

Sanacija odlagališta otpada na primjeru Jakuševac

Bunčić, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:602552>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-11**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

SANACIJA ODLAGALIŠTA OTPADA NA PRIMJERU JAKUŠEVAC

JAKUŠEVAC LANDFILL SANATION EXAMPLE

SEMINARSKI RAD

Ana Bunčić
Preddiplomski studij znanosti o okolišu
(Undergraduate Study of Environment Science)
Mentor: prof. dr. sc. Mladen Juračić

Zagreb, 2014.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. ODLAGALIŠTE OTPADA	2
3. TEMELJNI BRTVENI SUSTAV	4
3.1 Geomembrane	5
3.2 Glinene barijere	8
3.3 Betonit.....	10
4. DRENAŽNI SUSTAV	11
5. TIJELO ODLAGALIŠTA	13
6. ZAVRŠNI POKROV.....	13
7. SUSTAV ZA OTPLINJAVANJE.....	15
8. OZELENJENJE POVRŠINE ODLAGALIŠTA.....	17
9. 9. ODLAGALIŠTE OTPADA JAKUŠEVAC.....	18
9.1 Geološka podloga odlagališta i utjecaj na podzemne vode.....	18
9.2. Lokacija i trenutno stanje odlagališta	20
9.3. Moguće mjere zaštite s obzirom na pretpostavljeni izbor materijala podloge u odlagalištu Jakuševac.....	24
10. LITERATURA	26
11. SAŽETAK	27
12. SUMMARY	28

UVOD

Prije nekoliko desetljeća ekonomisti su definirali otpad kao materijal koji je jeftinije baciti nego koristiti. Danas je došlo do promjene takvog stajališta. Naime, s vremenom cijena odlaganja otpadnog materijala raste jer je sve manje ekološki prihvatljivih lokacija na kojima je omogućeno sanitarno odlaganje otpada. Osim toga u otpadu postoji dosta materijala koji se mogu reciklirati i uporabiti kao sekundarne sirovine uz određeni profit.

Odlagalište otpada koje je prisutno u urbanim sredinama često povezujemo s potencijalnim zagađenjem podzemnih i površinskih voda, čime mogu imati rizik za ljudsko zdravlje. Kvalitetnom sanacijom postojećih odlagališta i izgradnjom novih uređenih odlagališta, smanjuje se rizik od onečišćenja i negativnog utjecaja na ljudsko zdravlje.

Otpad možemo definirati kao nusproizvod rada i življenja, a može biti kruti (čvrsti), tekući i plinovit. Otpad koji se odlaže vrlo je aktivan. Procesom raspadanja organskog dijela otpada nastaje odlagališni plin, a u dodiru otpada s vodom nastaju procjedne vode. Stoga odlagalište otpada mora imati osigurano brtvljenje s donje i gornje strane, mogućnost prihvaćanja i pročišćavanja procjednih voda i osiguran sustav otplinjavanja.

Nakon osnivanja i puštanja odlagališta otpada u rad, potrebno je uspostaviti sustav praćenja kvalitete podzemne vode i kvalitete odvodne vode.

U Strategiji gospodarenja otpadom Republike Hrvatske (NN 130/2005), stoji da je u RH tek oko 10% postojećih odlagališta sagrađeno u skladu s propisima, dok ostala koja to nisu predstavljaju potencijalno opasnost za okoliš.

Oko dvije trećine kućanstava u Hrvatskoj (približno 70%) uključeno je u organizirano skupljanje i odvoz kućnog otpada na “službena odlagališta“. Takvih odlagališta je 1995. godine na području naše države registrirano 120, a prema procjenama otpad se odlaže na još otprilike 800 do 1000 divljih odlagališta.

Treba spomenuti da je u Hrvatskoj situacija s divljim odlagalištima jako loša, budući da se o njima ne vodi nikakva evidencija, često se pojavljuju u neposrednoj blizini naselja ili na ekološki vrijednim područjima. Ponekad se rabe za ilegalno odlaganje različitih vrsta opasnog otpada.

