bez ulaska u operativnu oblast lokacije, kako bi se smanjila infiltracija u tijelo deponije. Zaštita vazduha postiže se postavljanjem

odgovarajućeg sistema za degasifikaciju i redovnim prekrivanjem otpada inertnim materijalom.

Izgradnja sanitarne deponije podrazumjeva aktivnost u više sukcesivnih faza među kojima najvažnije mjesto zauzima izbor lokacije. Promašaji i greške u ovoj fazi ne mogu se popraviti u narednim fazama izgradnje deponije, bez značajnog povećanja troškova, a često ni pod tim uslovima.

10.7.1. Izbor lokacije deponije

Izbor lokacije deponije otpada spada u prvu etapu izgradnje sanitarne deponije, a ujedno se smatra i najvažnijom odlukom u procesu izgradnje. Izbor lokacije deponije otpada je složen i zahtjevan proces koji se sastoji od: proučavanja i istraživanja makrolokacije na kojoj se planira izgradnja deponije, te zadovoljenja svih kriterijuma koji su u funkciji očuvanja životne sredine i zdravlja ljudi. Po mišljenju nekih stručnjaka nijedan osnovni javni objekat, sa mogućim izuzetkom aerodroma, nije teže planirati, postaviti i dozvoliti od deponije (Worrell & Vesilind, 2011). Obično je potrebno više od deset godina da se prođe kroz proces otvaranja nove deponije. Tokom desetogodišnjeg procesa, mnoga pravila će se promijeniti, uključujući: propise, dozvole i zahtjeve za odobrenje. Osim toga, protivljenje javnosti, pa čak i tužbe tokom procesa su više nego vjerovatne. Najčešći uzrok nezadovoljstava i protivljenja lokalnog stanovništva odnosi se na mogućnost da izgradnja deponije može izazvati probleme u vezi sa: gustinom saobraćaja, bukom, mirisom, uticajem na pad vrijednosti nekretnina u ukolini, zagađivanjem podzemnih voda, zemljišta i vazduha, itd. Odatle se javlja svjetski poznati stav: N.I.M.B.Y. (eng. „*not in my back yard*“, odnosno: „ne u mom dvorištu“). Takav stav stanovništva bi se eventualno mogao promijeniti njihovom edukacijom o modernim i sigurnim tehnologijama deponovanja otpada i uključivanjem javnosti u rješavanje problema kroz transparentan i demokratski postupak izbora lokacije deponije.

Izgradnja sanitarnih deponija čvrstih otpadnih materija podrazumjeva aktivnosti u više faza kod kojih je neophodno poštovati određeni redoslijed. Proces izbora lokacije deponije uslovljen je društvenim, ekonomskim i ekološkim faktorima, a odvija se u nekoliko faza koje vode do izdvajanja potencijalnih lokacija.

Proces izgradnje sanitarnih deponija odvija se uglavnom u četiri faze:

- 1) Određivanje (izbor) lokacije (terensko-istraživački postupak).
- 2) Utvrđivanje lokacije (kroz prostorno-urbanističku dokumentaciju) i izrada uslova za njeno privođenje namjeni.
- 3) Izrada dokumentacije za izvođenje (tehnička dokumentacija).
- 4) Izgradnja deponije.

Svaka od ovih faza podliježe specifičnim zakonskim i stručnim uslovima, kao i: specifičnoj proceduri obezbjeđenja podataka, iznalaženja optimalnih rješenja i revizije svake faze posebno.

Izbor najpovoljnije lokacije evaluira se po različitim kriterijumima, a eliminacijom se odbacuju nepovoljnije opcije. Izbor elementarnih kriterijuma je uslovljen konkretnim prostornim odlikama, a zasnivaju se na efikasnom funkcionisanju deponije i efikasnoj zaštiti životne sredine (Josimović i dr., 2009). Rangiranjem potencijalnih lokacija prema uporednim kriterijumima nastoji se doći do najpovoljnije lokacije. Na potencijalnoj lokaciji/lokacijama nužno je provesti detaljna: geološka, hidrogeološka, geotehnička i ekološka istraživanja kako bi potvrdili da je izabrana najpovoljnija lokacija, te omogućili donošenje konačne odluke o lokaciji buduće deponije.

Lokacija deponije mora uzeti u obzir zahtjeve koji se odnose na:

- 1) Udaljenosti od granice lokacije do stambenih i rekreativnih područja, plovnih puteva, vodnih tijela i drugih poljoprivrednih ili urbanih lokacija.
- 2) Postojanje podzemnih voda, površinskih voda ili zona zaštite prirode u tom području.
- 3) Geološke i hidrogeološke uslove u oblasti.
- 4) Rizik od poplava, slijeganja, klizišta ili lavina na lokaciji.
- 5) Zaštitu prirodnog ili kulturnog naslijeđa na tom području.

Direktivom Evropske unije 1999/31/EC o deponijama otpada definisani su minimalni standardi koji se moraju poštovati pri: planiranju, projektovanju, izgradnji, eksploataciji i monitoringu deponija, a svrstani su u pet grupa:

- 1) Raspoloživi prostor (dimenzije) i prirodne karakteristike lokacije.
- 2) Položaj i/ili udaljenost lokacije u odnosu na objekte određenih kategorija, vidljivost lokacije i ambijentalno uklapanje.
- 3) Mogućnost osiguranja materijala potrebnih za izgradnju deponija.

- 4) Saobraćajne veze, transportna rastojanja i infrastrukturno opremanje lokacije.
- 5) Sadašnje korišćenje prostora i pitanja vlasništva parcele/lokacije.

Uredbom odlaganja otpada na deponije u Republici Srpskoj („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj: 36/15) su definisani opšti uslovi i kriterijumi za određivanje lokacije deponije.

Pri izboru lokacije za deponiju uzimaju se u obzir opšti uslovi i kriterijumi koji se odnose na:

- 1) Namjenu prostora i korišćenje zemljišta.
- 2) Topografiju terena.
- 3) Inženjersko-geološke, geotehničke, hidrogeološke i seizmičke uslove na posmatranom području.
- 4) Klimatske, hidrološke i hidrografske karakteristike posmatranog područja.
- 5) Zone i uslove zaštite.
- 6) Saobraćajnu i tehničku infrastrukturu.
- 7) Moguću zapreminu i kapacitet prostora.

1. Prema namjeni prostora i korišćenja zemljišta

Uslovi za namjenu površina i korišćenje zemljišta uzimaju se iz generalnog urbanističkog plana.

Razdaljina između spoljašnje granice lokacije deponije i najbližeg objekta naseljenog područja, gdje stalno borave ljudi, ne može iznositi manje od 500 metara.

Deponija se locira na udaljenosti najmanje od 300 metara od pojedinačnih kuća van naselja i drugih objekata u kojima ljudi rade ili borave, ukoliko je zaklonjena tako da tijelo deponije nije u vidnom polju.

Deponija se planira tako da posmatrani prostor zadovolji potreban kapacitet tj. zapreminu i prostorno lociranje svih neophodnih objekata.

2. Prema topografiji terena

Deponija se locira, po pravilu, u uvalama zaklonjenim bočnim reljefom, bivšim pozajmištima zemlje i ravnim terenima koji su bez tekućih i stagnirajućih voda.

Strmi tereni sa nagibom preko 25% mogu se koristiti za deponije uz primjenu adekvatnih tehničkih mera (planiranje, škarpiranje, podgrađivanje i dr.).

3. Prema hidrogeološkim, inženjersko-geološkim i geotehničkim uslovima na posmatranom području

Deponija se ne može locirati na:

- 1) Terenu sa jako ispucalom stjenovitom podlogom sa visokom vodopropustljivošću i nedefinisanim pravcima kretanja podzemnih voda.
- 2) Terenima sa slobodnim nivoom podzemnih voda gdje je sezonski nivo veći od dva metra, a u određenim hidrogeološkim i hidrološkim uslovima.
- 3) Području ugroženom klizanjem, urušavanjem, slijeganjem tla ili drugim pomijeranjem zemljine mase, ukoliko se takva pojava ne može spriječiti tehničkim mjerama.
- 4) Području sa nejednakim geotehničkim svojstvima na površini i ispod površine koji ugrožavaju deponiju, ukoliko se takva pojava ne može spriječiti tehničkim mjerama.

4. Prema klimatskim, hidrološkim i hidrografskim karakteristikama posmatranog područja

Pri izboru lokacije za deponiju sagledavaju se sljedeće meteorološke, hidrološke i hidrografske karakteristike:

- 1) Ruža vjetrova, učestalost i brzina vetra sa: maksimalnom, minimalnom i aritmetičkom sredinom i tišinom.
- 2) Srednja i maksimalna godišnja temperatura sa dužinom trajanja i brojem zimskih dana sa temperaturom manjom od 0 °C.
- 3) Broj dana sa snježnim pokrivačem, prosječna visina snježnog pokrivača, padavine u normalnim i ekstremnim uslovima u milimetrima.

Deponija se ne može locirati na:

- 1) Vodozaštićenom području određenom u skladu sa propisima koji regulišu zaštitu voda.
- 2) Zaštićenom području izvora termalno-mineralnih voda, određenom u skladu sa propisima koji regulišu zaštitu voda.
- 3) Poplavnom području određenom u skladu sa propisima koji regulišu zaštitu voda.
- 4) Terenima izvan poplavnog područja ako je povratni period velikih voda 20 godina i ako tehničkim mjerama, nije moguće ostvariti njegovu zaštitu.

5. Prema zonama i uslovima zaštite

Deponija se može locirati na:

- 1) Određenoj udaljenosti od obale: rijeka, jezera i akumulacija u skladu sa posebnim propisima i uslovima nadležnih organa i institucija.
- 2) Određenoj udaljenosti od zdravstvenog objekta za stacionarno liječenje, prirodnog lječilišta i sličnih objekata.
- 3) Određenoj udaljenosti od utvrđenog nepokretnog kulturnog dobra (spomenika kulture, prostorno kulturno-istorijske cjeline, arheološkog nalazišta i znamenitog mjesta), kao i njegove zaštićene okoline ili zaštićenog prirodnog dobra u skladu sa posebnim propisima i uslovima nadležnih organa i institucija.
- 4) Određenoj udaljenosti stovarišta zapaljivog materijala i vojnog objekta u skladu sa posebnim propisima i uslovima nadležnih organa i institucija.

Deponija se ne može locirati na terenima u zoni sanitarne zaštite izvorišta za snabdijevanje vodom za piće.

6. Prema saobraćajnoj i tehničkoj infrastrukturi

Deponija se ne može locirati:

- 1) U zaštitnom pojasu saobraćajnice ili tehničke infrastrukture.
- 2) Iznad ugrađenih instalacija za vještačko navodnjavanje, kao i drugih podzemnih infrastruktura, iznad: tunela, podvožnjaka, skloništa i sličnih objekata.
- 3) U određenom radijusu od referentne tačke aerodroma i na određenoj dužini poletno-sletne staze za sve vrste aviona, u skladu sa posebnim propisima i uslovima nadležnih organa i institucija.
- 4) Na određenoj udaljenosti od vodovoda, gasovoda, naftovoda i dalekovoda.

7. Prema mogućem kapacitetu tj. zapremini deponije

Zapremina i kapacitet deponije određuje se na osnovu uporedivih podataka dobijenih mjerenjem: količine otpada koju treba odložiti, zapreminske težine otpada (masa) na deponiji, količine prekrivnog materijala i gustine sabijanja, prema sljedećem obrascu:

$$V_{\text{prostora}} = \left(\frac{G_{ot}}{\rho_{ot}} + \frac{G_{pm}}{\rho_{pm}} \right) \quad (10.6)$$

gdje je:

V – potrebna zapremina deponije (m^3)

G_{ot} – težina otpada (t)

G_{pm} – težina prekrivnog materijala (t)

ρ_{ot} – srednja gustina sabijenog otpada (t/m^3)

ρ_{pm} – srednja gustina sabijenog inertnog materijala (t/m^3).

Ukoliko u račun uključujemo broj stanovnika i specifičnu količinu otpada, onda se za razmatrani planski period potreban deponijski prostor može računati po formuli:

$$V_d = \frac{q \cdot S \cdot P}{\rho} + V_{im} \quad (10.7)$$

gdje je:

V_d – deponijski prostor

q – specifična količina otpada (kg/st/dan)

S – broj stanovnika (st)

P – planski period (god)

ρ – zbijenost otpada (kg/m³)

V_{im} – zapremina inertnog materijala za dnevnu prekrivku (m³).

Deponija se planira za vrijeme duže od 20 godina u skladu sa odgovarajućim urbanističkim planom. Deponija se planira za vrijeme kraće od 20 godina u slučaju kada je potrebno da se popuni prirodna depresija, iskopina ili izravnavaju pojedine površine u blizini naselja.

Prilikom planiranja odabira lokacije planeri uzimaju u obzir i druge faktore kao što su: mreža naselja i broj stanovnika, izvori otpada, ukupna količina i vrsta otpada koji se može deponovati, stav javnosti prema izgradnji deponije.

10.7.1. 1. Geografski faktori izbora lokacije deponije

Otpad je vrlo značajan javno-zdravstveni problem, jer može poslužiti: kao mjesto zadržavanja vektora (prenosioca bolesti), kao izvor zagađenja zaliha podzemnih voda i površinskih vodotoka, kao faktor narušavanja kvaliteta vazduha i zemljišta i mjesto mogućeg nastanka eksplozije metana ili požara. Zbog toga je potrebno pažljivo odabrati lokaciju deponije, pri čemu je neophodno detaljno proučiti niz geografskih faktora: geološku podlogu, reljef, klimatske karakteristike (dominantni vjetrovi, temperature vazduha, ukupne količine i vremenski raspored padavina i sl.), hidrološke karakteristike, kao i udaljenost i razmještaj naselja, broj stanovnika sa proračunom trenda rasta i vrste privrednih djelatnosti.

