



BIORAZGRADNJA OTPADNE VODE DEPONIJA (PROCJEDNA VODA)



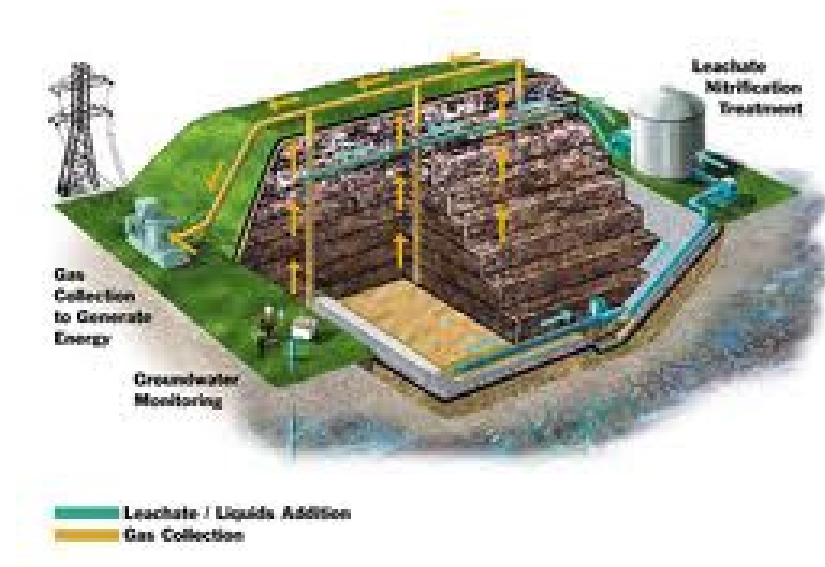
Prof.dr.sc.Tibela Landeka Dragičević

Jedan od **osnovnih problema upravljanja otpadom** koji se susreću na deponijama u praksi je **problem sakupljanja i obrade procjednih voda** (filtrata).

Intenzitet njihove produkcije, a time i količine, ovisi o nizu faktora:

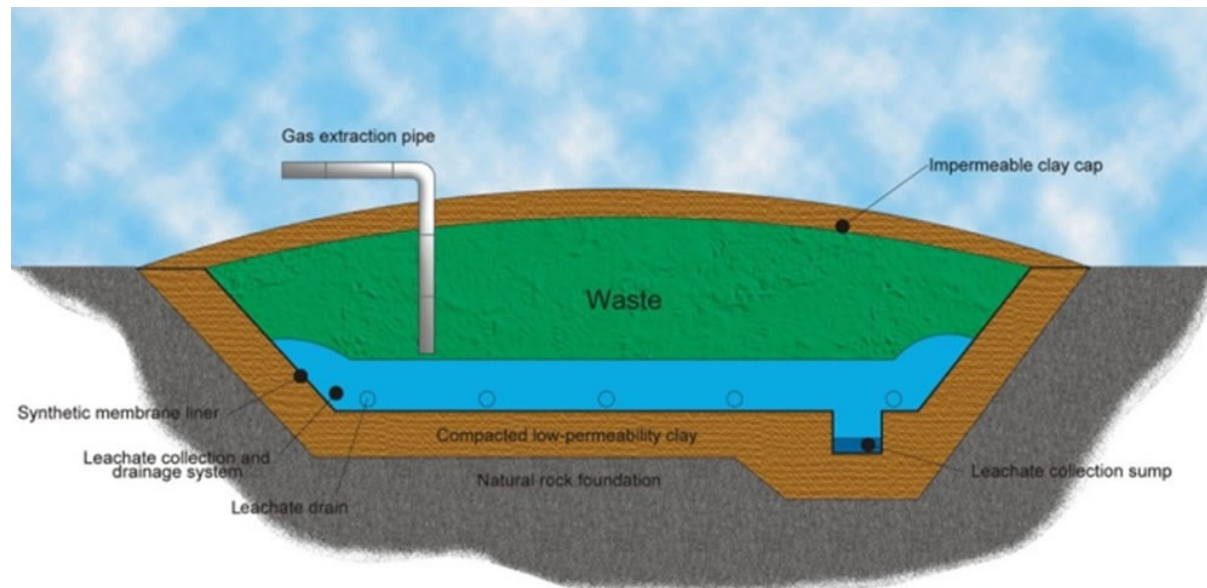
- starosti deponije
- vrste otpada
- klimatski čimbenici i sl.