Zanimljivo je da spaljivanjem 1 kg komunalnog otpada nastaje otprilike 700 g plina, 270 g troske te 30 g pepela.

ODLAGALIŠTE OTPADA

Odlagalište otpada je objekt čija izgradnja obuhvaća rješavanje niza problema:

sanitarno–epidemioloških, ekoloških, hidroloških, hidrogeoloških, urbanističkih, građevinskih, ekonomskih, komunalnih i geotehničkih.

Prema kvaliteti izgradnje, odlagališta dijelimo na sanitarna i nesanitarna odlagališta otpada:

- a) **Sanitarna odlagališta** – izvedena su prema važećim propisima i zakonskoj regulativi, ne ugrožavaju okoliš i imaju svu potrebnu projektnu dokumentaciju. Sanitarno odlagalište možemo opisati kao objekt koji je izgrađen i opremljen za trajno, kontrolirano, organizirano i sigurno odlaganje otpada odnosno takav objekt mora osigurati da ne dođe do zagađenja okolnog područja. Sustav sanitarnih odlagališta sastoji se od tri komponente: lokacije odlagališta, zaštitnih sustava i otpada. Ove tri komponente moraju biti optimalno projektirane kako bi se spriječio prodor i širenje štetnih tvari.
- b) **Nesanitarna odlagališta otpada** – tzv. “smetlišta” su sva neuređena odnosno nekontrolirana (divlja) odlagališta, koja ugrožavaju okoliš, nemaju svu potrebnu dokumentaciju i nisu izvedena prema važećim propisima i zakonskoj regulativi. Među njih spadaju i odlagališta koja su započeta kao službena, ali su u jednom trenutku prestala biti sanitarna i sada zahtijevaju sanaciju.

Lokacija samog odlagališta trebala bi biti takva da stijene u okruženju čine prirodnu geološku barijeru kako bi se mogućnost zagađenja smanjila na minimum.

Prirodna geološka barijera bi trebala koristiti kao dodatni brtveni sloj i osiguranje u slučaju puknuća brtvenih slojeva odlagališta. S geološkog odnosno hidrogeološkog stajališta najbolje lokacije za odlagalište otpada su one koje se nalaze na stijenama s niskom propusnošću i visokom sposobnošću zadržavanja zagađenja. Ove uvjete najbolje ispunjavaju gline i glinovite stijenske mase.

Kao glavna funkcija podinskih geoloških naslaga ističe se brtvljenje pa je ono definirano koeficijentom vodopropusnosti. Primjer je Njemačka u kojoj se traži da se odlagališta otpada mogu izgraditi na mjestima gdje postoje geološke barijere debljine najmanje 3 m i sa koeficijentom vodopropusnosti manjom od 1×10^{-7} m/s.

Uređeno odlagalište komunalnog otpada mora zadovoljiti sljedeće uvjete:

- mora imati vodonepropusnu podlogu (sloj gline, plastične folije, asfalta ili bitumena)
- treba imati sustav drenaže i sakupljanja procjedne vode i eventualno njeno naknadno pročišćavanje
- sustav otplinjavanja
- slojevito slaganje i kompaktiranje (dnevno prekrivanje)
- zaštitni pokrov i zelenilo
- sustav praćenja/monitoringa kvalitete PV i kvalitete odvodne vode

TEMELJNI BRTVENI SUSTAV

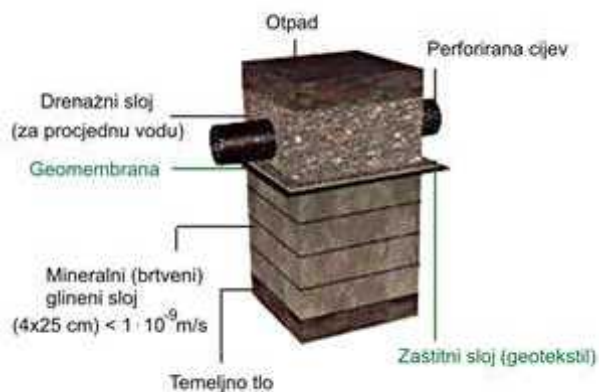
Najvažniji dijelovi svakog uređenog odlagališta su brtveni slojevi, drenažni sustav za odvodnju procjednih voda te sustav za otplinjavanje, kao što je prikazano na slici 2.