Geološki uslovi. Izbor optimalne lokacije za deponovanje komunalnog otpada vezan je za analizu velikog broja kriterijuma od kojih geološki uslovi imaju veliki značaj. Sa inženjersko-geološkog i geomehaničkog aspekta u najširem smislu, lokalitet deponije treba da bude takav da obezbijedi stabilnost deponovanog otpada za vrijeme njene eksploatacije. Potrebno je utvrditi da li se razmatrani lokalitet nalazi na trusnom području i kakve posljedice takav teren može da ima na

objekat deponije. Kada se na osnovu brojnih geografskih i drugih faktora napravi uži izbor lokacija, treba izvršiti terenska i laboratorijska ispitivanja fizičko-mehaničkih osobina tla i njegov hemijski sastav putem ispitnih bušenja na odabranom lokalitetu.

Reljefni uslovi. Porijeklo i karakter reljefa, odnosno topografski uslovi, od velikog su značaja za izbor lokacije deponije. Oni utiču: na stabilnost deponije, na uslove njene odbrane od površinskih voda, na obim građevinskih radova, na definisanje zaštitnih zona, na uklapanje deponije u okolni teren. Za deponije je od većeg značaja mikroreljef u odnosu na makroreljef. Najjednostavnije lokacije za eksploataciju su one koje imaju padove do 5%. Već preko toga potrebno je vještački uređivati lokalitet deponije (Jahić, 1980).

Neki propisi, kao npr. austrijski, dodatno ne preporučuju za lokaciju deponija korišćenje područja:

- 1) Klizišta i velikih strmina.
- 2) Osjetljiva na potrese.
- 3) Na kojima se ne može postići dodatna lokalna sigurnost.
- 4) S jakim pukotinama, prodiranjem vode u podzemlje i posebno s karstom (ako ne postoji veza s dubokim karstom, lokacija je djelimično pogodna),
- 5) S nepovoljnim geološkim stanjem, gdje se ne može provesti potrebna sanacija terena (Milanović, 1992).

Nestabilni tereni sa klizištima mogu se koristiti za deponiju pod uslovom da su preduzete mjere sanacije: rasterećenje podloge, potporni zidovi, drenaže, itd. Prisustvo savremenih geodinamičkih procesa kao što su npr. aktivna klizišta, vrlo često isključuju istraživanu lokaciju za deponovanje, jer je daleko racionalnije i ekonomičnije izabrati novu lokaciju nego sanirati aktivno klizište. Samo u izuzetnim slučajevima, kada ne postoji drugo rješenje, mogu se koristiti nestabilni tereni, ali naravno, uz prethodno saniranje terena.

Metode geomorfološke analize omogućuju sistematsko mjerenje izabranog parametra reljefa, npr. nagiba padine i interpretaciju rezultata tog mjerenja. Sam sistem deponovanja zavisi najviše od konfiguracije terena na kome je deponija izgrađena, pa se uveliko razlikuje tehnologija deponovanja na horizontalnim terenima od onih koji su u nagibu. Pogodni tereni za lociranje deponije su: uvale zaklonjene bočnim reljefom, bivša pozajmišta zemlje i ravni tereni koji su bez tekućih i stagnirajućih voda. Obično se biraju takvi topografski lokaliteti koji nisu upotrebljivi za stambenu ili industrijsku gradnju, a takođe ni za poljoprivredne svrhe. Dosadašnja izučavanja i praksa pokazala je, da su najoptimalniji tereni za

lociranje sanitarne deponije: napušteni površinski kopovi, majdani, jaruge, uvale i ostali tereni koji se ne mogu koristiti u druge svrhe.

Hidrološke i hidrogeološke karakteristike. Geološki i hidrogeološki uslovi se ubrajaju u najvažnije faktore pri rangiranju potencijalnih lokacija budućih deponija otpada. Hidrogeološkim ispitivanjem treba utvrditi: propusnost tla, nivoe podzemnih voda, dubinu nezasićene zone, mineralogiju naslaga i ostale podatke potrebne da se utvrdi vjerovatna količina eluata, kretanje glina i sl. S obzirom na geološke i hidrogeološke karakteristike lokacije deponija treba voditi računa o vodopropusnosti tla ispod deponija i hidrogeološkoj pogodnosti šireg poručja oko deponije (doticanje podzemnih voda, brzina proticanja podzemnih voda i sl.). U hidrogeološkom smislu, zemljište za lokaciju deponije bi trebalo da bude nepropusno i to minimalne debljine 0,5 m (glina, glinasta ilovača ili stijene bez pukotina). To mogu biti prirodni ili doveženi slojevi od slabo propustljivih minerala (npr. putem korišćenja sintetičkih slojeva ili koristeći sitnozrnaste sedimente i glinu, i slično).

Ako teren na kojem je predviđena izgradnja deponije nije vodonepropustan ili ako na takvom terenu postoje izdanske vode koje mogu biti neposredno ugrožene, potrebna je izgradnja odgovarajućih podloga u cilju zaštite podzemne voda. Podinska i obodna obloga mogu biti izgrađene od prirodnih i vještačkih materijala, ili u kombinaciji i jednih i drugih. Zbog značaja podzemnih voda najbolje je ugraditi obe vrste podloge i tako povećati sigurnost od zagađivanja podzemnih voda na najviši mogući stepen.

Hidrogeološke osobine stijena karakterišu propustljivost stijena u podlozi deponije otpada, koji se izražava koeficijentom propustljivosti (filtracije). Koeficijent propustljivosti zavisi od: tipa stijene, veličine pora, vazduha u porama, temperature u porama i viskoziteta vode. U praksi je dosta teško postići koeficijent propustljivosti (filtracije) podloge deponije otpada prema direktivi Evropske unije, prije svega zbog heterogenosti sastava stijena u podlozi deponije otpada. Ograničenja gline (u smislu njenog pucanja i vodopropustljivosti) u praksi se prevazilaze primjenom bentonitnih tepiha, ili u literaturi poznatijim pod nazivom geosintetičke glinene obloge, tzv. bentonitni tepih. Bentonitni tepih predstavlja kompozitni materijal koji se sastoji od sloja geotekstila između kojih se nalazi bentonitni prah, sa visokom sposobnošću bujanja u kontaktu s vodom. Na tržištu postoje različite vrste materijala od kojih se pravi bentonitni tepih, uglavnom sačinjenih od kombinacije natrijum-bentonita i polipropilenskog geotekstila različitih oblika, povezanih na različite načine. Najčešće se zaštita dna deponija otpada zasniva se na kombinovanom sistemu zaštita. Cilj ovih zaštita podloge i dna

deponije je da onemogući prodor deponijskog filtrata i deponijskog gasa, te drugih štetnih materija iz tijela deponije u podlogu, odnosno kroz podlogu u podzemne vode.

Pored podzemnih voda, pri izboru lokacije deponije neophodno je proučiti problematiku pojave prirodnih izvora i površinskih tokova. Opšti je cilj da se izbjegne zagađenje vodotoka filtratom, kao i da doticaj voda na lokalitet deponije bude minimalan. Iz tog razloga se izbjegavaju lokaliteti koji dreniraju okolne terene, kao i one terene koji mogu biti plavljeni.

Klimatski uslovi. Od ukupnih klimatskih uslova na izbor lokacije i eksploataciju deponije najvažniju ulogu imaju: intenzitet padavina, vjetar, temperatura, vlažnost vazduha, vazdušni pritisak i osunčavanje. Posebnu pažnju zaslužuje proučavanje atmosferskih padavina sa aspekta trajanja, učestalosti i intenziteta, jer sve to ima uticaja na formiranje filtrata u samoj deponiji. Na područjima sa kišovitom klimom nije preporučljivo planirati deponije u nizijskim dijelovima, jer oni često budu plavljeni. Pored padavina, u najvažnije klimatske uslove, koji utiču na izbor lokacije deponije, ubrajamo vjetar. Uzimajući u obzir preovlađujući smjer vjetrova, deponije se lociraju u suprotnom pravcu od naselja, na lokacijama koje su visinski niže od gradskih teritorija i vodoprivrednih objekata. Od insolacije direktno zavise temperatura zemljišta i vazduha, ali i mnoge atmosferske pojave koje su u uskoj vezi sa temperaturom. Vazdušni pritisak, kao klimatatski elemenat, ima posrednu ulogu jer uslovljava pomjeranje vazdušnih masa, a time utiče i na niz promjena u atmosferi.

Transportne udaljenosti i mreža naselja. Transportne udaljenosti od mjesta nastanka otpada do mjesta deponovanja predstavlja značajan ekonomski faktor, koji se ogleda kroz: eksploatacione troškove, cijene usluga, kao i visine investicija u izgradnju priključnih puteva. Deponija se obično locira na periferiji urbanog područja ili na prostoru regionalnog središta. Rješenje problema transportne udaljenosti i troškova u regionalnom sistemu upravljanja otpadom, jednim dijelom se može potražiti u izboru optimalne lokacije regionalne deponije, odnosno regionalnog centra za upravljanje otpadom. U cilju smanjenja transportnih troškova potrebno je poštovati princip da se veća količina otpada transportuje na manju udaljenost, odnosno planirati deponiju u blizini većih gradova u kojima se produkuje veća količina otpada (Pešević, 2009). Da bi se smanjili troškovi transporta, zbog udaljenosti pojedinih opštinskih centara od lokaliteta regionalne deponije (ali i zbog velikih udaljenosti pojedinih ruralnih seoskih područja od opštinskih centara), mogu se formirati pretovarne stanice za privremeno odlaganje sakupljenog otpada i pretovar u veća transportna sredstva.

S obzirom da vrijeme putovanja zavisi od ograničenja brzine, treba tražiti mjesto deponije do koga se dolazi sa što manje otežanih uslova za vožnju (npr. preko loših dionica puta zbog: oštećenja puta, nagiba većih od 7%, neadekvatne nosivosti mostova i kroz tunele). Pri tome je poželjno da se prilaz deponiji obezbijedi iz više pravaca kako bi se izbjegli eventualni prekidi u dovozu otpada.

Za planiranje i organizaciju sanitarne deponije potrebno je imati u vidu: broj stanovnika i njegovu tendenciju rasta (ili pada), gustinu naseljenosti, kao i količinu otpada koja se proizvodi po stanovniku na dnevnom ili godišnjem nivou.

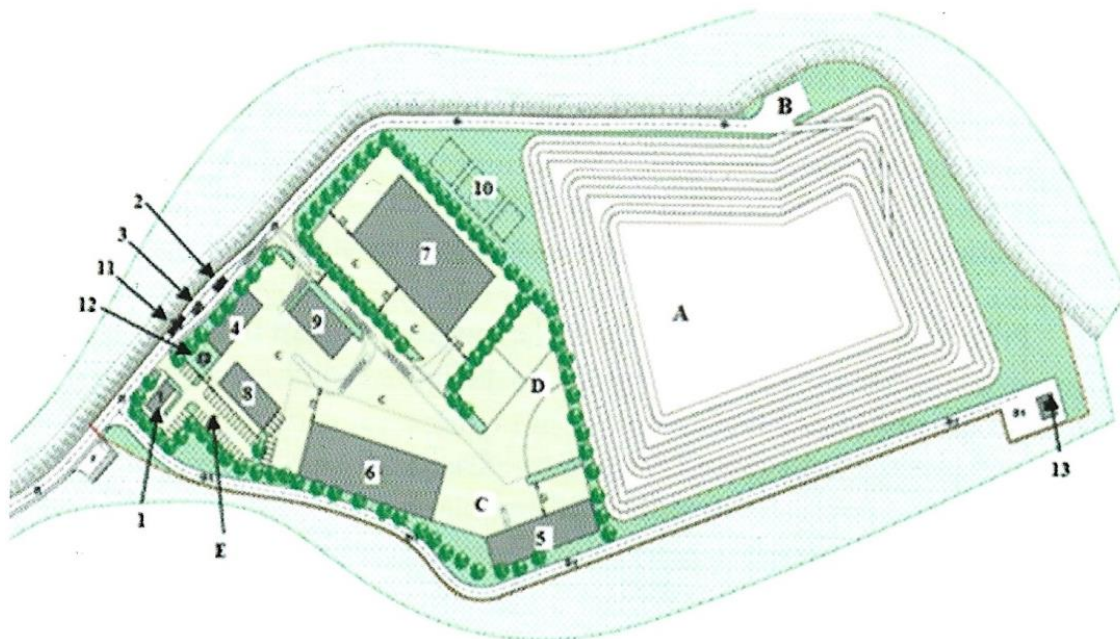
10.7.2. Sastavni dijelovi deponije i njihov razmještaj u prostoru

Deponija će se sastojati od oblasti u kojoj će se odlagati (puniti) otpad, kao i dodatne površine za pomoćne objekte. Generalno, sanitarna deponija podijeljena je na sljedeće prostore (slika 10.16):

- 1) Ulazno-izlazna zona sa pratećim sadržajima.
- 2) Prostor za odlaganje otpada – radna zona.
- 3) Prostor oko deponije.
- 4) Ostali sadržaji.

Ulazno-izlazna zona obuhvata sve objekte predviđene za smještaj opreme i boravak zaposlenih. Ovdje se predviđaju: ulazna kapija sa čuvarskim mjestom, objekt za zaposlene s parkingom, bazeni za fekalne vode i tehnološku vodu, vaga s nadstrešnicom, plato za pranje vozila i opreme, površine za inertni materijal, te površine koje će se koristiti za preradu otpada (npr. usitnjavanje) (slika 10.17.).

