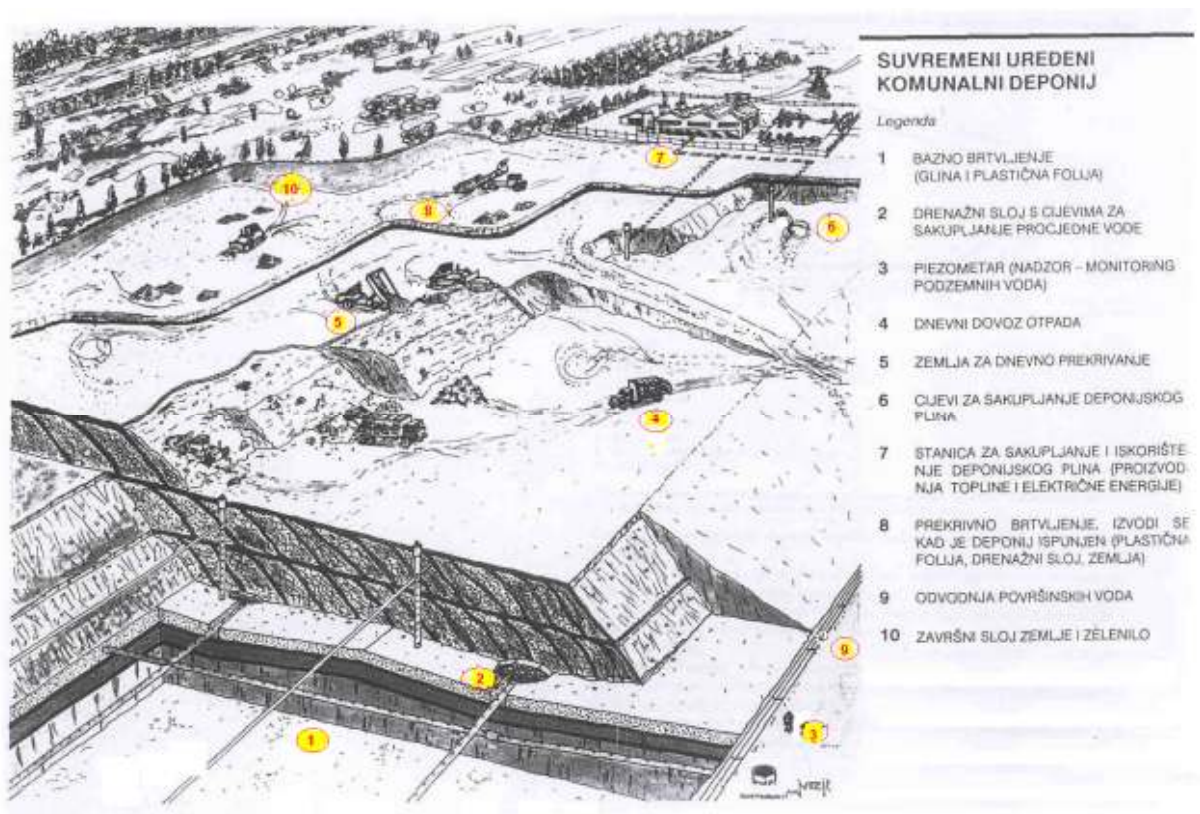


## **PROCESI RAZGRADNJE DEPONIRANOG ORGANSKOG OTPADA NA KOMUNALNOJ DEPONIJ**

Svaka deponija komunalnog otpada je puna života. Ona predstavlja veliki prehrambeni lanac mikroorganizama iz okoliša koji se hrane organskim materijama iz otpada. Svaki od njih traži izvor hrane za razvoj i reprodukciju. Oni razbijaju kemijske veze u velikim molekulama, oduzimaju im energiju i stvaraju manje ili jednostavnije molekule koje su hrana drugim mikroorganizmima. Svaka od grupa mikroorganizama ima posebne uvjete koji joj pogoduju (pH, vlaga, temperatura) i svakoj je potrebno odgovarajuće snabdijevanje hranom.