Brtvljenje odlagališta je stvaranje nepropusne prepreke između odloženog otpada i okoliša. Sustav brtvljenja nužno je prilagoditi stvarnim uvjetima i potrebama neposredne lokacije, odnosno vrsti odloženog otpada.

Pokrovni brtveni slojevi su dijelovi pokrovnog sustava koji zaustavljaju prodiranje oborinskih voda u tijelo odlagališta te sprječavaju širenje štetnih plinova iz odlagališta u atmosferu. Brtveni sustavi ne sastoje se samo od nepropusnih barijera, nego i od propusnih slojeva. Nepropusni dijelovi sprječavaju prodor oborina i drugih voda u tijelo odlagališta, a propusni rasterećuju brtvene slojeve odvodnjom procjedne vode i skupljanjem plinova.

Najpogodniji materijali za ugradnju u brtvene slojeve su:

- glina i mješavina gline s drugim materijalima kao prirodni nepropusni materijal
- propusni prirodni materijali (npr. šljunak)
- geosintetici (geomembrana, geotekstil, geomreže, geokompoziti)



Slika 2. Elementi temeljnog brtvenog sustava

(http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec_001/ins_001/Sanacija%20degradiranih%20terena/SDT%203%20SANACIJA%20ODLAGALI%C5%A0TA%20OTPADU%202011.pdf)

1.1 Geomembrane

Izgradnjom brtvenog sustava omogućuje se stvaranje nepropusne prepreke između odloženog materijala i okoliša, pri čemu su geosintetici neizostavni dio sustava brtvljenja.

Geosintetici koji se najčešće koriste u izgradnji pokrovih slojeva su geomembrane, različiti tipovi geotekstila te po potrebi geomreže i geokompoziti.

Geomembrane su sastavljene od različitih polimera kojima su potrebni aditivi da bi se postigla tražena fizikalno-kemijska svojstva. U praksi se najčešće koriste slijedećih sedam polimera: butirana guma, klorirani polietilen (CPE), klorosulfonirani polietilen (SCPE), etilen-propilenska guma (EPDH), polietilen niske gustoće (LDPE), polietilen visoke gustoće (HDPE) i polivinilklorid (PVC).

Geomembrane su savitljive i nepropusne folije koje predstavljaju barijere protjecanju fluida (Slika 3). U slučaju pokrovnog brtvljenja one zaustavljaju procjeđivanje vode do tijela odlagališta te isparavanje plinova iz odlagališta u okoliš.



Slika 3. Geomembrana

(<http://geomembranasperu.com/>)

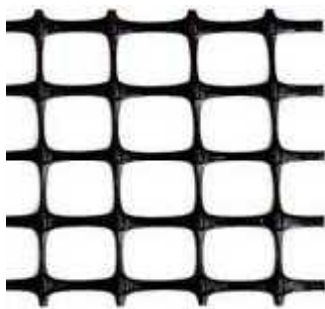
Geotekstil je definiran kao propusni materijal proizveden od sintetičkih vlakana koji ima više funkcija u odlagalištu otpada: razdvajanje slojeva, ojačanje ili filtriranje. U funkciji dreniranja ne dolazi kao samostalni element, već se poavljuje kao filtarska zaštita mineralnog drenažnog sloja. Često se geotekstil koristi i kao zaštita geomembrane kako bi se spriječilo njeno mehaničko oštećenje (slika 4).