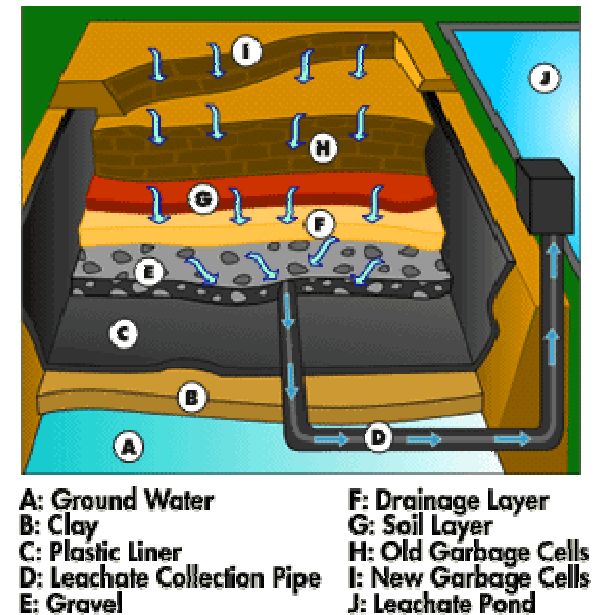
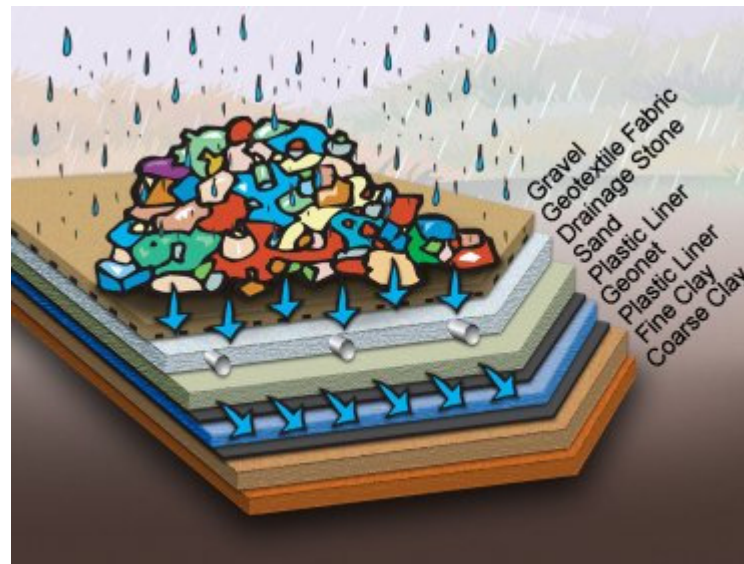
Ove otpadne vode se ne smiju ispuštati direktno u okruženje bez prethodnog sakupljanja i pročišćavanja.



Procjedne vode – otpadne vode deponija nastaju procijeđivanjem oborinskih voda kroz tijelo deponija prilikom čega dolazi do ekstrakcije topivih, koloidnih i suspendiranih tvari iz otpada.

Procjedna voda - otpadna voda deponija = zagađena tekućina, koja se procijedila kroz slojeve odloženog otpada i pri tome primila u sebe velike količine zagađujućih supstanci iz otpada, uključujući i proizvode kemijskih i biokemijskih reakcija koje se odvijaju u tijelu deponija.