Prostor za odlaganje otpada je prostor na kojem se odlaže otpad po predviđenoj tehnologiji. Dno deponije mora biti izvedeno kao vodonepropusno sa sistemom za sakupljanje procjednih voda i sistemom degasifikacije. Unutar površine koja se popunjava, radovi se mogu odvijati u fazama sa samo jednim dijelom površine u aktivnoj eksploataciji.



- | | |
|--|--|
| 1. Upravna zgrada | 10. Postrojenje za tretman procjednih voda |
| 2. Portirnica | 11. Bazen za recirkulaciju |
| 3. Kolska vaga | 12. Trafo stanica |
| 4. Radionica i prostor za zaposlene | 13. Rezervoar za vodu |
| 5. Nadstrešnica za dovedeni otpad | A Koristan prostor za deponovanje |
| 6. Objekat za mehaničku obradu miješanog komunalnog otpada | B Interne saobraćajnice |
| 7. Kompostana | C Dvorište za manipulaciju, |
| 8. Nadstrešnica za baliranje 1 | D Deponovanje građevinskog otpada |
| 9. Nadstrešnica za baliranje 2 | E Parking |

Slika 10.16. Šema organizacije sanitarne deponije (INZIO d.o.o. Tz, 2015)

Prostor oko radne zone deponije predstavlja tampon zonu prema okolnom terenu, ograničavajući ulazak neovlaštenih osoba, sprečavajući divlje odlaganje otpada i raznošenje od strane domaćih i divljih životinja. U ovoj zoni nalazi se: ograda, obodni kanali, nadzorni bunari, protivpožarni put, zeleni pojas, objekti za sakupljanje i tretman procjednih voda, kao i objekti za upravljanje deponijskim gasom. Visina ograde je oko 200 cm, a uz ogradu je poželjno zasaditi trnovitu živicu. Zeleni pojas služi za odvajanje deponije od ostalog prostora i podrazumijeva sadnju autohtonih biljaka. Visoko drveće u okviru zelenog pojasa sprečava raznošenje prašine i lebdećeg otpada, a dodatno se neutralizuje buka i formira vizuelna barijera.



Slika 10.17. Ulazno-izlazna zona na deponiji Ramići, Banjaluka (DE-POT, 2013)

Ostali sadržaj čine stalne i privremene saobraćajnice. Privremene saobraćajnice služe za transport otpada do radnog polja i izrađuju se uporedo s proširivanjem deponije. Privremene saobraćajnice imaju karakter makadamskog puta. Stalni pristupni putevi su asfaltirani i omogućavaju pristup do prostora za odlaganje. Sprečavanje prenosa nečistoća sa deponije na javne puteve provodi se redovnim pranjem točkova svih vozila koja dođu u kontakt sa deponijom. Ni jedno vozilo ne smije napustiti deponiju prije nego što prođe postupak pranja točkova. U ostale sadržaje se mogu ubrojati i reciklažno dvorište, kao i postrojenja za reciklažu otpada (opciono).

10.8. OPŠTI PRINCIPI SANITARNOG DEPONOVANJA

Sanitarno deponovanje predstavlja način odlaganja otpadnog materijala u skladu sa sprečavanjem negativnog uticaja na životnu sredinu. Da bi otpad bio odložen bez opasnosti po životnu sredinu, neophodno je adekvatno izraditi tehnološke projekte izgradnje i zatvaranja deponija. Projektovanje i izgradnja deponija trebalo bi da budu u skladu sa međunarodnim i nacionalnim propisima. Sve zemlje Evropske unije, kao i one koje su u procesu pridruživanja, su u obavezi da svoje nacionalne propise u potpunosti usklade sa zahtjevima za projektovanje deponija propisanih u Direktivi 199/31/EC.

U skladu sa sve strožim zakonskim odredbama postavljaju se sve veći tehničko-tehnološki zahtjevi za izgradnju deponija kako bi se spriječilo dugoročno zagađivanje životne sredine, što za posljedicu ima stalno povećanje troškova odlaganja. Deponija se, suštinski, smatra „živim“ objektom zato što se izgradnja (dogradnja, nadgradnja) i eksploatacija obavlja istovremeno, pa je stalno dopunjavanje projekata i dodatno konstruisanje neophodno dugi niz godina. Može

se reći da je deponija građevinski objekt koji je cijelo vrijeme upotrebe u izgradnji. Paralelno sa ugradnjom otpada obavlja se i izgradnja nekih objekata koji “rastu” uporedo s tijelom deponije (npr. pristupni putevi, bunari za degasifikaciju).

Tehnologija sanitarnog odlaganja otpada se sastoji od istresanja otpada na radnu površinu, rasprostiranja otpada u slojevima, sabijanja otpada kompaktorom ili buldožerom, prekrivanja otpada slojem inertnog materijala, zatvaranja gornje površine deponije slojem inertnog materijala i slojem humusa i ozelenjavanja rekultivacionog sloja, odnosno gornje površine i bočnih kosina deponije. Sve navedene operacije se vrše uz sakupljanje i odvodnju deponijskog filtrata u lagunu, kao i sakupljanje i odvodnju deponijskog gasa iz tijela deponije preko gasnih kolektora.

Prostor na kojem se odlaze otpad, u okviru sanitarne deponije komunalnog otpada, sadrži više funkcionalnih komponenti:

- 1) Vodonepropusna podloga – sistem obloga na dnu i sa strane deponije koji sprečava migraciju procjednih voda ili gasa u okolno zemljište.
- 2) Postrojenje za sakupljanje i tretman procjednih voda.
- 3) Postrojenje za sakupljanje i tretiranje ili korišćenje deponijskog gasa.
- 4) Sistem završnog pokrivanja na vrhu deponije koji: poboljšava površinsku drenažu, sprečava infiltraciju vode i podržava površinsku vegetaciju.
- 5) Sistem odvodnje površinskih voda sa lokacije deponije.
- 6) Sistem za praćenje (monitoring) životne sredine koji periodično prikuplja i analizira uzorke: vazduha, površinskih voda, zemljišta, gasa i podzemnih voda oko lokacije deponije.
- 7) Plan zatvaranja koji navodi korake koji se moraju preduzeti da bi se deponija zatvorila i obezbijedila nakon što je operacija punjenja završena i aktivnosti za dugoročno praćenje, rad i održavanje završene površine deponije.

10.8.1. Odlaganje, rasprostiranje i zbijanje otpada

Aktivnosti prilikom deponovanja otpada su:

- 1) Istresanje i rasprostiranje (širenje) otpada.
- 2) Sabijanje (kompaktiranje).
- 3) Nanošenje prekrivnog sloja.
- 4) Ponovno sabijanje.

Nakon dolaska na deponiju otpad se dovozi vozilima za prevoz otpada sve do aktivne površine, a zatim izbacuje, rasprostire i zbija na način da se formiraju slojevi otpada debljine do 2,5 m. Na kraju radnog dana ovi slojevi se prekrivaju inertnim materijalom.

Glavni ciljevi redovnog **prekrivanja** otpada inertnim materijalom (zemlja, građevinski otpad, grubo kompostirani materijal i sl.) su:

- 1) Minimiziranje količina otpada koji se raznese djelovanjem vjetrova.
- 2) Onemogućavanje direktnog pristupa otpadu pticama i glodarima.
- 3) Pospješivanje oticanja oborinskih voda sa površine deponije.
- 4) Smanjivanje infiltracije padavina u tijelo deponije i nastanak deponijskog filtrata.
- 5) Ubrzavanje formiranja anaerobnih uslova i nastanak deponijskog gasa.
- 6) Smanjivanje mogućnosti pojave požara.

Prekrivni materijal djeluje kao filter za neprijatne mirise (npr. H_2S , NH_3). Zbog mogućeg nedostatka inertnog materijala, kao i zbog uštede prostora, za prekrivku se mogu koristiti LDPE geomembrane.

Proces **kompaktiranja** (sabijanja) otpada je važan jer: kompaktovan otpad pruža stabilnu površinu za kretanje vozila i izgradnju privremenih puteva, smanjuje se slijeganje tijela deponije i povećava stabilnost deponije, smanjuje se širenje neugodnih mirisa, smanjuje se mogućnost pojave požara, pospješuje se uspostava anaerobnih uslova u tijelu deponije i intenzivira nastanak deponijskog gasa, pospješuje se odvođenje padavina sa površine deponije, smanjuje se prostor koji zauzima otpad i istovremeno produžava eksploatacijski vijek deponije.

Potrebna mehanizacija na deponiji. Broj i tip opreme na deponiji zavisi od količine otpada i transportnih udaljenosti, te od metoda odlaganja i zahtijevanog stepena zbijenosti. Osnovna mehanizacija na deponiji se koristi za:

- 1) Rad sa otpadom – razastiranje i zbijanje (kompaktor, buldožer, bager).
- 2) Transport prekrivnog materijala i njegovo zbijanje (utovarivač, buldožer).

Razastiranje i sabijanje otpada obavlja se buldožerima ili posebnim vozilima, kompaktorima (vozilima sa raonikom i točkovima sa šiljcima).

Po završetku perioda rada deponije, ona se zatvara, ali tako da po njenom zatvaranju ne predstavlja opasnost po životnu sredinu. Deponija prestaje da se koristi kada je ispunjen predviđeni kapacitet ili kada počne da ugrožava životnu sredinu, bez mogućnosti sanacije. Površina se oblikuje i prilagođava namjeni

(parkovi, sportski tereni, kamp naselja). Na ovaj način se vrši revitalizacija lokacije na kojoj je odlagan otpad.

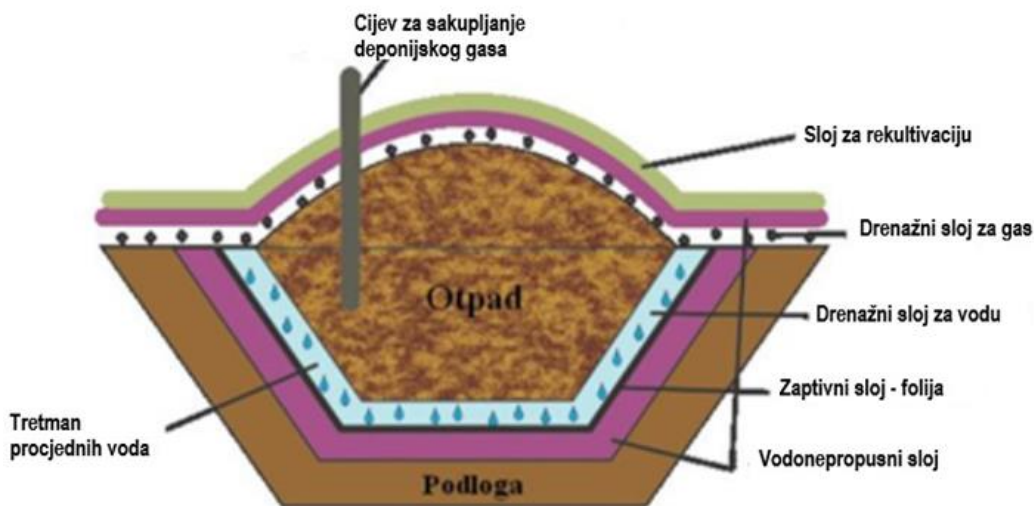
10.8.2. Sistem zaštite deponija

Sprečavanje nekontrolisanog oticanja procjernih voda u životnu sredinu, kao i prikupljanje površinskih voda koje nisu bile u kontaktu s otpadom, osnovni je zadatak sistema zaštite (zaptivanja) deponija. Dobar sistem zaštite dna deponije, tj. stvaranje nepropusne prepreke između odloženog otpada i životne sredine, ključni je element sigurnosti i trajnosti svake deponije.

Sistemi zaštite deponija od procjernih voda dijele se na:

- 1) Sistem zaštite dna deponije koji čini barijeru između deponije i prirodnog zemljišta u podlozi (sistem deponijskih podloga).
- 2) Sistem zaštite gornje površine deponije (završnog pokrivača) koji pokriva otpad i sprečava prodor atmosferskih voda u tijelo deponije.

Potrebno je naglasiti da se sistemi zaštite ne sastoje samo od nepropusnih barijera već sadrže i propusne slojeve. Dok nepropusni dijelovi sprečavaju prodor filtrata prema osnovnoj podlozi, propusni rasterećuju zaptivne slojeve odvodnjom filtrata (sistem zaštite dna deponije), odvodnjom procjedne vode i skupljanjem gasova (sistem završnog pokrivača) (slika 10.18). Postoje različite varijante sistema zaštite (zaptivanja) koje se međusobno razlikuju prema načinu kombinovanja prirodnih i vještačkih komponenti, kao i po broju, te debljini pojedinih sastavnih slojeva.



Slika 10.18. Tehnološki elementi projektovanja deponija

10.8.2.1. Sistem zaštite dna deponije

Kombinovani sistem zaštite podloge deponije čine:

- 1) Geološka barijera, koja se odnosi na podlogu, odnosno na noseći sloj deponije.
- 2) Zaštita (zaptivanje) dna deponije otpada.