Slika 4. Geotekstil-nekoliko vrsta

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Geotextile>)

Geomreže su geosintetici otvorene mrežaste građe koje se primjenjuju na odlagalištima u funkciji ojačanja (slika 5). Njima se postiže dugotrajna stabilnost brtvenog sustava. Geomreža se često primjenjuje radi sprječavanja pojave klizanja.



Slika 5. Geomreža

(<http://www.eurogabions.sk/sk/produkty/geomreze.php>)

Geokompoziti su tvornički proizvedene kombinacije različitih geosintetika: geomembrana s geotekstilom, geomembrana s geomrežom, geotekstil s geomrežom ili kombinacija navedenih geosintetika i nekih drugih materijala. Kod odlagališta otpada služe kao zaštita kod oštećenja geomembrane i sudjeluju u boljem ojačanju.

Općenito za geomembrane valja reći da su vrlo osjetljive na pucanje koje može biti uzrokovano promjenama temperature i sunčevim svjetlom. Kada se jednom membrana postavi ispod odlagališta nije izložena nikakvim stresovima, ali uslijed slijeganja terena može doći do njenog prevelikog istezanja i nastajanja pukotina. Polimeri od kojih se rade membrane osjetljivi su na djelovanje nekih kemikalija (posebice organskih) te može doći do njenog oštećenja kemijskim putem nakon ugradnje u podlogu. Zbog toga je potrebno testirati otpornost materijala geomembrane na procjednu vodu iz odlagališta. Testiranje se provodi uronjavanjem uzorka membrane u procjednu vodu ili razrijeđeni otpad nakon čega se provjeravaju fizička svojstva membrane. To su kratkoročni testovi koji traju 120 dana i ne daju pravu sliku dugoročne otpornosti membrane. Geomembrane su propusne za neke organske kemikalije, a posebno organska otapala. Poznato je da u slučaju koncentriranih otopina organskih tvari može doći do njihovog prolaza kroz membranu. Poznato je da iz razrijeđenih vodenih otopina ksilen, toulon, trikloretilen i metilen klorid mogu proći kroz neoštećenu HDPE geomembranu debljine 0,76-2,54 mm. Rastezanje geomembrane za 5 % povećava prolaz tih tvari. Izračunato je da geomembrana mora biti debljine 7,3 mm da bi efikasno spriječila prodor ispitivanih organskih tvari za period od 25 godina.

Potrebno je testirati otpornost membrane na tlo s kojim dolazi u dodir. Utvrđeno je da prirodno prisutni oksidi metala, kloridi, sumporni i neki organski spojevi mogu reagirati s materijalom od kojeg je napravljena membrana.

1.2 Glinene barijere

Različiti prirodni materijali mogu se upotrebljavati za izradu brtvenog sloja u odlagalištima. Odabir brtvenog materijala ovisi o zahtjevima na pojedinoj lokaciji, periodu za koji će se koristiti i nakon zatvaranja odlagališta te tipu otpada koji će se deponirati. Pri izradi brtvenog sloja treba uzeti u obzir troškove, trajnost i što jednostavniju izvedbu.

Debljina brtvenog sloja je važna zbog mogućnosti mehaničkog oštećenja i mogućeg curenja. Otpornost brtvenog materijala na fizička i kemijska oštećenja je jedno od najvažnijih pitanja prilikom odabira brtvila. Kod prirodnih materijala za brtveni sloj mogu se koristiti:

- Čiste gline (koje bubre i koje ne bubre)
- Glinoviti sedimenti (mljevene stijene i neočvrstli sedimenti)
- Poboljšana tla (materijali s dodacima betonita, asfalta ili cementa)

Svojstva brtvila o kojima ovisi propusnost su:

- mineralni sastav
- fizička svojstva nabijenog materijala, kao što su porozitet/gustoća, postotak vlage, struktura
- hidraulička vodljivost
- adsorpcijsko/desorpcijska svojstva materijala koja ovise o udjelu glina i vrsti minerala glina, specifičnoj površini (SSA) i kapacitetu ionske izmjene (CEC), udjelu organske tvari
- posebnoj obradi (npr. hidrofobne gline)