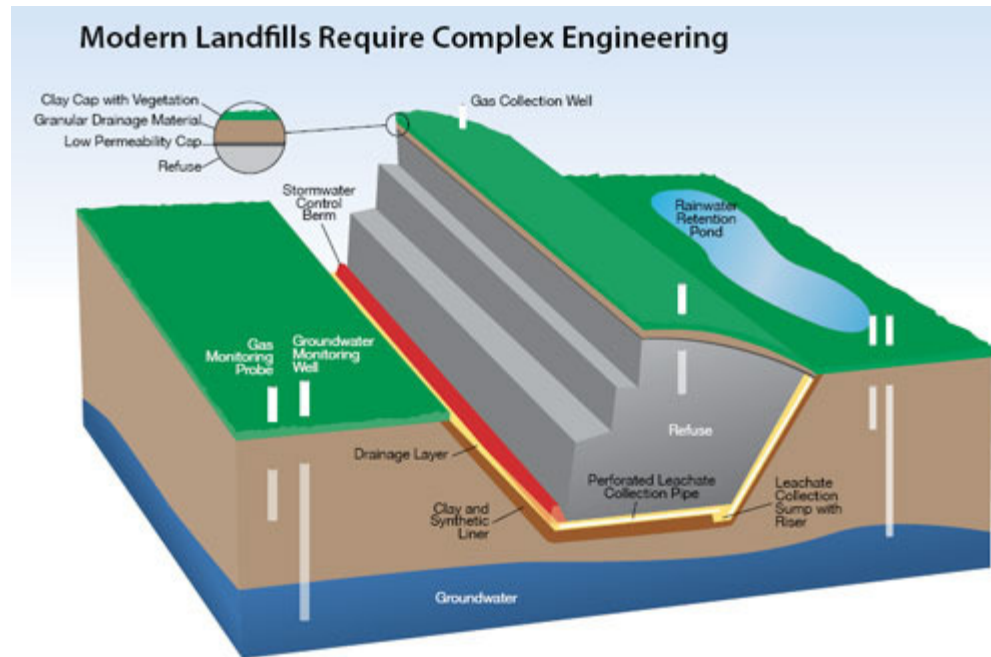




Procjedne vode se sastoje od tekućina-voda koje u tijelo deponija ulaze izvana, odnosno od padalina, infiltrirane podzemne vode, kao i vode sadržane u samom otpadu.

Filtrat (otpadna voda deponija) se sakuplja i pročišćava da bi se uklonile štetne tvari ili sveli na nivo prihvatljiv za životnu sredinu.

Tijekom radnog vijeka deponija, uključujući operative faze i faze naknadnog zatvaranja, potrebno je provoditi kontrolu filtrata – otpadne vode deponija, kao i tokova u okolini deponija, čime se prati migracija procjednih voda u okolni životni prostor.



Najnovija istraživanja u sagledavanju problema **procjednih voda sa deponija komunalnog otpada** pokazuju da ove vode **predstavljaju jedan od najsloženijih izvora zagađenja u prirodi.**

Procjedne deponijske vode predstavljaju medij čiji se **sastav i količina značajno mijenjaju u toku životnog vijeka deponija.**

Filtrati sa deponija spadaju među **najproblematičnije vrste otpadnih voda**, gledano sa aspekta toksičnosti, kao i u smislu izbora odgovarajućih metoda (tehnika) za njihovo pročišćavanje.



Svaki deponij predstavlja zaseban sustav i u tom smislu, i **sastav i količina procjedne vode ovisi isključivo o karakteristikama samog deponija.**

Osnovni izvor deponijskih procjednih voda predstavljaju padaline koje dolaze na površinu deponija i procjeđuju se kroz tijelo deponija.

Dio te vode otjeće kao oborinska voda sa deponija, dio se vraća u atmosferu isparavanjem sa gornje površine deponija ili vegetacije (evapotranspiracija), a ostatak se zadržava u gornjem sloju deponija, pri čemu dolazi do povećanja vlage u otpadu.

Kada ova vlaga prijeđe stupanj zasićenja otpada vlagom (koeficijent zasićenja otpada koji izražava sposobnost otpada da upije i zadrži određenu količinu vlage), nastaje procjeđivanje viška vode kroz slojeve otpada.

Stupanj zasićenja otpada vlagom predstavlja maksimalnu vlažnost koja može biti zadržana bez kontinuiranog gravitacijskog procjeđivanja vode.



Kretanje vode kroz otpad ovisi o **propusnosti otpada, poroznosti, vlažnosti, debljini, kemijskoj migraciji i unutrašnjim prekrivkama** koje formiraju nepropusne barijere i akumulacijske zone u otpadu.

Količina sakupljene vode u slojevima otpada do momenta postizanja stupnja zasićenja vlagom, predstavlja **kapacitet zadržavanja vlage u otpadu**. U toj fazi vlaga iz otpada počinje formirati procjednu vodu deponija.

Količina procjedne vode, koja nastaje kao produkt bioloških i kemijskih procesa razgradnje otpada, je praktično neznatna u usporedbi sa ostalim izvorima, osim u zemljama sa suhom klimom.