Geološka barijera predstavlja noseći sloj u podlozi deponije otpada. Osnovni zadaci geološke barijere su da spriječi:

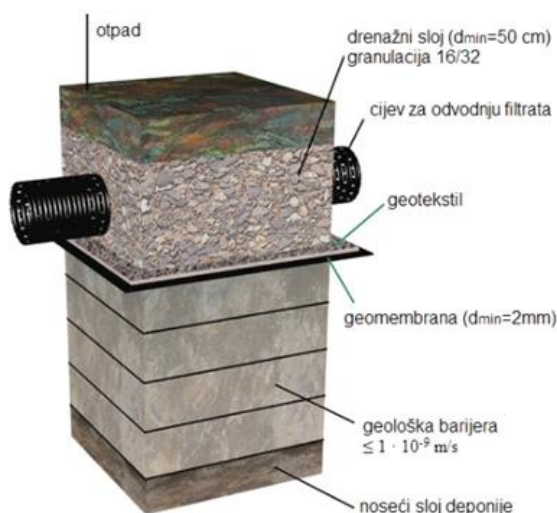
- 1) Deformaciju podloge deponije otpada pod uticajem težine odloženog otpada u tijelu deponije.
- 2) U slučaju havarije i manjih oštećenja spriječi prolazak deponijskog filtrata i deponijskog gasa.

Direktiva 1999/31/EZ propisuje koeficijent propustljivosti geološke barijere u podlozi deponije od $K \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s i debljinu $d \geq 1$ m za deponije neopasnog otpada. Kako prirodna geološka barijera često ne pruža propisane uslove zaštite, ojačava se vještačkim materijalima koji pružaju ekvivalentnu zaštitu (glinovitih materijala sa visokom sposobnošću bujanja u kontaktu sa vodom – bentonit). Debljina sloja vještački uspostavljene geološke barijere bi trebala biti najmanje 0,5 m.

Dakle, sistem deponijskih podloga podrazumijeva da je geološka podloga određene debljine i vodopropustljivosti, a može predstavljati kombinaciju prirodnih i vještačkih materijala. Zaštita podzemnih i površinskih voda od zagađivanja filtratom vrši se tako što se podloga deponije uredi da bude vodonepropusna i evakuaciju filtrata vrši specijalnim drenažnim sistemima i odvodi na dalji tretman.

Sistem deponijskih podloga (donji multibarijerni sistem deponije) uglavnom se sastoji iz sljedećih komponenata:

- 1) Geološke barijere (matični supstrat).
- 2) Mineralnog izolacionog sloja.
- 3) Geomembrane.
- 4) Geotekstila.
- 5) Drenažnog sistema sa cijevima za odvodnju filtrata.
- 6) Drenažnog sloja.



Slika 10.19. Izgled sistema zaštite podloge i dna deponije prema Direktivi 1999/31/EC

Izbor materijala i sistema deponijske podloge zavisice od: vrste otpada, geoloških i hidrogeoloških uslova lokacije deponije i njenog okruženja.

Najčešći materijali koji se koriste za izradu podloge deponije su (Williams, 2005):

- 1) Prirodna glina – poluvezan je sediment nastao dijagenozom (vezivanjem) mulja, pelitskog materijala transportovanog vodom i istaloženog u vodenoj sredini. Minerali gline uključuju, na primjer, montmorilonit, ilit i kaolinit i predstavljaju fine čestice, što znači da je i poroznost izuzetno niska, a samim tim i vrlo niska propusnost. Uobičajena praksa za prirodne obloge od gline na deponijama je da se sabija u slojeve debljine između 0,6 m i 1,0 m kako bi se formirao homogen sloj niske propustljivosti.
- 2) Fleksibilna geomembrana je vrlo slabo propusna sintetička membrana koja se u geotehničkim zahvatima koristi kao barijera za kontrolu migracije fluida u objektima ili određenim sistemima. U deponijama otpada najčešće se koriste polietilenske membrane visoke gustine, a u ovim konstrukcijama im debljina varira od 0,5 mm do 3,0 mm, zavisno od funkcije geomembrane i tipa otpada. Za sistem zaštite dna deponija najčešće se koristi 2,5 mm debela, fleksibilna membrana, hrapava na obe strane. Geomembrana se spaja metodom vrućeg spajanja, prekriva se zaštitnim getekstilom i drenažnim materijalom za skupljanje procjednih voda. Sintetičke membrane se izrađuju od različitih polimernih materijala, a najčešće od polietilena visoke gustine (HDPE) i polivinilhlorida (PVC). Hemijska otpornost

membrane je vrlo važna jer procjedna voda može sadržavati niz organskih i neorganskih kiselina i baza, te organskih ugljovodonika.

- 3) Geotekstil je materijal od tkanine koji se koristi kao zaštita geomembrane od mehaničkih oštećenja kod ugradnje drenažnih i filterskih slojeva, te odlaganja i zbijanja otpada, kao i za filtriranje sitnozrnastih čestica iz procjedne vode kako se drenažni slojevi ne bi začepili. Prema tome, geotekstil ima više funkcija: razdvajanje slojeva, ojačanje ili filtriranje.
- 4) Geosintetičke glinene obloge ili bentonitni tepih predstavlja mješavinu bentonita i gline koja je mehanički ili hemijski nanosena na sloj geotekstila ili u sendvič između dva sloja geotekstila. Bentonit je mješavina minerala gline, a koristi se tamo gdje prirodno glinena podloga nema dovoljno visok nivo minerala gline da proizvede nisku propustljivost. Optimalno izolovanje postiže se na način da bentonit ima osobinu da se u dodiru sa vodom pretvara u bentonitni gel i povećava zapreminu oko 15 puta. Na ovaj način, u uslovima kada je panel odozgo pritisnut, dolazi do zaptivanja i najsitnijih pora. Obično su obloge od geosintetičke gline debljine približno 1 cm i polažu na prirodna glinena tla ili polimerne fleksibilne membrane.
- 5) Geomreže su sintetički materijali u obliku mreža koji se koriste kao drenažni slojevi za procjedne vode ili deponijski gas. Mreže su obično debljine oko 5 mm i sastoje se od polietilena. Geomreže se koriste za obezbjeđivanje sigurnosti nestabilnih padina, a koriste se i kao zamjena prirodnim drenažnim materijalima kao što su krupni pijesak ili šljunak, pri čemu zahtijevaju manju debljinu da bi se postigla ista efikasnost. Na primjer, sloj geomreže debljine 4,5 mm imao bi sličnu funkciju drenaže kao sloj od 300 mm pijeska.

Kao što je prikazano na slici 10.19. preko geološke podloge se postavlja geomembrana, najčešće polietilen visoke gustine (HDPE), a zatim geotekstil koji ima funkciju zaštite geomembrane. Važno je istaći da vještačka zaptivna obloga u obliku dugotrajne plastične folije (HDPE folija) ne može zamijeniti geološku barijeru. Tehnološko rješenje vodonepropusnosti deponije zasniva se na provjeri karakteristika terena ili izboru materijala za vještački uspostavljenju geološku barijeru. Položeni paneli geomembrane (HDPE folije) se spajaju varenjem (slika 10.20.). Geomembrana je osjetljiva na UV zračenje i na više temperature (rastezanje) zbog čega je potrebna brza ugradnja.



Slika 10.20. Zavarivanje i ispitivanje sintetičke membrane (folije) na deponiji Ramići, Banjaluka (EKO-EURO TIM, 2014)

Materijali kao što su bentonit i geotekstil će sačuvati plastiku od probijanja, do kojeg može doći zbog okolnih stijena ili sloja šljunka od kojeg je sastavljen drenažni sloj (slika 10.21.).

Geomembrana se postavlja po dnu deponije i po unutrašnjim kosinama nasipa, odnosno u dijelovima deponija u kojima dolazi do kontakta otpada i okruženja. Drenažni materijal ugrađuje se zajedno s postavljanjem sabirnih cijevi dovoljnog prečnika, koje moraju biti postavljene u nagibima koji će osigurati da se i nakon slijeganja deponije ostvare minimalni nagibi cijevi radi oticanja filtrata.



Slika 10.21. Ugradnja drenažnog materijala, bentonita i PEHD (HDPE) folije na deponiji Ramići (EKO-EURO TIM, 2014)



Slika 10.22. Geomreža na deponiji Ramići - povećava nosivost i pomaže da drenažni kamen ne sklizne sa kosine (DEPOT, 2016)

Drenažni sistem. Sastav drenažnog sloja može varirati od prirodnih granuliranih materijala, kao što su pijesak i šljunak, do sintetičkih drenažnih materijala, kao što su geomreža ili geokompozit (slika 10.22.). Primjena navedenih sintetičkih drenažnih materijala moguća je i pri oblaganju bočnih zidova deponijskih ćelija, u slučaju nemogućnosti primjene prirodnih granuliranih materijala. Preko drenažnog sloja se postavlja zaštitni filterski sloj (geotekstil ili drugi filterski sloj), koji dijeli otpad od drenaže, u cilju sprečavanja prenosa čestica iz zone otpada (iznad sebe) u drenažni sloj ispod sebe, a propuštanja filtrata.

Konstrukcija drenažnog sistema u dnu deponije zavisi od veličine površine sa koje se vrši odvodnja, kao i od konfiguracije i nagiba podloge. U sredinu svake sekcije deponije otpada ugrađuje se drenažna perforirana (šupljikava) cijev za sakupljanje i odvodnju deponijskih procjednih voda. Najčešće se koriste perforirane cijevi izgrađene od polietilena visoke gustine (PEHD) prečnika 300 mm. Drenažni sloj predstavlja značajni činilac sa dvojakom zaštitnom ulogom u pravilnom funkcionisanju perforiranih cijevi za prikupljanje procjednih voda. Usljed filtriranja i procjeđivanja kroz drenažni sloj, deponijski filtrat dotiče u perforirane cijevi postavljene unutar drenažnog sloja, djelimično prečišćen u odnosu na kvalitet filtrata prilikom procjeđivanja kroz aktivne slojeve deponovanog otpada. Takođe, drenažni sloj štiti perforirane cijevi od mehaničkih oštećenja usljed kretanja teške mehanizacije i neplaniranih dodatnih opterećenja. Osnovni zadatak svakog sistema za sakupljanje procjednih voda je odvodnja sakupljene vode do uređaja za tretman.

10.8.2.2. Zaštita gornje površine deponije

Nakon završetka odlaganja otpada i dovođenja deponije u završni položaj, pristupa se zaštiti (zaptivanju) gornje površine deponije. Završni pokrivač (poklopac deponije) se obično sastoji od nekoliko slojeva, od kojih svaki ima određenu funkciju. Sistem završnog pokrivača mora poboljšati površinsku drenažu, minimizirati infiltraciju, omogućiti vegetaciju i kontrolisati ispuštanje deponijskih gasova.

Završni pokrivač treba biti:

- 1) Otporan na djelovanje erozije (voda, vjetar).
- 2) Siguran od djelovanja glodara i korijenja biljaka.
- 3) Otporan na povišene temperature.
- 4) Sposoban podnijeti značajna slijeganja bez pucanja.
- 5) Dovoljne čvrstine da ne dođe do klizanja.

Zaštita gornje površine deponije vrši se kombinovanim sistemom multibarijerne zaštite koji se sastoji od sljedećih elemenata (slika 10.23.):

- 1) Sloj za degasifikaciju – izravnavajući sloj.
- 2) Zaštitni izolacioni sloj.
- 3) Drenažni sloj.
- 4) Rekultivacioni sloj.



Slika 10.23. Izgled sistema zaštite gornje površine deponije prema Direktivi 1999/31/EC

Sistem pokrivanja deponije zavisi od plana upravljanja gasom. U evropskoj Direktivi nisu navedeni zahtjevi za prekrivni sloj, već odgovarajući tehnički elementi koji imaju karakter preporuke za izgradnju zaštitne obloge sastavljene od: sloja za rekultivaciju, vodonepropusnog i drenažnog sloja za vodu i gas.

Sloj za degasifikaciju se ugrađuje na završni sloj otpada i sastoji se od:

- 1) Kamenog agregata, minimalne debljine 0,5 m.
- 2) Filterskog sloja od netkanog geotekstila.

Kameni agregat (šljunak) koji se koristi za izgradnju sloja za degasifikaciju treba imati iste parametre kao i agregati za izgradnju drenažnog sloja u dnu deponije. Sloj za degasifikaciju istovremeno služi i kao izravnavaajući sloj.

Zaštitni izolacioni sloj. Preko sloja za degasifikaciju postavlja se zaštitni izolacioni sloj, koji ima zadatak da spriječi ulazak oborinskih voda u tijelo deponije i izlazak deponijskog gasa u atmosferu.

Drenažni sloj. Drenira vodu koja se procjeđuje kroz rekultivacioni sloj, te odvodi obodnim kanalima izvan tijela deponije. Za izradu drenažnog sloja obično se koriste kameni agregat (šljunak) minimalne debljine 0,3 m i filterski sloj izrađen od netkanog geotekstila kao sloj za degasifikaciju. Ako se za izradu drenažnog sloja koristi šljunak, tada se na polietilensku foliju postavlja zaštitni sloj od geotekstila kako bi foliju zaštitio od oštećenja.

Rekultivacioni (završni) sloj. Prema Direktivi Evropske unije minimalna debljina rekultivacionog sloja iznosi 100 cm, a sastoji se od dva sloja:

- 1) Temeljnog sloja, minimalne debljine 70 cm (stijenska masa).
- 2) Humusno-pjeskovitog sloja minimalne debljine 30 cm.