Po svojoj prirodi glina je vrlo stabilan materijal zbog toga što je proizvod zadnje faze trošenja i stvaranja stijena. Nabijeni slojevi takvog materijala imaju vrlo malu hidrauličku vodljivost i kada bi bili izloženi konstantnoj temperaturi, tlaku, te kemijskim i biološkim uvjetima mogli

bi kao takvi opstati neodređeno vrijeme. Stvarni uvjeti u odlagalištima karakterizirani su promjenom gornjih uvjeta, pa se i kod glinenih slojeva mogu vremenom očekivati promjene.

Za sprječavanje prodora iz odlagališta najvažnije je postići i održati jednoliku nabijenost, sastav i debljinu brtvenog sloja na cijelom odlagalištu kako bi izbjegli tanja mjesta u sustavu.

Za brtveni sloj debljine 1 m, hidrauličke vodljivosti $k = 10^{-9}$ m/s uz visinu stupca procjedne vode od 0,5 m može se očekivati procjeđivanje od nekoliko cm na godinu.

Literaturni podaci ukazuju da većina uobičajenih illitskih glinovitih i siltoznih materijala često nije podobna za izradu brtvenog sloja. Hidraulička vodljivost tih materijala obično kreće se između 10^{-8} do 10^{-9} m/s što ne zadovoljava tražene zahtjeve. Neki slojevi glina “in situ” mogu imati nižu permeabilnost, no kod iskopavanja i ponovnog nabijanja, praktički je nemoguće postići originalni stupanj kompakcije i odgovarajuću nisku hidrauličku vodljivost. Laboratorijska istraživanja su pokazala da se hidraulička vodljivost niža od 5×10^{-10} m/s može postići dodatkom betonita.

1.3 Betonit

Betonit je čista glina koja se sastoji od minerala montmorilonita. Hidraulička vodljivost manja od 5×10^{-10} m/s može se postići dodatkom betonita. Najbolja svojstva za betonitska brtvila možemo dobiti ako je udio betonita veći od 5 %.

Betonit je prirodna glina koja ima izvredna vodootporna svojstva, osobito u vlažnim uvjetima. Ima svojstvo bubrenja upijanjem vode i time popunjava prostor između slojeva geomembrane. Dostupan je u obliku praha ili smole.

Geosintetički betonitni tepisi sastoje se od tankog suhog sloja betonitnog praha (ili nekog drugog slabopropusnog materijala) između dva geosintetika. Ti se tepisi izrađuju u obliku traka, debljine 7 do 10 mm, širine 4 do 5 m, duljine 25 do 60 m i isporučuju u rolama. Odmah po razastiranju tepih se prekriva nadslojem tla visine 30 do 50 cm i zalije se vodom kako bi se betonit hidratizirao. Tepisi imaju malu propusnost 1×10^{-11} m/s.

Betonitni tepisi se češće upotrebljavaju kod prekrivanja odlagališta nego u temeljnom zaštitnom sustavu. Pokrovni brtveni sustav izloženiji je opasnosti od nastanka pukotina i smrzavanju nego li je to temeljni sloj. Betonitni tepisi lakše podnose diferencijalna slijeganja u odnosu na glinoviti sloj te su manje osjetljivi na povećanje ili smanjenje vlage u zaku.

DRENAŽNI SUSTAV

Drenažni sloj je dio sustava koji služi za odvodnju procjedne vode koje se infiltriraju s površine odlagališta.

Drenažni sustav se izvodi radi prikupljanja i odvođenja filtrata iz tijela odlagališta. Sastoji se od tri osnovna dijela: - drenažnog sloja

- filterskog sloja

- drenažnih cijevi

Drenažni sloj treba imati koeficijent propusnosti barem za jedan red veličine veći od komunalnog otpada ($k=10^{-5}$ m/s) i minimalnu debljinu od 30 cm. Za izradu drenažnog sloja koristimo šljunak i krupni pijesak.