Vodna bilanca sanitarnog deponija predstavlja razliku između:

❖ **količine vode koja dotjeće na tijelo deponija**: padaline, podzemni tokovi, recirkulacija filtrata na deponiju

i

❖ **količine vode koja izlazi iz ili sa tijela deponija**: filtrat, evapotranspiracija

Najjednostavniji proračun vodne bilance, prema US EPA, za uređeni deponiji se proračunava najmanje dva puta godišnje, kako bi se provjerilo ima li povećanja u produkciji filtrata.

Proračun se može činiti preko jednadžbe:

$$F_o = [P_{ef}(A_{ef}) + V_{t.o.} + I(A_{ef}) + P_{ef}(A_B)] - [a \cdot Tot]$$

F_o (m³) - produkcija filtrata

P_{ef} (m³) – efektivne padaline definirane kao ukupne padaline umanjene za stvarnu evapotranspiraciju (na aktivnom dijelu sanitarnog deponija i bazenu za prikupljanje filtrata (ukoliko isti postoji na tijelu deponija)

A_{ef} – površina sanitarnog deponija na kojoj se aktivno provodi odlaganje otpada i površine koje nemaju gornju multibarijernu zaštitu te doprinos procijeđivanju filtrata (m²)

V_{t.o.} – volumen tekućeg otpada – ukoliko se odlaže na deponij (uključuje mulj sa postrojenja za obradu otpadnih voda) (m³)

I – infiltracija (m³)

A_s – površina bazena za prikupljanje filtrata (m²)

a – kapacitet sorpcije otpada (m³/t), varira ovisno o tipu otpada i gustoći zbijenosti otpada.

 Za otpad gustoće 0,65 t/m³ kapacitet apsorpcije iznosi 0,1 m³ vode na tonu otpada, prije stvaranja filtrata;

 kod povećanja kompaktnosti odloženog otpada na 1 t/m³, apsorpcijski kapacitet otpada na 0,025 m³/t otpada.



Sve vode koje nastaju tijekom rada na deponijama, prema EU Direktivi o deponiranju otpada 1999/31/EC, treba sakupiti i pročistiti, prije bilo kakvog ispuštanja u krajnji recipijent.



Deponij komunalnog otpada možemo promatrati kao **biokemijski reaktor**, sa **otpadom i vodom** kao **ulaznim**, te **bioplinom i procjednom vodom** kao **glavnim izlaznim komponentama**.

Procjedne vode sadrže **sve tvari koje se nalaze u otpadu**, a koje su **topive u vodi**, kao i **produkte transformacije određenih organskih komponenti otpada** deponija.

Produkcija i koncentracija deponijskog filtrata u tijelu deponija može se podijeliti na:

- ❖ **kiseli deponijski filtrat** (iz **biološke razgradnje otpada** u 1. i 2. fazi), i
- ❖ **metanski deponijski filtrat** (iz **biološke razgradnje otpada** u 3. i 4. fazi).

Kroz navedene **faze biološke razgradnje organskih komponenti otpada** **parametri deponijskog filtrata** se **značajno mijenjaju**.

U procjednim vodama deponija komunalnog otpada uglavnom se nalaze slijedeći spojevi:

- **spojevi sa dušikovi:** u organski vezanom obliku i u obliku amonijaka, predstavljaju najveći postotak otopljenih spojeva s dušikom u procjednim deponijskim vodama i nastaju biorazgradnjom prisutnih organskih tvari.

Dušik u nitratnom obliku se troši u anaerobnim uvjetima i zato je prisutan u niskim koncentracijama. Nitratni ioni su vrlo mobilni

- **spojevi sa fosforom:** uključeni su u fizičke, kemijske i mikrobiološke transformacije. Topivost im ovisi o pH vrijednosti i u procjednim vodama su prisutni u malim koncentracijama

- **teški metali:** u većini filtrata iz komunalnih deponija se javljaju određene koncentracije teških metala, i to: Al, As, Cu, Ba, Fe, Zn, Cd, Co, Ag, Pb i Hg

- **kationi:** najčešći kationi koji se javljaju u procjednim vodama su: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} . Reagaju jedni sa drugima i sa kationima iz otpada stvarajući komplekse

- **anoni:** Cl^- , SO_4^{2-} , S^{2-} i HCO_3^- se samo djelimično transformiraju. Sulfat se desorbira radi povećanja pH, a nakon desorpcije se taloži. Sulfidi i karbonati se vežu za metale ili plinove poput SO_2 i CO_2