**Slika 1. Izgled suvremeno uređenog komunalnog deponija**

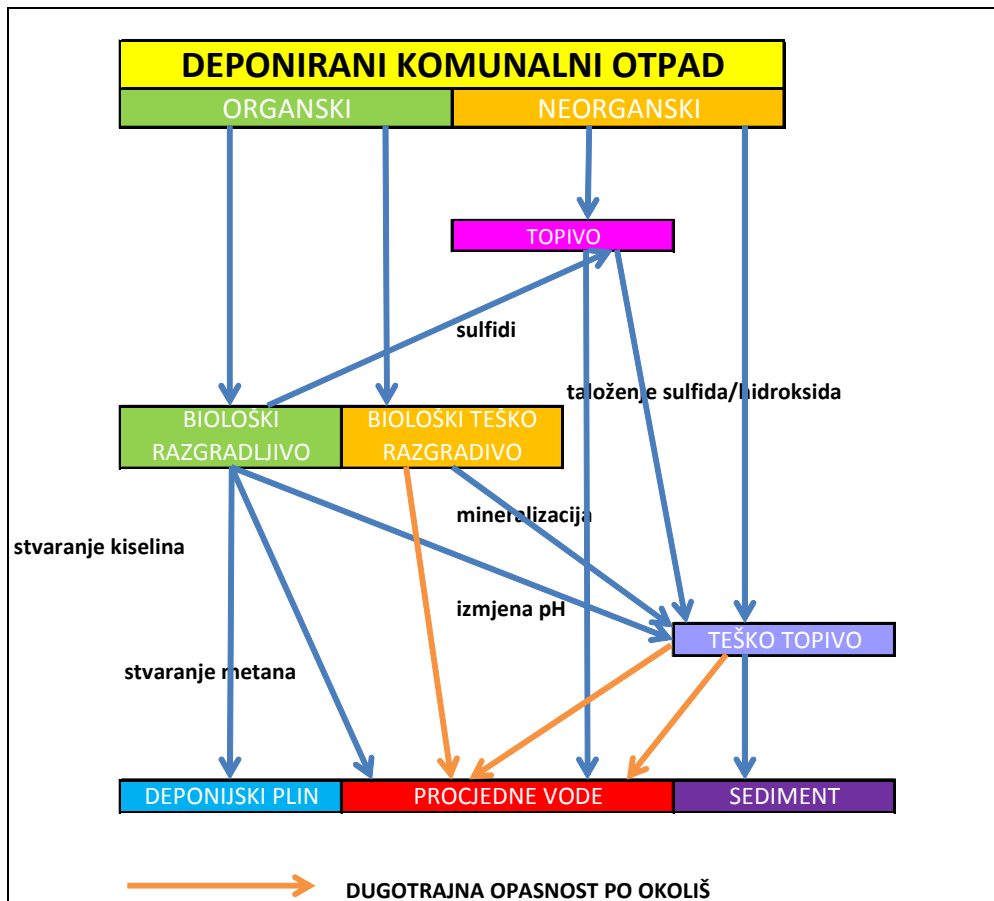
Najveći dio komunalnog otpada predstavlja kućni otpad koji sadrži velik dio razgradljive organske tvari. Unutar tijela deponije odvijaju se različiti procesi koji su fizikalne, kemijske i biološke prirode.

Faze u kojima se odvija biorazgradnja mogu potrajati desetljećima. Biorazgradivi materijali u kućnom otpadu iznose preko 65 % suhe tvari i uključuju ne samo hranu i vrtni otpad podložan truljenju, nego također i papir, karton te u nekoj mjeri i drvo i tekstil. Tehnološki otpad, odnosno otpad iz industrije sadrži do 62 %, odnosno 66 % suhe biorazgradive organske tvari

te je tako pogodan za deponiranje na deponijama. Sve te organske tvari mogu se u deponiji razgraditi pomoću mikroorganizama.

Postoji ogroman broj načina za razgradnju otpada uporabom različitih vrsta mikroorganizama. Svaka lokacija, svaki sastav otpada privlači druge skupine mikroorganizama. Ipak uvjetno se svi ovi procesi biološke razgradnje organskog otpada na jednoj deponiji mogu podijeliti na pet faza :

1. Aerobna razgradnja
2. Hidroliza i fermentacija
3. Stvaranje kiselina
4. Razvoj metana
5. Oksidacija



Slika 2. Procesi na deponiji komunalnog otpada (prema Elling 1985, dopunjeno Drees 2000)

## 1. Aerobna razgradnja

Ovo je kratkotrajan proces koji se odvija u rasponu od nekoliko dana do nekoliko tjedana, ovisno o količini dostupnog kisika potrebnog za proces, koji opet ovisi o količini zraka zarobljenog u otpadu, stupnju zbijenosti otpada i brzini kojom se otpad prekriva.