Završni sloj, predstavlja podložni sloj za vegetaciju i ima ulogu zaštite donjih slojeva od: mraza, korijenja, suše i oštećenja izazvana životinjskim ili ljudskim faktorom. Njegova izgradnja treba biti izvedena sa što manjim zbijanjem, zbog održanja maksimalne zapremine pora u sloju. Na vrhu rekultivirajućeg sloja predlaže se postavljanje humusa potrebnog za rast trave, koja se zasađuje kao površinski sloj iz više razloga, od kojih su najbitniji: estetski izgled, sprečavanje erozije, smanjenje količine procjednih voda uslijed evapotranspiracije itd. Bitno je da se za sadnju trave izaberu vrste otporne na sušu i koje ne zahtijevaju posebnu brigu prilikom razvoja. U drugoj godini nakon ozelenjavanja tog sloja vrši se sadnja odgovarajućih sadnica drveća i grmlja. Rekultivacija površine deponije je značajna za smanjenje erozije, posebno na kosinama deponije otpada, kao i uklapanja deponije u opšti ambijent okolnog prostora.

10.9. MONITORING DEPONIJE

Deponije se smatraju izvorima zagađivača vazduha, vode i zemljišta. Cilj sistema za praćenje (monitoring) životne sredine je da sazna da li deponija radi kako je projektovana i da obezbijedi da deponija bude u skladu sa regulatornim standardima životne sredine. Svi programi monitoringa moraju prvo da utvrde osnovne uslove prije monitoringa deponije, odnosno „nulto stanje”. U skladu sa Uredbom o odlaganju otpada na deponije („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj: 36/15), monitoring na deponiji se sprovodi u toku aktivne i pasivne faze deponije.

Na deponiji se vrši monitoring, i to:

- 1) Monitoring meteoroloških parametara.
- 2) Monitoring površinskih voda.
- 3) Monitoring procjedne vode.
- 4) Monitoring emisije gasova.
- 5) Monitoring podzemnih voda.
- 6) Monitoring količine oborinskih voda.
- 7) Monitoring stabilnosti tijela deponije.
- 8) Monitoring zaštitnih slojeva.
- 9) Monitoring pedoloških i geoloških karakteristika.

Monitoring meteoroloških parametara obuhvata sljedeće parametre: količina padavina, temperatura, brzina i smjer vazdušnih strujanja, isparavanje i vlažnost vazduha.

Monitoring površinskih voda

Monitoring površinskih voda, ukoliko postoje u neposrednoj zoni deponije, a u zavisnosti od hidrogeoloških uslova sredine i njihove udaljenosti od deponije, vrši se:

- 1) Prije puštanja deponije u eksploataciju, uzimanjem uzoraka površinskih voda, odnosno određivanjem „nultog stanja“.
- 2) U procesu eksploatacije deponije u cilju upoređivanja sa „nultim stanjem“, i to u početku eksploatacije deponije (prvih godinu dana) – svakih mjesec dana, a kasnije na svaka tri mjeseca,

3) Po prestanku eksploatacije deponije prvih pet godina na svakih šest mjeseci, a kasnije jednom godišnje, do odumiranja deponije, ukoliko rezultati monitoringa pokažu da nije došlo do akcidentne situacije. Ukoliko postoje površinske vode, uzorkovanje se vrši na najmanje dvije tačke, jednoj uzvodno od deponije, a jednoj nizvodno od deponije. Uzorkovanje i ispitivanje površinskih voda koje se vrše u propisanim vremenskim intervalima, obavljaju akreditovane ustanove za tu vrstu ispitivanja.

Monitoring procjedne vode

Monitoring procjedne vode vrši se na reprezentativnom broju uzoraka na svakoj tački na kojoj se tečnost kontrolisano odvodi sa lokacije. Mjerenje zapremine i sastava tj. kvalitativnih i kvantitativnih parametara procjedne vode vrši se jednom mjesečno u toku eksploatacije deponije. Navedena mjerenja vrše se i po prestanku eksploatacije deponije svakih šest meseci prvih pet godina, a zatim jednom godišnje do odumiranja deponije.

Monitoring emisije gasova

Mjerenje emisije i koncentracije gasova metana (CH₄), ugljen-dioksida (CO₂) i kiseonika (O₂) vrši se jednom mjesečno u toku eksploatacije deponije. Navedena mjerenja vrše se i po prestanku eksploatacije deponije prvih deset godina, svakih šest meseci, a zatim svake dvije godine do odumiranja deponije. Mjerenja ostalih deponijskih gasova (vodonik sulfide H₂S, vodonika H₂ i drugih) vrše se u zavisnosti od sastava odloženog otpada. Mjerenje količina i kvaliteta deponijskog gasa se vrši mjerenjem protoka i sastava smješe gasova na izlazu iz degazacionih bunara (biotnova). Raspored i dimenzije biotnova se definišu prilikom izrade projektne dokumentacije.

Monitoring podzemnih voda

Monitoring podzemnih voda ispod dna deponije i u neposrednoj zoni uticaja deponije mora biti takav da obezbijedi informacije o podzemnim vodama koje se mogu zagaditi kao posljedica rada deponije. Kao referentne vrijednosti za vršenje monitoringa podzemnih voda uzimaju se uzorci prije puštanja u eksploataciju deponije i označavaju kao „nulto stanje“. Uzorci podzemnih voda se uzimaju iz hidrogeoloških objekata (piezometara, baterija piezometara ili osmatračkih bunara) iz najmanje tri tačke, a takvog rasporeda da prate kretanje podzemnih voda. Konačan broj mjernih objekata definišu hidrogeološki uslovi sredine. Ova ispitivanja uzoraka podzemnih voda se vrše u cilju eventualnog utvrđivanja dešavanja akcidentnih situacija u zaštitnim slojevima deponije, odnosno

utvrđivanja zagađenja podzemnih voda. Pored određivanja sastava podzemne vode vrši se i permanentno mjerenje nivoa podzemnih voda.

Monitoring količine oborinskih voda

Mjerenje količine oborinskih voda na prostoru deponije, njenih pratećih objekata i u široj zoni zaštite, vrši se u skladu sa zakonom kojim se uređuju vode.

Monitoring stabilnosti tijela deponije

Monitoring stabilnosti tijela deponije, vrši se kroz praćenje podataka o tijelu deponije i senzorskim praćenjem zaptivne obloge – folije.

Monitoring zaštitnih slojeva

Monitoring zaštitnih slojeva deponije vrši se neprekidno sensorima ugrađenim u vještačku vodonepropusnu oblogu (ukoliko je ugrađena), a podaci se prate u deponijskoj laboratoriji. Monitoring zaštitnih slojeva deponije vrši se neprekidno dok traje eksploatacija deponije, a po prestanku eksploatacije osmatranje i obrada podataka vrši se u intervalima propisanim u dozvoli za rad deponije.

Monitoring pedoloških i geoloških karakteristika

Monitoring pedoloških karakteristika zemljišta i geoloških karakteristika podloge u neposrednoj zoni deponije za „nulto stanje“, vrši se uzimanjem uzoraka iz plitkih i dubokih sondažnih jama, kao i bušotina periodično izvođenih sa ciljem uzimanja uzoraka geološke sredine iz dubljih slojeva u neposrednoj zoni deponije.

Svi rezultati ispitivanja uzoraka vrše se u akreditovanim institucijama i upoređuju sa graničnim vrijednostima utvrđenih dozvolom za rad deponije. Značaj monitoringa je u činjenici da može otkriti neobične događaje i rizike u početnim fazama njihovog pojavljivanja kako bi se dalo vremena za dijagnozu i lokalizaciju uzroka, te omogućilo preduzimanje ranih koraka sanacije u cilju smanjenja negativnih uticaja i podizanja nivoa kvaliteta životne sredine.

10.10. SANACIJA DEPONIJE

Odlaganje komunalnog otpada na nekontrolisana mjesta je najčešći oblik odlaganja otpada u zemljama u razvoju i rezultat je ograničenih tehničkih i finansijskih resursa. Takve deponije vrlo neekonomično koriste raspoloživi prostor i često proizvode neugodne mirise i opasan dim od nekontrolisanog sagorijevanja, te deponijske vode i gasove koji nastaju usljed razlaganja otpada. Postojeća situacija upravljanja bi se mogla još više pogoršati jer, uz brzu urbanizaciju, naselja se šire i okružuju postojeće deponije, te degradacija životne sredine nastala nekontrolisanim deponovanjem direktno utiču na populaciju. Nekontrolisane opštinske deponije, kao i „divlje deponije“, predstavljaju opasnost, kako za životnu sredinu, tako i za zdravlje ljudi. Sve deponije koje ne ispunjavaju sanitarne uslove (bilo da su opštinske ili divlje deponije) potrebno je zatvoriti i sanirati. Pri tome je neophodno analizirati najprihvatljivije mjere sanacije, kako sa aspekta smanjenja ili eliminisanja rizika od zagađenja životne sredine, tako i mjere koje se realno mogu izvesti uz manja finansijska ulaganja.

Prije početka radova na sanaciji deponija potrebno je napraviti obimne istražne radove kako bi se osigurala maksimalna zaštita životne sredine i ljudi. Ti radovi se odnose na (Veinović i Kvasnička, 2007):

- 1) Volumen otpadnog materijala.
- 2) Sastav otpadnog materijala (kvalitativno i kvantitativno).
- 3) Obim zagađenosti okolnog zemljišta.
- 4) Vrste i karakteristike zagađujućih materija koje su ušle u zemljište.
- 5) Blizina akvifera.
- 6) Karakteristike lokacije (s obzirom na mogućnosti upotrebe određenih metoda sanacije, infrastrukture i sl.).
- 7) Raspoloživa finansijska sredstva, itd.

Sanacija divljih deponija otpada vrši se na dva osnovna načina:

- 1) **IN SITU** – Nema premještanja otpada i zagađenog zemljišta, već se otpad i zemljište hermetički zatvore. Cilj je postići jednake ili slične uslove kao kod sanitarnih deponija koje su od početka projektovane po pravilima.
- 2) **EX SITU** – Otpad i zagađeno zemljište se iskopavaju i premještaju na novu lokaciju, tj. na prethodno uređenu sanitarnu deponiju.

U slučaju manjih divljih deponija poželjno je izmještanje otpada na drugu lokaciju. Pogodne lokacije za izmještanje otpada sa tih deponija bile bi regionalne, sanitarne deponije. Međutim, kod velikih divljih deponija je potrebno izvršiti detaljnu procjenu rizika takvih divljih deponija, kako bi se za svaku mogao dati prijedlog najpogodnijeg i što je moguće jednostavnijeg rješenja.

Problem postojanja divljih deponija, odnosno smanjenja ili eliminisanja rizika koji one mogu da predstavljaju može se riješiti na nekoliko načina:

- 1) Premještanjem otpada sa lokacije divlje deponije na najbližu sanitarnu deponiju komunalnog otpada.
- 2) Djelimična sanacija divlje deponije (postavljanje gornjih prekrivnih slojeva).
- 3) Potpuna sanacija divlje deponije (postavljanje gornjih i donjih zaštitnih slojeva).

Koji način rješavanja divlje deponije će biti primjenjen zavisi od: količine otpada na takvoj deponiji, udaljenosti od sanitarne deponije, rizika koji predstavlja deponija po životnu sredinu, kao i tehničkih mogućnosti za premještanje otpada (pristupnost vozilima za utovar i prevoz otpada). Premještanje, odnosno uklanjanje divlje deponije predstavlja racionalnu opciju u situaciji kada u relativnoj blizini divlje deponije postoji sanitarna deponija na koju bi otpad mogao da se bezbjedno odloži i kada ne postoje mogućnosti za adekvatnu sanaciju i remedijaciju divlje deponije na lokaciji na kojoj se nalazi.

Djelimična sanacija divlje deponije se provodi ukoliko iz bilo kog razloga nije moguće izvršiti premještanje, odnosno uklanjanje deponije. Postoji nekoliko mogućnosti „zatvaranja“, odnosno uređivanja na način da se smanji negativan ili potencijalno negativan uticaj na životnu sredinu (slika 10.24.):

- 1) Postavljanje gornjeg pokrivnog sloja, odnosno geosintetičkog materijala koji treba da spriječi prodiranje atmosferskih padavina u tijelo deponija i na taj način onemogućiti spiranje različitih zagađujućih materija i njihov transport u podzemne vode i zemljište.
- 2) Postavljanje obodnih kanala oko prekrivenog dijela deponije koji treba da omogućuje oticanje atmosferske vode sa tijela deponije kako se voda u tom dijelu ne bi zadržavala i ugrožavala prekrivni sloj.
- 3) Postavljanje sloja humusa na kojem će se nalaziti sloj vegetacije.



a)

b)

c)

Slika 10.24. Djelimična sanacija starog dijela deponije Ramići kod Banjaluka: a) Prosjecanje kanjona kroz stari dio otpada. b) Postavljanje drenažne cijevi za prikupljanje i odvođenje atmosferskih voda. c) Postavljanje geomreže (DE–POT, 2010)

Nedostatak djelimične sanacije je što se ne predviđa uređenje dna deponije ispod starog otpada, te stoga potencijalno postoji mogućnost negativnog uticaja procjernih voda na životnu sredinu. Ako se na osnovu proračuna utvrdi da je prisutna veća količina otpada, debljine od nekoliko metara, potrebno je izvršiti postavljanje određenog broj biotrnova (degazatora) kako bi se eliminisalo zadržavanje metana u tijelu deponije i mogućnost eksplozije. Poželjno je i postavljanje nekoliko pijezometara na različitim dijelovima deponije kako bi se mogao kontrolisati fizičko-hemijski sastav podzemnih voda.