- **organsko onečišćenje:** izraženo kao BPK_5 , KPK i TOC

- **klorirani ugljikovodici i pesticidi**

- **specifični organski spojevi:** aromatski ugljikovodonici, fenoli, klorirani alifatski spojevi koji se nalaze obično u tragovima

Generalno, iz dosadašnjeg pregleda kvalitativnih osobina deponijskog filtrata, može se zaključiti da se **osnovne kvalitativne karakteristike filtrata** mogu predstaviti preko sljedećih svojstava:

- Boja: tamno smeđa do crna
- Neugodan miris
- pH: kod “mladih” deponija pH kiseo; kod “starih” deponija bazičan (pH = 5,3 - 9,1)
- BPK₅ i KPK: vrlo visokih vrijednosti u fazi kiselog vrenja,
u fazi metanskog vrenja značajno niži
- Sadržaj teških metala: u fazi kiselog vrenja relativno visok,
tijekom metanskog vrenja gotovo zanemariv
- Sadržaj klorida u fazi kiselog vrenja relativno visok
- Visok sadržaj amonijaka
- Vrlo mali sadržaj fosfora

U cilju procjene koncentracije zagađivača u procjednim deponijskim vodama, razvijeni su različiti matematički modeli.

Produkcija filtrata razgradnjom komunalnog čvrstog otpada sa deponija bezopasnog otpada, mijenja se s vremenom, budući se otpad razgrađuje kroz 4 faze biorazgradnje.

U toku radnog vijeka deponija, postoje izražene **4 faze razgradnje otpada**, i to:

- **Faza I** - aerobna faza je početna, kratka faza razgradnje, traje oko mjesec dana. U ovoj fazi razgradnju otpada provode aerobne bakterije.
- **Faza II** – anaerobna, nemetanska faza traje okvirno nekoliko mjeseci. U ovoj fazi su aktivne bakterije koje ne trebaju kisik. Razgradnjom otpada se uglavnom stvaraju organske kiseline i alkoholi. Ova faza predstavlja fazu hidrolize i acidogeneze.
- **Faza III** – anaerobna nestabilna metanska faza traje od nekoliko mjeseci do godinu dana. U ovoj fazi počinju djelovati bakterije i dolazi do početka formiranja metana. Kemijska struktura otpada se stabilizira; kao produkti se stvaraju acetati i vodik.
- **Faza IV** – anaerobna stabilna metanska faza traje godinama. U ovoj fazi su aktivne metanogene bakterije, koje su osjetljive na pH vrijednost i egzistiraju samo kad je pH oko 7. Tu je dominantno nastajanje CH_4 i CO_2 .

Kod nekih autora je dodatno uvedena i faza V, kao završna faza razgradnje otpada. U ovoj fazi se kod nekih deponija u gornjim slojevima mogu pojaviti aerobne zone.

Za vrijeme aerobnih procesa razgradnje otpada nastaje isključivo CO₂.

U početnoj fazi N₂ i O₂ značajno su prisutni, dok na početku anaerobne faze volumni udio kisika pada na nulu, a dušika na manje od 1 %.

U nemetanskoj anaerobnoj fazi, udio CO₂ se povećava na oko 8 %.

Razvojem metanogenih bakterija, u nestabilnoj metanskoj fazi, počinje proizvodnja metana (CH₄).

U stabilnoj anaerobnoj metanskoj fazi, koja traje godinama, deponijski plin sadrži uglavnom CH₄ i CO₂ u omjeru 55:45.

U svim normalnim uvjetima rada i eksploatacije deponija, faza 4 se ne može preskočiti (izbjeci-izostati), međutim moguće je da se 3 i 4 faza ne odvijaju u potpunosti, jer primjerice metanske bakterije nemaju povoljne uvjete za razvoj (pH vrijednost, temperatura i sl.). U tim uvjetima kiselinske bakterije proizvode maslačnu i octenu i ne prerađuju te kiseline u deponijski plin, već se one zajedno miješaju sa procjednim vodama i odlaze kao effluent.

Koncentracija $\text{NH}_4\text{-N}$ raste u fazi 3, zbog biorazgradnje aminokiselina, proteina i drugih spojeva dušika u otpadu.

Prisustvo organskih kiselina u acetogenoj fazi povećava topivost iona metala u filtratu.