Sam proces omogućuje činjenica da zrak ostaje zarobljen u gomilama deponiranog otpada. Tako je prisutan i kisik koji se osim toga nalazi i u samom organskom otpadu. Mikroorganizmi za svoj razvoj koriste čestice organskog otpada a luče manje organske molekule, ugljen dioksid i vodu. Ukoliko je otpad nabijen ili vlažan trajanje ovog procesa se vremenski smanjuje. Dolazi do egzotermne reakcije odnosno oslobađa se toplina. Toplina koja nastaje može povisiti temperaturu otpada do vrijednosti od 70 do 90 °C! Osim toga zbijeni otpad postiže niže temperature zbog manje pristupačnog kisika. Voda i ugljični dioksid su glavni proizvodi gdje se ugljični dioksid oslobađa kao plin i odlazi u atmosferu ili se adsorbira u vodi tako tvoreći karbonatnu kiselinu koja daje kiselost procjednim vodama.

Ovom reakcijom dolazi do razaranja plijesni, virusa, nekih bakterija i u biti dolazi do sterilizacije otpada. Time dolazi do povećanja kiselosti procjedne vode. Može se okvirno uzeti da kiselost raste sa pH vrijednošću od 7,5 na pH vrijednost od 4.

## 2. Hidroliza i fermentacija

Prva faza aerobnih mikroorganizama završila je svoje djelovanje čim se potroši sav raspoloživi kisik. Sad nastupa djelovanje drugih vrsta mikroorganizama, anerobnih, onih kojima za razvoj nije potreban kisik.

Hidrolizom ugljen hidrata stvaraju se šećeri. Šećeri se razgrađuju na ugljen dioksid, vodik, amonijak i organske kiseline, uglavnom karboksilne kiseline. Proteini se razgrađuju deaminizacijom (uklanjanjem  $\text{NH}_2$  grupe) na karboksilne kiseline i ugljen dioksid. Većina nastalih karboksilnih kiselina je octena ali mogu biti prisutne i propionska, maslačna, mliječna, pirogroždana, mravlja kiselina te njihovi derivati. Samo nastajanje pojedinih kiselina ovisi o sastavu i porijeklu otpadnog materijala..

Uslijed ove faze procjedne vode sadrže mnogo amonijačnog dušika i karboksilnih kiselina što im daje visoku BPK vrijednost. pH vrijednost je kisela. Procjedne vode sadrže metale. Temperatura na deponiju pada između 30 °C i 50 °C . Deponijski plin sadrži ugljen dioksid (80 %) i vodik (oko 20 %).

### **3. Stvaranje kiselina (acetogenoza)**

Do početka ove faze po statističkim podacima minimalno je potrebno 12 do 15 mjeseci iako se početak ove faze može i godinama prolongirati. Bitna obilježja ove faze su da su uvjeti u deponiji i dalje anaerobni. Dolazi do brzog povećavanja nastanka octene kiseline i njenih derivata. Mikroorganizmi koji mogu direktno razgraditi ugljične hidrate u octenu kiselinu za svoj razvoj koriste ugljen dioksid i dušik iz otpada. Mala koncentracija vodika poboljšava rast metanogenih organizama koji omogućuju stvaranje ugljen dioksida i metana iz organskih kiselina. Mikroorganizmi isto tako direktno razgrađuju vodik i ugljen dioksid u metan i vodu. Razina ugljen dioksida i vodika u ovoj fazi se smanjuje. Sumporovodik može također nastati u anaerobnim uvjetima prilikom redukcije spojeva sumpora do sumporovodika pomoću sulfatoreducirajućih mikroorganizama. Metalni sulfidi mogu biti produkt reakcije vodik-sulfida i metalnih iona u otopini. Prisutnost organskih kiselina ima za produkt veoma kisele otopine koje mogu imati pH vrijednost od 4 ili manje.