Šljunak je materijal velike propusnosti, veličina čestica mora biti takva da ne dođe do zapunjavanja drenažnog sloja i perforacije na cijevima kolektorskog sustava. S druge strane čestice (valutice) šljunka moraju biti dovoljno velike da ne prolaze kroz perforacijske otvore. Mišljenja o odgovarajućoj veličini čestica variraju. Neki autori smatraju da je pogodan dobro sortirani šljunak (sve čestice su jednake veličine), drugi pak smatraju da minimalni promjer čestice (valutice) ne smije biti manji od 16 mm. Preporučeni promjer u drenažnim cijevima je 10 mm, a u drenažnom materijalu šljunak s promjerom čestice od 16 do 32 mm. Sitnozrnati filterski materijali i dobro sortirani šljunkoviti filtri s malim odnosom pora i promjerom istih podložni su začepljenju. Prisutnost manjeg udjela sitnozrnatih čestica pri upotrebi grubozrnatih filtera je dopuštena, zbog količine procjedne vode koja je malena i niske brzine tečenja, te male opasnosti da dođe do taloženja sitnozrnatog materijala koji nastaje biološkom razgradnjom.

Filterski sloj omogućava procijeđivanje filtrata iz tijela odlagališta u drenažni sloj, ali ujedno sprječava iznošenje sitnih čestica iz otpada u drenažni sloj i time smanjuje mogućnost začepljenja drenažnog sloja. Osim filtra od zrnatog materijala, mogu se upotrebljavati filtri od geotekstila, koji je već spomenut kao materijal za izradu geosintetičkih betonidnih tepiha.

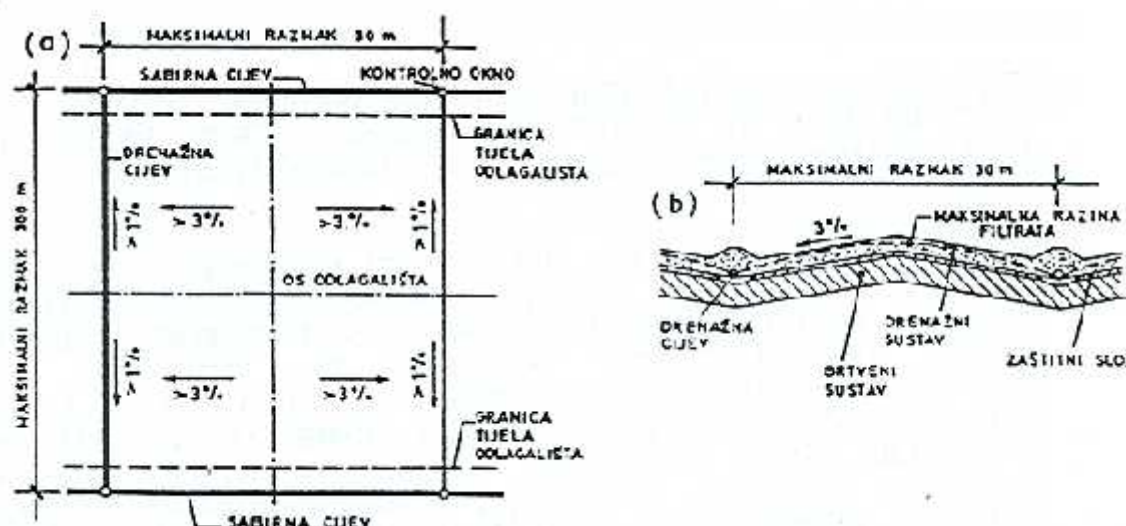
Sustav ocijeđivanja jednako je važan kao i brtveni sloj za sprječavanje prodora procjedne vode u podzemlje. Procjedna voda koja se nakuplja iznad brtvenog sloja mora se sakupljati i odvesti izvan odlagališta. Na taj se način sprječava povišenje hidrostatskog tlaka, te time i brže prodiranje zagađenja u podzemlje. Drenažni sloj omogućava skupljanje odlagališnog plina.