Koncentracije BPK_5 i KPK su velike, a visoki omjer BPK_5/KPK pokazuje da je visoki udio organskih tvari u procjednoj vodi i da su one biorazgradive.

Metanogeni filtrat ima neutralnu/alkalnu pH-vrijednost, što se manifestira razgradnjom organskih kiselina faze 3 u CH_4 i CO_2 , pomoću metanogenih mikroorganizama.

Zbog toga, TOC u filtratu u metanogenoj fazi se smanjuje u usporedbi sa acetogenom fazom.

U metanogenoj fazi metalni ioni se i nadalje iz otpada otapaju, ali s vremenom pošto se pH filtrata povećava metalni ioni postaju manje topivi i smanjuje se njihova koncentracija u filtratu.

U ovoj fazi koncentracija $\text{NH}_4\text{-N}$ malo se smanjuje, ali ipak ostaje visoka.

BPK_5 i KPK se smanjuju u usporedbi sa acetogenim filtratima.

Procesi anaerobne razgradnje organskih tvari su veoma složeni, u njima se djelovanjem hidrolitičkih i acidogenih mikroorganizama, razlažu ugljikohidrati, masti, bjelančevine i nukleinske kiseline na jednostavnije spojeve.

Razgradnja otpada se odvija zahvaljujući aktivnostima mikroorganizama, pa će uvjeti za razgradnju ostati trajni ako se omogući održavanje životnih uvjeta mikroba, djelovanje enzima, itd.

Tijekom anaerobne faze: ugljikohidrati – polisaharidi (celuloza, škrob, pektin, hemiceluloza) hidroliziraju u oligosaharide (celobioza, maltoza, saharoza, galakturonska kiselina, ksilobioza), a oni dalje na monosaharide (glukozu, fruktozu, ksilozu).

Istraživanja su pokazala da je pH-vrijednost ranije formiranog filtrata kisela/neutralna sa rasponom pH 5,1-7,8, na što utjeće nastajanje octene kiseline i drugih organskih kiselina uz pomoć acetogenih mikroorganizama pri anaerobnim uvjetima.

Organska tvar faze 3 je vrlo visoka i kreće se u rasponu TOC 1 000-29 000 mg/L.

Dosadašnja istraživanja procjednih voda sa deponija pokazuju da:

- ❖ Kakvoća procjednih voda sa deponija je izuzetno promjenjiva, ali se u svakom slučaju mora provoditi djelimično ili potpuno pročišćavanje prije upuštanja u recipijent;
- ❖ Procjena kakvoće procjedne vode budućeg ili postojećeg deponija, za neki budući period, mogu se orijentacijski predvidjeti - vezati za iskustvene pokazatelje iz literature
- ❖ Matematičko modeliranje, zasnovano na modelima i empirijskim relacijama, može se primijeniti uz obradu i primjenu specifičnih uvjeta i karakteristika konkretnog deponija
- ❖ Kakvoća filtrata se mijenja u ovisnosti o starosti deponija i zato postrojenje za obradu mora biti fleksibilno i prilagodljivo, da prati promjene kakvoće filtrata
- ❖ Parametri kakvoće efluenta, pri pročišćavanju filtrata, trebaju zadovoljiti zakonsku regulativu za industrijske otpadne vode, a obavezni pokazatelji kakvoće su: suspendirane tvari, temperatura, pH, KPK, BPK₅, sastojci s dušikom i ukupni fosfor.

Količina vode, koja protjeće kroz površinu deponija je važan faktor koji olakšava i pomaže stabilizaciju otpada i plina, ali i formiranje količine i sastava filtrata.

Izbor i projektiranje sustava za pročišćavanje procjednih voda nije jednostavan postupak.

Karakteristike procjedne vode, a posebno promjene u sastavu i količini u toku radnog vijeka deponija, značajno utjeću na izbor procesa njihova pročišćavanja.

(Sastav filtrata izravno utjeće na izbor tehnologije za pročišćavanje procjedne vode).

Za pročišćavanje procjednih deponijskih voda postoji niz tehničko-tehnoloških rješenja.

Kakvoća i količina filtrata, veličina deponija i vijek trajanja – rada deponija, te zahtjevana kakvoća efluenta su, uz ekonomsku analizu, osnovni elementi koji definiraju izbor postupka obrade ovih otpadnih voda.