### **4. Stvaranje metana (metanogeneza)**

Ova faza može trajati desetinama godina. Obično je potrebno petnaestak godina da se stvori količina metana koji se može koristiti. Deponijski plin sadrži preko 60% metana i 40 % ugljen dioksida. Opada razina vodika u sastavu plina. Koncentracije karboksilnih kiselina u procjednoj vodi su znatno smanjene. Biološka potrošnja kisika je niska. pH vrijednost se povećava i dolazi do neutralnosti ili alkalnosti.

Reakcije se održavaju u anaerobnim uvjetima u okružju s iscrpljenim kisikom tijekom 2. i 3. faze. Potrebne su male količine vodika da bi potakli metanogene organizme koji proizvode ugljični dioksid i metan iz organskih kiselina i njihovih derivata kao npr. acetata i formijata nastalih u ranijim fazama. Metan se također može producirati izravno konverzijom vodika i ugljičnog dioksida uz pomoć mikroorganizama pri čemu nastaju metan i voda. Stoga koncentracija vodika, stvorenog tijekom 2. i 3. faze, opada u 4. fazi na malu vrijednost.

Dvije vrste mikroorganizama su prisutne tijekom metanogene faze, a to su mezofilne bakterije, koje su aktivne u rasponu temperatura 30-35°C i termofilne bakterije aktivne pri 45-65°C. Stoga se deponijski plin može producirati u metanogenoj fazi u temperaturnom rasponu od 30 do 65°C, a optimalni uvjeti za stvaranje deponijskog plina su između 30 i 45°C. Zapravo, na većini deponija vladaju ovi optimalni temperaturni uvjeti. Tamo gdje temperatura

u tijelu deponije padne značajno ispod 15°C zbog hladnog vremena ili plitke deponije, brzina biorazgradnje opada.

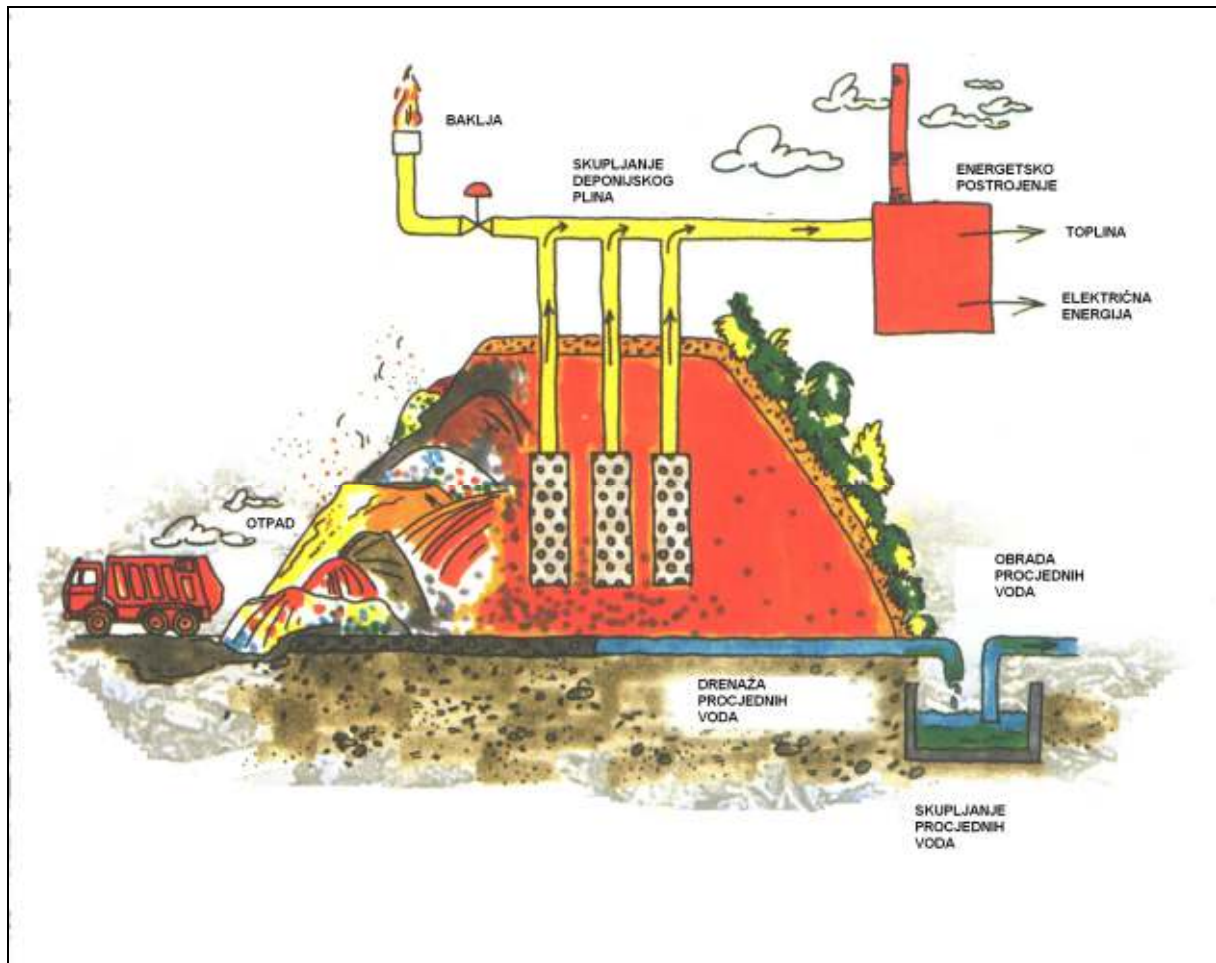
Organske kiseline koje nastaju za vrijeme 2. i 3. faze razgrađuju se pomoću metanogenih mikroorganizama i kako koncentracija kiseline opada, tako u fazi metanogeneze raste i pH vrijednost do pH 7-8. Idealni uvjeti za metanogene mikroorganizme su vrijednost pH u rasponu od 6.8 do 7.5, ali zamijećene su i određene aktivnosti i između pH raspona od 5 do 9. Stvaranje kiselina, u 2. i 3. fazi, nastoji sniziti pH vrijednost te ako se nastavi, aktivnost metanogenih bakterija može se inhibirati. Ako se želi povećati stvaranje plinova, potrebno je na deponiju dodavati alkalije ili kemikalije s puferskim djelovanjem, tako da se postigne pH veći od 7 u procjednoj vodi na deponiji. Biodegradacija na deponiji nije izjednačena. Na primjer, procjedna voda s deponije može imati pH 5,5, iako nastaje metan. Navedeno se događa jer se različita područja deponije ponašaju po različitim biokemijskim putovima.