Materijal koji koristimo za izradu drenažnog sloja mora biti otporan na djelovanje procjedne vode. U literaturi se navodi da su karbonatne stijene i vapnenački pješčenjaci sasvim neprikladni. Analize takvih materijala pokazuju da dolazi do taloženja kalcijevog i željeznog karbonata što uzrokuje začepljenje otvora i taloženje u odvodnim cijevima. Do taloženja može doći zbog promjene fizikalno – kemijskih uvjeta ili različitih mikrobioloških procesa uslijed prodora zraka. Željezo se u oksidnim uvjetima taloži zbog oksidacije vodotopljivog Fe^{2+} (koji je prisutan u anoksičnim uvjetima) te prelazi u Fe^{3+} koji se taloži u obliku oksida-hidroksida. Uslijed mikrobioloških procesa dolazi do stvaranja sluzi i nitaste biomase koja također (uz talog željeznog oksihidroksida) može dovesti do začepljenja otvora na cijevima sustava za prikupljanje procjedne vode.

Drenažne cijevi se polažu u drenažni sloj, i to u nagibu prema sabirnim mjestima. Oblažu se filtarskim materijalom.

Osim ovih zahtjeva , drenažni sustav treba još:

- imati dostatnu čvrstoću da izdrži opterećenje otpada i strojeva za zbijanje otpada
- preuzeti naprezanja od slijeganja izazvanih opterećenjem otpadom
- biti otporan na djelovanje agresivne sredine
- biti djelotvoran tokom uporabe odlagališta i nakon njegovog zatvaranja
- omogućiti kontrolu i održavanje



Slika 6. Drenažni sustav (a) tlocrtna dispozicija, (b) poprečni presjek

(http://www.grad.unizg.hr/_download/repository/7._Utjecaj_odlagalista_otpada.pdf)

TIJELO ODLAGALIŠTA

Tijelo odlagališta oblikuje se odlaganjem otpada. Otpad se pri odlaganju razastire u slojevima i zatim zbija, te obavezno svakodnevno prekriva.

Zbijanjem se postiže znatno smanjenje volumena otpada, a time i bolja iskoristivost prostora odlagališta. Tipična vrijednost za nezbijeni otpad iznosi 150 kg/m^3 , a za zbijeni 800 kg/m^3 .

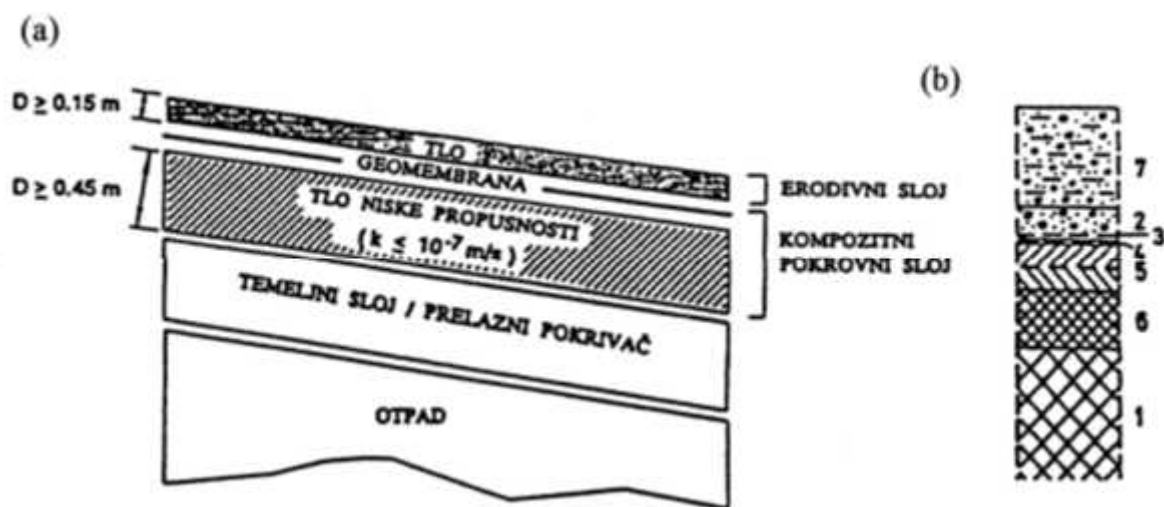
Tijekom oblikovanja tijela odlagališta dolazi do vertikalnih i horizontalnih pomaka. Dugotrajni biokemijski procesi u otpadu uzrokuju dodatna slijeganja, a na to se superponira slijeganje uslijed deformacije temeljnog tla (podloge).