Potpuna sanacija divlje deponije se provodi ako se utvrdi da ta deponija ima značajno negativan uticaj na životnu sredinu, npr. zbog visokog nivoa podzemnih voda pri kojem dolazi do plavljenja otpada i širenja zagađenja. Da bi se izvršila potpuna sanacija deponije potrebno je privremeno prebaciti otpad sa mjesta na kojem se nalazio, te izvršiti pripremu terena za postavljanje vodonepropusnih podloga (npr. HDPE folija), drenažnog sloja, a zatim vratiti izmješteni otpad koji se zatrpava sa slojem zemlje. Nakon toga se postavlja gornja nepropusna folija i obodni kanali. Preko gornje folije se postavlja sloj zemljišta koji služi kao zaštita folije od mehaničkih uticaja, a uz dodatni sloj humusa se može iskoristi za ozelenjavanje tog prostora.

Da bi rekultivacija bila potpuna potrebno je postaviti biotrnove, odnosno sisteme za degasifikaciju i pijezometre radi praćenja kvaliteta podzemnih voda ispod tijela i u okolini deponije.

LITERATURA

Aerbin (2019). Retrieved from: <https://aerbin.dk/en/mobile-solutions/>.

Al Seadi, T. (2008). Biogas handbook, University of Southern Denmark Esbjerg, October 2008.

Albina, D. O., Themelis, N. J. (2003). Emissions from Waste-to-Energy: A comparison with coal-fired plants. In ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 37157, 169–184.

Allsopp, M., Costner, P., Johnston, P. (2001). Incineration and human health. Environmental Science and Pollution Research, 8(2), 141–145.

Analitika (2016). Uredaj integrirani sterilizator i drobilica (ISS) infektivnog otpada. Retrieved from: <https://analitikabh.com/2019/11/15/uredaj-integrirani-sterilizator-i-droblilica-iss-infektivnog-otpada/>.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2001). Landfill gas primer – an overview for environmental health professional. US. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA., Retrieved from: <http://www.atsdr.cdc.gov/hac/landfill/html/ch1.html>.

Awuchi, C., G. (2020). Industrial and Community Waste Management: Global Perspective, American Journal of Physical Sciences, Vol. 1, Issue 1, No. 1, pp 1–16.

Barth, J. Kroeger, B. (1998). Kompostierung und Qualitätssicherung in Europa, Müll und Abfall, H.2, S, 75–81.

Batterman, S. (2004). Assessment of small-scale incinerators for health care waste. Environmental Health Sciences, University of Michigan.

Bera, M., Krnjaić, Lj. (2009). Upravljanje otpadom iz medicinskih ustanova. Ekološka bezbednost u postmodernom ambijentu. Zbornik radova: 1. međunarodna konferencija. Banja Luka: Panevropski Univerzitet Apeiron, ICAMA Banja Luka.

Berge, N. D., Reinhart, D. R., Townsend, T. G. (2005). The fate of nitrogen in bioreactor landfills. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 35(4), 365–399.

BHS (Bulk Handling systems) (2012). Republic Services Opens World's Largest Material Recovery Facility. Retrieved from:

<https://bulkhandlingsystems.com/wp/republic-services-opens-worlds-largest-material-recovery-facility/>.

Bilgin, M., Tulun, S. (2015). Biodrying for municipal solid waste: volume and weight reduction. *Environmental technology*, 36: 13, pp, 1691–1697.

Biocycle (2018). <https://www.biocycle.net/composting-roundup-88/>.

BiPRO/CRI (2015). Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU, Final report, November 2015. Retrieved from: <http://ec.europa.eu/environment/waste/index.htm>.

Blackman, C. W. Jr. (2001). *Basic Hazardous Waste Management – 3rd edition*, Lewis Publishers, USA.

Bosmans A., Helsen L. (2010). Energy from Waste: review of Thermochemical Technologies for Refuse Derived Fuel (RDF) Treatment, *Proceedings Venice 2010, Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Venice, Italy; 8–11 November 2010*.

Bouchè, M. (1987). Emergence and development of vermiculture and vermicomposting from a hobby to an industry, from marketing to a biotechnology from irrational to credible practices. *On Earthworms, Selected Symposia and Monographs* (eds. Bonvicini Pagliai, A.M., Omodeo, P.), Mucchi Editore, Modena, Italy, 519.

Brennan, R. B., Healy, M. G., Morrison, L., Hynes, S., Norton, D., & Clifford, E. (2016). Management of landfill leachate: The legacy of European Union Directives. *Waste management*, 55, 355–363.

Bridgwater, A.V. (2012). Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, *Biomass Bioenergy*, 38, pp, 68–94.

Brundtland Report (1987). World Commission on Environment and Development (WCED). “Our common future”. Oxford: Oxford University Press.

Castaldi, M. J. (2014). Perspectives on sustainable waste management. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 5(1), 547–562.

CEWEP (2021). Municipal Waste Treatment in 2019. Retrieved from: <https://www.cewep.eu/wp-content/uploads/2021/03/MunicipalWasteTreatment2019.pdf>.

Chaiampo F., Conti R. and Cometto D. (1996). Morphological characterisation of MSW landfills, *Resources, Conservation and Recycling*, 17, 37–45.

Choy, K. K., Porter, J. F., Hui, C. W., & McKay, G. (2004). Process design and feasibility study for small scale MSW gasification. *Chemical Engineering Journal*, 105(1–2), 31–41.

Christmann, A. (1991). Zukünftige Feuerungskonzepte zur thermischen Restmüllbehandlung. VDI-Berichte. Nr. 895.

Christensen, T. H., Kjeldsen, P. (1995). Landfill emissions and environmental impact: An introduction. In 5th International Landfill Symposium (pp. 3–12). Environmental Sanitary Engineering Centre.

Christensen T.H. (2011). *Solid waste technology & management*. Willey & Sons, United Kingdom.

Claush66 (2007). Claush66 at English Wikipedia. Retrieved from: <https://zh.wikipedia.org/wiki/File:Movinggrate.jpg>.

Cole E. (1997). *Application of Disinfection and Sterilization to Infectious Waste Management*. North Carolina Board of Science and Technology.

Compoman (2021). Waste disposal machinery, Retrieved from: <https://compoman.ee/underground-lifts/>.

Compost Systems (2021). Retrieved from: www.compost-systems.com/en/green/maschinentchnik/selbstfahrend.

Cvetković, S., Radoičić, T. K., Vukadinović, B., & Kijevčanin, M. (2014). Potentials and status of biogas as energy source in the Republic of Serbia. *Renewable and sustainable energy reviews*, 31, 407–416.

Ćorović, A. (2008). *Upravljanje komunalnim čvrstim otpadom*. Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore.

Čistoća, Banjaluka (2019). Retrieved from: <https://cistocabl.com/javna-higijena-cistoca-kupila-novo-vozilo-za-odvoz-smeca/>.

Darwin, C. (1881). *The Formation of Vegetable Mould, through the Actions of Worms, with Observations on Their Habits*, John Murray, London, UK.

Das, S., Bhattacharyya, B.K., (2015). Optimization of municipal solid waste collection and transportation routes. *Waste Management* 43, 9–18.

De Haan, C., Steinfeld, H., Blackburn, H. (1997). *Livestock and the environment: Finding a balance* (p. 115). Rome: European Commission Directorate - General for Development, Development Policy Sustainable Development and Natural Resources.

DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) (2007). Municipal waste statistics 2006/7. Retrieved from: <http://www.defra.gov.uk/environment/statistics/wastats/bulletin07.htm>.

DEFRA (2013). Incineration of Municipal Solid Waste, Department for Environment, Food & Rural Affairs, United Kingdom.

DE-POT (2013–2021). Regionalna deponija Banjaluka, Retrieved from: <http://www.dep-ot.com/o-nama/galerija/>.

Diaz, L. F., De Bertoldi, M., & Bidlingmaier, W. (Eds.). (2011). Compost science and technology. Elsevier.

Doran, F. (2014). Landfill Leachate: Wringing Waste from a Common Solution. Retrieved from: <https://www.waste360.com/leachate/wringing-waste-common-solution>.

Đovčoš, M. (1995). Deponije smeća i degradacija životne sredine, Zbornik radova: Otpadne vode i ostali otpadi, Vrnjačka Banja.

Dunavplast (2020). Ambalaža za medicinski otpad. Retrieved from: <https://www.dunavplast.com/proizvodi/ambalaza-za-medicinski-otpad/>.

DW (2021). Leverkusen chemical blast likely released toxins into air. Retrieved from: <https://www.dw.com/en/leverkusen-chemical-blast-likely-released-toxins-into-air/a-58672832>.

EBA (European Biogas Association) (2018). Statistical Report of the European Biogas Association 2018, Brussels, Belgium.

EBA (2020). Statistical Report: 2019 European Overview. Brussels, Belgium, January 2020. Retrieved from: <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2019-european-overview/>.

EC (European Community) (1999). Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Official Journal of the European Communities, 182, 0001–0019.

ECN (European Compost Network) (2008). Retrieved from: www.compostnetwork.info/index.php?id=10.

EEA (1999). Waste Generation and Management, Environment in the European Union at the Turn of the Century, Environmental Assessment Report No 2, European Environmental Agency.

EEA (2002). Biodegradable municipal waste management in Europe. Part 3: Technology and market issues, EEA Report No. 15/2001, Copenhagen, Denmark.

EEA (2013). Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European countries (EEA Report No 2/2013), European Environment Agency, 2013, Retrieved from: http://www.eea.europa.eu/publications/managingmunicipal-solid-waste/at_download/file.

EEA (2020). Bio-waste in Europe – turning challenges into opportunities, EEA Report, 4/2020.

EEA (2016). Municipal waste generated per capita. European Environment Agency, Retrieved from: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/municipal-waste-generated-per-capita-2#tab-chart_1.

EEA (2021). Municipal waste recycling rates in Europe by country. Retrieved from: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/municipal-waste-recycled-and-composted-5#tab-chart_5.

Eionet (2019). Biowaste in Europe - questionnaire to Eionet. Replies from Eionet to a survey carried out in 2019, European Environment Information and Observation Network.

EKO-EURO TIM (2014). Ugradnja drenažnog materijala na deponiji Ramići Banjaluka. Retrieved from: <http://ekoeurotim.ba/ugradnja-drenaznog-materijala-na-deponiji-ramici-banja-luka/>.

El-Fadel M., Findikakis A., Leckie J. (1997). Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. Environmental Management, Vol. 50, 1–25.

Envacgroup (2012). Envac's guide to Hammarby Sjostad. Retrieved from: http://www.envacgroup.com/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=beee3af8-d215-469f.

Environmental Agency (1997). Committee Report for Decreasing Dioxin Pollution in the Air. (in Japanese). Tokyo: Environmental Agency.

EPA (Environmental Protection Agency) (2016). Basic information about energy recovery from waste. Retrieved from: <https://archive.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/web/html/basic.html>.

EPA (2021). Basic Information about Landfill Gas. Retrieved from: <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas>.

EPA (1996). Emission Factors for Medical Waste Incinerators (MWI's). EPA Contract No. 68-01-0115, ESD Project No. 89/02, MRI Project No. 6504-08, memo from David Randall, Brian Hardee to US EPA, April 8.

EPD HK (2019). Environmental Protection Department the Government of the Hong Kong Special Administrative Region. https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/waste/prob_solutions/WFdev_IWMFtech.html.

ETC/SCP (2014). The importance of regional and local policies on municipal solid waste management in Europe - exemplified by six regions in Italy, Poland and Spain (ETC/SCP Working Paper No 1/2014), European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production, 2014, Retrieved from: http://scp.eionet.europa.eu/wp/wp2014_1.

European Commission (2010). Waste incinerator health risks: no evidence for toxic metal built-up. Retrieved from: <http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/217na1.pdf>.

European Commission (2016). Background report on best environmental management practice in the waste management sector. May 2016.

European Environment Agency (2003). Waste from vehicles (number and treatment of used tyres). Retrieved from: http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/transport/indicators/consequences/TERM11,2002/TERM_2002_11b_EU_Waste_from_road_vehicles_tyres.pdf.

European Parliament (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Union, 312, 3-30. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>.

European Parliament (2018). EU WM: Infographic with Facts and Figures. Retrieved from: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180328STO00751/eu-waste-management-infographic-with-facts-and-figures>.

Eurostat (2021). Municipal waste statistics. Retrieved from: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Municipal_waste_treatment,_EU_27,_1995-2019_\(kg_per_capita\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Municipal_waste_treatment,_EU_27,_1995-2019_(kg_per_capita).png).

Eurostat (2008). Treatment of municipal waste. Retrieved from: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>, navigate to the table via: themes-environment and energy-tables-long-termindicators-environment-waste-treatment of municipal waste.

Eurostat (2021). Recycling rate of municipal waste. Retrieved from: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rt120/default/map?lang=en

Farquhar, G. J., & Rovers, F. A. (1973). Gas production during refuse decomposition. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2(4), 483–495.

Flickr (1916). Adler Diplomat 3 GS mit Holzgasgenerator. Retrieved from: <https://www.flickr.com/photos/109551672@N02/28576931346>.

Flora (2010). Retrieved from: <http://www.vpz.hr/2010/07/13/novo-florino-vozilo-za-skupljanje-komunalnog-i-odvojenog-otpada/>.

France24 (2021). Several injured, missing after blast at German chemical site. Retrieved from: <https://www.france24.com/en/live-news/20210727-several-injured-missing-after-blast-at-german-chemical-site>.

Fricke, K., Santen, H. Wallmann, R. (2005). Comparison of selected aerobic and anaerobic procedures for MSW treatment. *Waste Management*, 25, 799–810.

Galvagno, S., Casu, S., Casabianca, T., Calabrese, A. Cornacchia. G. (2002). Pyrolysis process for the treatment of scrap tyres: preliminary experimental results. *Waste Management*, 22(8), 917–923.