U praksi se primjenjuju različite tehnike obrade procjednih voda sa deponija komunalnog otpada, a koje se mogu uopćeno podijeliti na:

- ✓ **Mehaničke postupke:** sedimentacija, filtracija, centrifugiranje, plutanje, izdvajanje masti i ulja
- ✓ **Kemijske postupke:** neutralizacija, oksidacija
- ✓ **Termičke postupke:** uparavanje, sušenje, stripovanje
- ✓ **Fizikalno-kemijske postupke:** koagulacija, flokulacija, adsorpcija sa aktivnim ugljenom, ionska izmjena, ultrafiltracija, reverzna osmoza
- ✓ **Biološke postupke:** aerobni i anaerobni

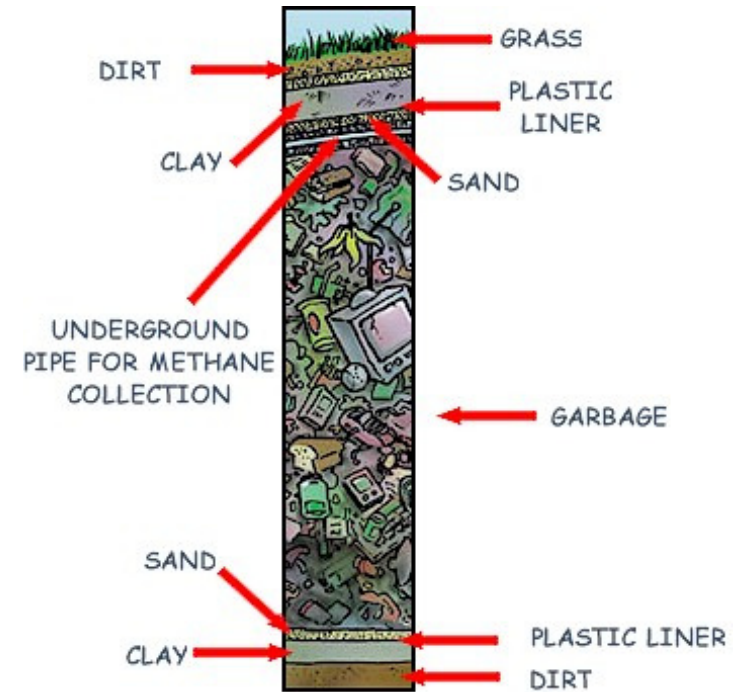
Procjedne vode „mladih“ deponija mogu se, uz prethodnu obradu, pročišćavati različitim biološkim procesima, jer ove vode sadrže puno biorazgradivih tvari, koje se mogu biološki brzo i jednostavno razgraditi.

Procjedne vode „starijih“ deponija, sadrže manje organskih biorazgradivih tvari, više toksičnih komponenata, tako da za pročišćavanje ovih voda treba primijeniti kombinaciju više različitih procesa, prije svega kemijskih i fizikalno-kemijskih.

U praksi se najčeće primjenjuje kombinacija više uzastopnih postupaka (tehnika) radi postizanja učinka uklanjanja svih zagađujućih supstanci iz procjednih voda.

U zadnje vrijeme se pojavljuju i neke „napredne“ tehnologije, koje prije svega podrazumijevaju nanofiltraciju, katalitičku oksidaciju i sl., ali u kombinaciji sa prethodnom obradom.

Također, sve se više radi na razvoju membranskih tehnika (prvenstveno reverzne osmoze), koje bi mogle zadovoljiti uvjete uklanjanja polutanata iz procjednih voda i postizanje granica prihvatljivih za direktno ispuštanje u površinske tokove.



Zaštitini sloj na površinu predviđenu za odlaganje otpada: tlo min 3 m debljine za gradski otpad; umjetni sloj (folija od polietilena, poliamida ili polivinila par mm debljine) u kombinaciji sa mineralnim materijalom (različite vrste gline i drugisitnoznati nepropusni materijal)

Prekrivni sloj na odloženi otpad: tlo debljine 1,5 m; sustav odvodnje oborinskih i površinskih – slivnih voda (mineralni sloj debljine 20 cm); zaštitini sloj (kombinacija folije debljine par mm i mineralni sloj debljine 50 cm); sustav za prihvat i sakupljanje plina

HVALA NA PAŽNJI !