Značajne koncentracije metana nastaju nakon 3 do 12 mjeseci, ovisno o razvoju anaerobnih mikroorganizama i produkata razgradnje otpada. Deponijski plin će se nastaviti razvijati kroz razdoblje od 15 do 30 godina nakon završnog deponiranja otpada, ovisno o otpadu i karakteristikama deponije. Međutim, male koncentracije deponijskog plina mogu se razvijati čak i nakon 100 godina nakon konačnog deponiranja otpada.

## **5. Oksidacija**

Konačna faza u razgradnji otpada započinje od trenutka kada završe reakcije razgradnje, a kiseline se potroše u produkciji deponijskog plina, metana i ugljik-dioksida.

Karboksilne kiseline su nestale tijekom proizvodnje metana. Novi aerobni mikroorganizmi ponovo se lagano stvaraju na deponiji. Mogu se naći mikroorganizmi koji pretvaraju metan u ugljen dioksid i vodu (egzotermna reakcija). Postepeno se vrši proces stabilizacije otpada. Može trajati jako dugo: kad izvori ugljika nestanu spojevi amonija i dušika ostaju godinama u procjednoj vodi.



**Slika 3. Shema skupljanja procjednih voda i deponijskog plina**

#### Umjesto zaključka

Možda je nekad i bilo opravdano deponirati sav komunalni otpad zajedno. Bar nije bio razbacan u prostoru. Danas kada su znanja o procesima koji se dešavaju u tijelu deponije nemjerljivo veća odnosno kada se deponija promatra kao „biološki reaktor“ ne bi se smjelo dopustiti takvo što. Deponirati treba samo ono što se ne može reciklirati i neorganski otpad. Svim ostalim stvarima koje su nam nepotrebne nije mjesto na deponiji. Deponiranje treba biti posljednji korak nakon što su iscrpljene sve ostale mogućnosti obrade otpada.