GCS (Green Conversion System) (2015). Pyrolysis, Gasification, Plasma Arc. Land Filling, Retrieved from: www.gcsusa.com/pyrolysis.htm.

Gencer, Y. G. (2015). Mystery of Recycling: Glass and Aluminum Examples. *Handbook of Research on Waste Management Techniques for Sustainability*, 172.

GLA (Green Living Answers) (2021). Retrieved from: <https://www.greenlivinganswers.com/archives/138>.

Glas Srpske (2009). Lakši i brži odvoz smeća. Retrieved from: <https://www.glassrpske.com/lat/drustvo/panorama/Laksi-i-brzi-odvoz-smeca/28451>

Gleis, M. (2012). Gasification and Pyrolysis? Reliable Options for Waste Treatment? *Waste Management*, Volume 3 (Vivis), 403–410.

Grad Zrenjanin (2020): Elektrana na biogas u Zrenjaninu, „Bioelektra”, Retrieved from: <http://www.zrenjanin.rs/sr/vesti/2020/03/biogas-postrojenja-u-srbiji-energetska-sansa-i-za-manje-lokalne-zajednice-poput-botosa>.

Gradska uprava Beograda, (2019). Retrieved from: <https://www.beograd.rs/lat/beoinfo/1768121-vracar-prvi-dobio-digitalne-kontejnere/>.

Green, J.A.S. (2007). Aluminum recycling and processing for energy conservation and sustainability. Materials Park, OH: ASM International.

Gržetić, I. (1996). Uticaj filtrata iz deponija na zagađivanje životne sredine sa posebnim osvrtom na zagađivanje vode. Vode i sanitarno inženjerstvo, Vol. 26/6, 25–41.

HAAT (2019). Haat incinerators India. Retrieved from: http://www.haat-india.com/sites/default/files/rotary_new.jpg.

Heerenklage J, Stegmann, R. (1995). Overview on Mechanical-Biological Pretreatment of Residual MSW. In: Christensen TH, Cossu R, Stegmann R (eds) SARDINIA 95, Fifth International Landfill Symposium. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari, S.Margherita di Pula, Italy, 2–6 October 1995.

Herbert, L. (2007). Centenary history of waste and waste managers in London and South East England. Chartered institution of wastes management.

Hinkley Center For Solid and Hazardous Waste Management (2006). Bioreactor.org – General Info. Retrieved from: <https://www.hinkleycenter.org/pubs.html>

Honkio, K. (2009). The future of waste collection? Underground automated waste conveying systems. Waste Management World, Vol. 10, issue 4, July 2009.

Hoornweg, D., Thomas, L., Otten, L. (1999). Composting and its applicability in developing countries. World Bank working paper series, 8, 1–46.

Hoornweg, D., Thomas, L. (1999). What a waste: solid waste management in Asia. World Bank.

Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. Urban Development & Local Government Unit, World Bank.

Host (2019). Host – bioenergy system, Retrieved from: <https://www.host.nl/en/case/alphen-chaam-the-netherlands/#prev>.

ICRC (International Committee of the Red Cross). (2011). Medical Waste Management. Geneva, Switzerland: International Committee of the Red Cross.

Ilić, M. R., Miletić, S. R. (1998). Osnovi upravljanja čvrstim otpadom. Institut za ispitivanje materijala. Beograd, 1–216.

Inforenviro (2020). Retrieved from: <http://www.inforenviro.com/view-0f63ee06df49443ab7efa207800f89aa-791f9c94b0e846dfbbf5396651dafaee.html>.

INZIO Tz. (2015). Studija o procjeni utjecaja na okoliš Trešnjica, Gorazde.

IPCC (2007). Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). Geneva: IPCC.

ISWA Report (2013). Underground Solutions for Urban Waste Management: Status and Perspectives.

IZSHZ (Institut za zdravlje i sigurnost hrane Zenica) (2019). Studija izvodljivosti zbrinjavanja otpada životinjskog porijekla na području Zeničko-dobojskog kantona sa planom aktivnosti, Zenica, 2019.

J&J Carter (2017). The Farm250 Anaerobic Digester System, Retrieved from: <https://www.jjcarter.com/anaerobic-digester>.

Jahić, M. B. (1980). Deponije i zaštita voda. INZA–RO instituti zaštite OOUR institut za zaštitu čovjekove sredine, 1–173.

Jakšić, B., Ilić, M. (2000). Upravljanje opasnim otpadom, Urbanistički zavod Republike Srpske, Banjaluka, 1–189.

Jakšić, B., Ilić, M., Balaban, M. (2001). Upravljanje medicinskim otpadom, Urbanistički zavod Republike Srpske, Banjaluka, 1–136.

Josimović, B., Ilić, M., Filipović, D. (2009). Planiranje upravljanja komunalnim otpadom, Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije, Beograd, 1–157.

Kaza, S., Yao, L., Bhada–Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. The World Bank.

Kitamura, K., Kikuchi, Y., Watanabe, S., Waechter, G., Sakurai, H., & Takada, T. (2000). Health effects of chronic exposure to polychlorinated dibenzo-P-dioxins (PCDD), dibenzofurans (PCDF) and coplanar PCB (Co-PCB) of municipal waste incinerator workers. *Journal of Epidemiology*, 10(4), 262–270.

Klanova, J., J. Kohoutek, R. Kostrhounova, I. Holoubek (2007). Are the residents of former Yugoslavia still exposed to elevated PCB levels due to the balkan wars? – part 1: air sampling in Croatia, Serbia, Bosnia and Herzegovina. *Environ. Int.*, 33: 719–726.

Kleis, H., Dalager, S. (2007). 100 years of waste incineration in Denmark: From refuse destruction plants to high-technology energy works [PDF document].

Kolb, T. Seifert, H. (2002). Thermal waste treatment: State of the art – a summary. Waste Management 2002: The future of waste management in Europe, 7–8 October 2002, Strasbourg (France), VDI GVC (Düsseldorf, Germany).

Koneczny, K., Dragusanu, V., Bersani, R., Pennington, D. W. (2007). Environmental Assessment of municipal Waste Management Scenarios, Part I, Data collection and preliminary assessments for life cycle thinking pilot studies. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg.

KOVA (2022). Retrieved from: <https://kova.hr/products/mobile-recycling-yard-1038/>.

Kumar, S. (2016). Municipal solid waste management in developing countries. CRC press, 1–174.

Kuratsune, M., T.Yoshimura, J. Matsuzaka, A. Yamaguchi (1972). Epidemiologic study on Yusho, a poisoning caused by ingestion of rice oil contaminated with a commercial brand of polychlorinated biphenyls. *Environmental Health Perspectives*, 1: 119–128.

Limerick (2005). Feasibility Study of Thermal Treatment Options for Waste in the Limerick/Clare/Kerry region. Retrieved from: <http://www.managewaste.ie/docs/WMPNov2005/FeasibilityStudy/LCK%20Thermal%20Feasibility%20Report-Ful%20%28web%29.pdf>.

Liu, D.H.F. Liptak, B.G. (2000). Hazardous Waste and Solid Waste. Boca Raton, FL: Lewis Publishing, 1–185.

Lornage, R., Redon, E., Lagier, T., Hébé, I., & Carré, J. (2007). Performance of a low cost MBT prior to landfilling: study of the biological treatment of size reduced MSW without mechanical sorting. *Waste Management*, 27(12), 1755–1764.

LPUO Grada Beograda (2012). Lokalni plan upravljanja otpadom Grada Beograda 2011–2020. Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu. Beograd.

MAG Centar, (2012). Retrieved from: <http://www.magcentar.com/>

Martin, M.F. (2012). Vietnamese Victims of Agent Orange and U.S. – Vietnam Relations. Congressional Research Service. Washington.

- Marushima, H., Yukumoto, M., Shimizu, M. (2005). Waste Plastic Treatment by Thermoselect Gasification and Reforming Process. In *Identi-Plastics Europe Conf Proc* (Vol. 5, No. 2, p. 12).
- McDougall, F. R., White, P. R., Franke, M., Hindle, P. (2008). *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. Second edition. Blackwell Science. Oxford, 1–532.
- McKay, G. (2002). Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration. *Chemical engineering journal*, 86(3), 343–368.
- McMurry, J. (1992). *Organic Chemistry*, 3rd ed. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Meadows, D. H., Meadows, D. H., Randers, J., Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth: a report to the club of Rome*, Google Scholar, 91.
- Milanović, Z. (1992). *Deponij – trajno odlaganje otpada*, Zagreb: ZGO Zagreb, 1–197.
- Milanović, Z. (2019). *Kompostiranje – sušenje – stabilizacija*, Tehnoeko, 21–32.
- Milanović, Z., Sinčić, D. (2018). *Mehanička obrada čvrstog otpada*, Tehnix d.o.o, Donji Kraljevac, 1–290.
- Moloc (2012). *Waste Collection: MOLOK Underground Waste Receptacles*, Retrived from: <https://www.marinelittersolutions.com/projects/molok-waste-collection/>.
- Moloc (2018). *Moloc blog – Emptying*. Retrived from: <https://www.molok.com/eng/topic/emptying>.
- Moustakas, K., Loizidou, M. (2010). *Solid waste management through the application of thermal methods*. Waste Management.
- Murray, R. (1999). *Creating wealth from waste*. Demos, 1–167.
- Muslim, N. (2009). *Suđenje za eksploziju puta*, Sigurnost, 51 (2), 147–150.
- NALED (2020): *Cirkularna ekonomija – šansa za više od 30.000 novih radnih mesta*, <https://naled.rs/vest-cirkularna-ekonomija-sansa-za-vise-od-30000-novih-radnih-mesta-3983>.
- OEBS (2019). *Organizacija za evropsku bezbednost i saradnju Misija u Srbiji. Cirkularna ekonomija kao šansa za razvoj Srbije*. <https://www.osce.org/sr/serbia/292311?download=true>.

Ogunwolu, L., Omiyale, A. D., & Ajibola, O. O. E. (2019). Conceptual and Simulated Semi-Automatic Urban Waste Management System using Global Systems for Mobile Communication and Customer Reliability Indices. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(7), 1371–1376.

Omari, A. M., Kichonge, B. N., John, G. R., Njau, K. N., & Mtui, P. L. (2014). Potential of municipal solid waste, as renewable energy source: a case study of Arusha, Tanzania.

Omari, A. M., Kichonge, B. N., John, G. R., Njau, K. N., & Mtui, P. L. (2014). Potential of municipal solid waste, as renewable energy source: a case study of Arusha, Tanzania. *International Journal of Renewable Energy Technology Research*, 3(6), 1–9.

Onozuka, D., Yoshimura, T., Kaneko, S., Furue, M. (2009). Mortality after exposure to polychlorinated biphenyls and polychlorinated dibenzofurans: a 40-year follow-up study of Yusho patients. *American journal of epidemiology*, 169(1), 86–95.

Panero, M., Boehme, S., Muñoz, G. (2005). *Pollution Prevention and Management Strategies for Polychlorinated Biphenyls in the New York/New Jersey Harbor*. New York Academy of Sciences, New York.

Panić, M. (2010). Upravljanje opasnim otpadom: planiranje, organizacija, funkcionisanje sistema (Vol. 80), Geografski institut „Jovan Cvijić“, SANU, 1–166.

Park H.S., Jeong J.W. (2001). Recent trends on disposal technologies of medical waste. *J. Korean Solid Wastes Engineering Soc.*, 18(1): 18–27.

Pawlowska, M. (2019). *Mitigation of landfill gas emissions*. CRC Press, 1–45.

Perrier, E. R., Gibson, A. C. (1982). Hydrologic simulation on solid waste disposal sites (No. PB-96-163332/XAB). Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS (United States). Water Resources Engineering Group.

Pešević, D. (2009). Geografski faktori izbora lokacija deponija i centara za reciklažu komunalnog otpada Banjalučke regije, Geografsko društvo Republike Srpske, Banja Luka, 1–253.

Pešević, D. (2019). Prisustvo PCB jedinjenja u Bosni i Hercegovini i uticaj na životnu sredinu, Regionalno savjetovanje „Održivo upravljanje hemikalijama“, Novi Sad, 120–128.

Peters, J. M., Thomas, D., Falk, H., Oberdörster, G., Smith, T. J. (1986). Contribution of metals to respiratory cancer. *Environmental Health Perspectives*, 70, 71–83.

Picer, N., Miošić, N., Hodak–Kobasić, V., Kovač, T., Čalić, V., Hrvatović, H. (2004). War waste and pollution of karstic area of Bosnia and Hercegovina with PCBs. *Organohalogen compounds*, (66): 1313–1320.

Pichtel, J. (2014). *Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial*. Second edition. CRC press, 1–635.

Pietzsch, N., Ribeiro, J. L. D., de Medeiros, J. F. (2017). Benefits, Challenges and critical factors of succes for Zero Waste: A systematic literature review. *Waste Management* 67: 324–353.

Prlja, D., Stepić, D., Savović, D. (2012): *Upravljanje otpadom – Međunarodni propisi sa posebnim osvrtom na regulativu Evropske unije, Ekologija i pravo*, Institut za uporedno pravo, Pravni fakultet Univerziteta Union u Beogradu, Beograd.

Pruss, A., Giroult, E., Rushbrook, P. (Eds.) (1999). *Safe management of wastes from health-care activities*. World Health Organization, 1–242.

Punčochar, M., Ruj, B., Chatterj, P. K. (2012). Development of process for disposal of plastic waste using plasma pyrolysis technology and option for energy recovery. *Procedia Engineering*, 42, 420–430.

Reddy, P. J. (2011). *Municipal solid waste management*. The Netherlands: CRC Press/Balkema, 1–470.

Regionalni Tjednik (2018). Prvi objavljujemo potpunu kronologiju problema zbrinjavanja varaždinskog baliranog otpada, Retrieved from: <https://regionalni.com/prvi-objavljujemo-potpunu-kronologiju-problema-zbrinjavanja-varazdinskog-baliranog-otpada/>.

Reinhart, D. R. (1996). Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: case studies. *Waste Management & Research*, 14(4), 347–365.

Reinhart, D. R., Basel Al-Yousfi, A. (1996). The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. *Waste Management & Research*, 14(4), 337–346.

Reinhart, D. R., Townsend, T. G. (2018). *Landfill bioreactor design and operation*. Routledge. New York, 1–208.

Remonews (2021). Explosion in Leverkusen: Hazardous waste incineration plant is burning—danger warning. Retrieved from: <https://remonews.com/canada/explosion-in-leverkusen-hazardous-waste-incineration-plant-is-burning-danger-warning/>;

Richard, T.L. (1992). Municipal solid waste composting: Physical and biological processing. *Biomass Bioenergy* 3, 195–211.

Richard, T.L., Woodbury, P.B. (1994). What material should be composted? *Biocycle*, 35(9), 63.

Rink, R. (1992). Composting methods. In: Rink, R. (Ed.), *On-Farm Composting Handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Cooperative Extension, Ithaca, NY, pp, 24–42.

Ristić, M., Vuković, M. (2006). Upravljanje čvrstim otpadom. Tehnologije prerade i odlaganja čvrstog otpada“, Tehnički fakultet u Boru, Univerziteta u Beogradu, 1–288.

Rogoff, M. J., Ross, D., Wood, J. L. (2010). Automated waste collection—how to make sure it makes sense for your community. *American Public Works Association (APWA) Reporter*, 77(3), 44–48.

RPUO RS (2019). Republički plan upravljanja otpadom u Republici Srpskoj, Ministarstvo za prostorno uređenje, građevinarstvo i ekologiju Republike Srpske.

RZS (2021). Lista otpada, Republički zavod za statistiku Republike Srpske, Banja Luka, 2021.

Saveyn, H. and Eder, P. (2014). End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate) – technical proposals. Retrieved from: <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC87124.pdf>

Scarlat, N., Fahl, F., & Dallemand, J. F. (2019). Status and opportunities for energy recovery from municipal solid waste in Europe. *Waste and Biomass Valorization*, 10(9), 2425–2444.

Schuster, H. (1999). Waste incineration plants in Austria with data on waste management in Vienna. Vienna. Greenpeace Austria.

Seltenrich, N. (2016). Emerging waste-to-energy technologies solid waste solution or dead end? *Environmental Health Perspectives*, 124(6), A106–A111.

Serdarević, A. (2016). Upravljanje čvrstim otpadom. Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu. Sarajevo, 1–307.

Sharuddin, S. D. A., Abnisa, F., Daud, W. M. A. W., Aroua, M. K. (2018). Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 334, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.

Shayan, A., Xu, A. (2004). Value-added utilization of waste glass in concrete. *Cement and Concrete Research* 34 (1), 81–89.

Smart Cities World (2020). Retrieved from: <https://www.smartcitiesworld.net>.

Splainex (2020). Splainex Ecosystems. Pyrolysis equipment, Retrieved from: www.pyrolysis.biz.

Sredojević, J. (2003). Obrada i deponija otpada, Mašinski fakultet u Zenici, Univerzitet u Sarajevu. Zenica, 1–410.

Sredojević, J. (2006). Reciklaža otpada. Mašinski fakultet, Univerzitet u Zenici, Zenica, 1–429.

Stantec Consulting (2011). Waste to energy: A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices – Final Report, BC Ministry of Environment.

Statista (2022). Recycling of municipal waste in Austria 2009-2017, Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/632956/municipal-waste-recycling-austria/>.

Stević, E., Dizdarević, Z., Kapetanović, O. (2006). Zbrinjavanje medicinskog otpada, Sarajevo: Ministarstvo zdravstva Kantona, 1–54.

Stream environment (2020). Full vacuum system. Retrieved from <http://www.stream-environment.com/full-vacuum-system>.

Sutco Recyclingtechnik (2016). Sorting and treatment plants, Mechanical-biological waste treatment (MBT), Retrieved from: <https://www.sutco.de/en/plant-technology/mechanical-biological-waste-treatment-mbt>.

SWA – Tool, (2004). European Commission SWA–Tool Consortium. Methodology for the Analysis of Solid Waste.

Tangri, N., & Wilson, M. (2017). Waste gasification & pyrolysis: High risk, low yield processes for waste management. Report: A Technology Risk Analysis. GAIA. 2–18.

Tchobanoglous, G., Kreith, F. (2002). Handbook of solid waste management. McGraw-Hill Education.

Teerioja, N., Moliis, K., Kuvaja, E., Ollikainen, M., Punkkinen, H., Merta, H., (2012). Pneumatic vs. door-to-door waste collection systems in existing urban areas: a comparison of economic performance. *Waste Management* 32, pp, 1782–1791.

Tehniks (2019), Katalog, 2019 Oprema za proizvodnju komposta. Retrieved from: <https://tehnix.hr/wp-content/uploads/2019/03/Tehnix-2019-HR.pdf>.

Tehniks (2020). Eko industrija, Donji Kraljevac, Hrvatska

Tehnoeko (2020). Newsletter Tehnoeko, Retrieved from: <https://www.tehnoeko.com.hr/4135/Novi-modeli-Palfinger-samopodizaca-kontejnera>.

Themelis, N. J. (2003). An overview of the global waste-to-energy industry. *Waste Management World*, 40-48.

Thompson, J., & Anthony, M. H. (2005). The health effects of waste incinerators. *Journal of Nutritional & Environmental Medicine*, 15(2/3), 115–156.

Tnq hydraulics (2017). Tnq hydraulics, Retrieved from: <https://tnqhydraulics.com.au/solutions/transport/>.

Topić, M., Preradović, Lj., Stanković, M., Zimmermann, F., Fischer, W., Preradović, G. Pešević, D., Topić, D. (2013). Upravljanje otpadom u Republici Srpskoj: Analiza postojećeg stanja sa posebnim osvrtom na komunalna preduzeća, Međunarodno udruženje naučnih radnika AIS; Institut za geografiju i regionalno istraživanje, Banja Luka, 1–227.

Townsend, T. G., Powell, J., Jain, P., Xu, Q., Tolaymat, T., Reinhart, D. (2015). Sustainable practices for landfill design and operation. Springer, 1–472.

Tsang, H. H. (2013). Uses of scrap rubber tires. *Rubber: Types, Properties and Uses*; Nova Science Publisher: New York, NY, USA, 477–491.

UKW IN (2016). Gasification failures in the UK: Bankruptcies and Abandonment. Retrieved from: <http://ukwin.org.uk/resources/>.

UNDESA (2010). Shanghai Manual – A Guide for Sustainable Urban Development in the 21st Century. United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA) HEBA MEGA, 2020. Retrieved from: www.habagroup.fi.

UNEP (2019). United Nations Environment Programme, Environment. Available online: <https://web.unep.org/>.

UNEP (1999). Dioxin and Furan Inventories, National and Regional Emissions of PCDD/PCDF. United Nations Environment Programme, Geneva.

US EPA (1995). Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills - Background Information for Final Standards and Guidelines, Emission Standards Division, (US EPA-453/R-94-021). Office of Air and Radiation Office of Air Quality Planning and Standards, United States Environmental Protection Agency.

US EPA (2017). National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling. Retrieved from <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#:~:targetText=In%202017%2C%20it%20was%20over,the%20amount%20generated%20in%202017.>

US EPA (2022). Methane Emissions from Landfills. Retrieved from: <https://www.epa.gov/lmop/basic-information-about-landfill-gas#methane>.

USAID (2009). Planiranje upravljanja čvrstim otpadom - Program podsticaja ekonomskom razvoju opština, Beograd, Srbija, 53–60.

Valijanjan, E., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Sulaiman, A., Chisti, Y. (2018). Biogas Production Systems. Biogas Fundamentals, Process and Operation. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018, 95–116.

Van Zelm, R., Huijbregts, M. A., den Hollander, H. A., Van Jaarsveld, H. A., Sauter, F. J., Struijs, J., & Van de Meent, D. (2008). European characterization factors for human health damage of PM10 and ozone in life cycle impact assessment. Atmospheric Environment, 42(3), 441–453.

Vaverková, M. D. (2019). Landfill impacts on the environment. Geosciences, 9(10), 1–16.

Veinović, Ž., Kvasnička, P. (2007). Površinska odlagališta otpada; interna skripta. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb, 1–96.

Verma, R. (2014). Medical waste disposal: incineration and non incineration technology their effects and prospects. Natural Environment, 19, 195–198.

Veselinović, D.S., Gržetić, I.A., Đarmati, Š.A., Marković, D.A. (1995). „Fizičko-hemijski osnovi zaštite životne sredine, I. Stanja i procesi u životnoj sredini.“ Fakultet za fizičku hemiju. Beograd.

VIT (2019). Vinit Institute of Technology, Retrieved from: <https://vinit.com.vn/en/plasma-gasification-commercialization/>.

- Vučemilo M., Hadžiosmanović, A., Vinković, B., Blažević, R. (1996): Veterinarska djelatnost u zaštiti okoliša. Zbornik Prvog veterinarskog kongresa. Cavtat, 2–5. Listopada, 1996, 119–126.
- Vujić, G., Jovičić, N., Petrović-Đurović, M., Ubavin, D., Nakomčić, B., Jovičić, G., & Gordić, D. (2010). Influence of ambience temperature and operational-constructive parameters on landfill gas generation: Case study. *Novi Sad. Thermal Science*, 14(2), 555–564.
- Vukić, Lj., Papuga, S. (2015). Inženjerstvo u zaštiti okoline. Banja Luka: Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, 1–400.
- Wang, L. K., Tay, J. H., Tay, S. T. L., & Hung, Y. T. (Eds.). (2010). *Environmental bioengineering* (Vol. 11). Springer Science & Business Media.
- Warmer Bulletin 49. (1996). *Journal of the World Resource Foundation*, High Street, Tonbridge, Kent, UK.
- Waste management – vector (2019). Shutterstock illustration – Recycling bins. Retrieved from <https://www.shutterstock.com/search/waste+management+vector>.
- Waste Management (2004). The bioreactor landfill – the future of landfill management. Next generation landfill technology. Bioreactor Program.
- White, P. R., Franke, M., Hindle, P. (1995). *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*. Blackie Academic and Professional, London, 1–373.
- WHO (2005). Safe healthcare waste management-policy paper. *World Health Organisation. Waste Management* 25, 568–569.
- Williams, P. T. (2005). *Waste treatment and disposal*. John Wiley & Sons, 1–391.
- Willumsen, H. (1990). Landfill gas. *Resources, Conservation and Recycling*. (Netherlands), 4(1/2).
- Wilson, D. C., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero, A., Velis, K., & Simonett, O. (2015). *Global waste management outlook*. UNEP.
- WMW (2021). *Waste Management World*. Hundertwasser incinerator in Vienna turns 50. Retrieved from: <https://waste-management-world.com/artikel/hundertwasser-incinerator-in-vienna-turns/>.
- Woodgate, S., Veen, J.V. (2004). The role of fat processing and rendering in the European Union animal production industry, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 8 (4), 283–294.

Worrell, W. A., & Vesilind, P. A. (2011). Solid waste engineering. Cengage Learning, 1–432.

WRAP (Waste & Resources Action Programme) (2009). Choosing the right recycling collection system. Retrieved from: <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Choosing%20the%20right%20recycling%20collection%20system.pdf>.

Wuebbles, D. J., Hayhoe, K. (2002). Atmospheric methane and global change. *Earth-Science Reviews*, 57(3–4), 177–210.

WWF (2012). Denmark waste to energy. Retrieved from: https://wwf.panda.org/wwf_news/?204596/Denmark-waste-to-energy

XACT Systems Composting (2020). Retrieved from: <https://xactsystemscomposting.com/about-xact-systems-composting/>.

Yadav, A., Garg, V. K. (2011). Industrial wastes and sludges management by vermicomposting. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 10(3), 243–276.

Zero Waste Europe (2015). Zero Waste to Landfill and/or Landfill Bans: False Paths to a Circular Economy.

Zerowasteurope.eu (2019). A Zero Waste hierarchy for Europe. <https://zerowasteurope.eu/2019/05/a-zero-waste-hierarchy-for-europe/>.

Zmirou, D., Masclet, P., Boudet, C., Dor, F., Déchenaux, J. (2000). Personal exposure to atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in a general adult population and lung cancer risk assessment. *Journal of occupational and environmental medicine*, 121–126.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна и универзитетска библиотека
Републике Српске, Бања Лука

628.4(075.8) (0.034.2)

ПЕШЕВИЋ, Душица, 1977-

Upravljanje отпадом [Електронски извор] / Dušica Pešević.
- Onlajn izd. - Ел. књига. - Вања Лука : Prirodno-matematički
fakultet, Univerzitet u Вањој Луци, 2022. - Илустр.

Системски захтјеви: Нису наведени. - Наћин pristupa (URL):
<https://pmf.unibl.org/wp-content/uploads/2022/12/UPRAVLJANJE-OTPADOM-udzbenik.pdf>. - Ел. публикација у ПДФ формату опсега 383 стр. -
Насл. са насл. екрана. - Опис извора дана 21.12.2022. -
Библиографија: стр. 357-375.

ISBN 978-99976-86-08-4

COBISS.RS-ID 137336577