Pojava slijeganja, osobito diferencijalnih slijeganja tijela odlagališta, uzrokuje negativne učinke i tijekom upotrebe (rada) odlagališta i u razdoblju nakon zatvaranja odlagališta (pojava pukotina u brtvenim slojevima, poremećaji u funkcioniranju drenažnog sustava, nemogućnost korištenja površina iznad sanitarne deponije kao građevinskog zemljišta i dr.)

ZAVRŠNI POKROV

Završni pokrov, slično temeljnom zaštitnom sutavu, izolira otpad od okoline, ali s namjenom da se spriječi prodor padalina u otpad, tj. u tijelo odlagališta (slika 7).

Budući da se nalazi pri vrhu odlagališta koje doživljava slijeganja u vremenu, pokrovni sustav treba izdržati sva diferencijalna slijeganja slojeva ispod sebe i ostati u nagibu od barem 3 % kako bi uspješno odvodio oborinsku vodu.



Slika 7. Minimalni zahtjevi za pokrovni sustav (a) u SAD-u; (b) u Njemačkoj

1 – otpad; 2 – drenažni sloj; 3 – zaštitni sloj; 4 – geomembrana; 5 – mineralni brtveni sloj (glina), 6 – izravnavajući podložni sloj; 7 – površinski sloj

(http://www.grad.unizg.hr/_download/repository/7._Utjecaj_odlagalista_otpada.pdf)

Slijeganje pokrovnog sustava posljedica je slijeganja tijela odlagališta, tj. samog otpada koji se razgrađuje i komprimira, te slijeganje temeljnog tla zbog težine nadsloja (tijela) odlagališta.

Približno se može uzeti da je slijeganje površine sanitarnog odlagališta oko 20 % njegove početne visine tijekom 15 do 20 godina.

Temeljni zaštitni pokrov čine:

(a) Pokrovni brtveni sustav

(b) Drenažni sustav

(a) Pokrovni brtveni sustav

Sve što je rečeno za temeljni brtveni sustav vrijedi i za pokrovni brtveni sustav. Razlika je u tome što je pokrovni brtveni sustav izloženiji opasnosti od skupljanja i nastanka pukotina te

utjecaja smrzavanja nego li je to temeljni sloj. Stoga češće upotrebljavamo geosintetičke betonitne tepihe u toj zoni.

Betonitni tepih lakše podnosi diferencijalna slijeganja nego li glinoviti sloj. Manje je osjetljiv od gline na povećanje ili smanjenje vlage u zraku.

(b) Drenažni sustav

Iznad brtvenog sloja postavlja se drenažni sloj koji drenira vodu što se procijedi i sprječava prodiranje do otpada. Za otpad koji proizvodi bioplin treba osigurati sloj koji ga prikuplja i pomaže da se bioplin izvede iz odlagališta pomoću posebnog sustava otplinjavanja.

SUSTAV ZA OTPLINJAVANJE

Udio biorazgradivih organskih tvari u (neobrađenom) komunalnom otpadu je vrlo visok (čak do 65 %). Trajanje pojedinih faza truljenja i raspadanja ovisi o vrsti otpada, zbijenosti otpada, o količini vlage, o temperaturi itd.

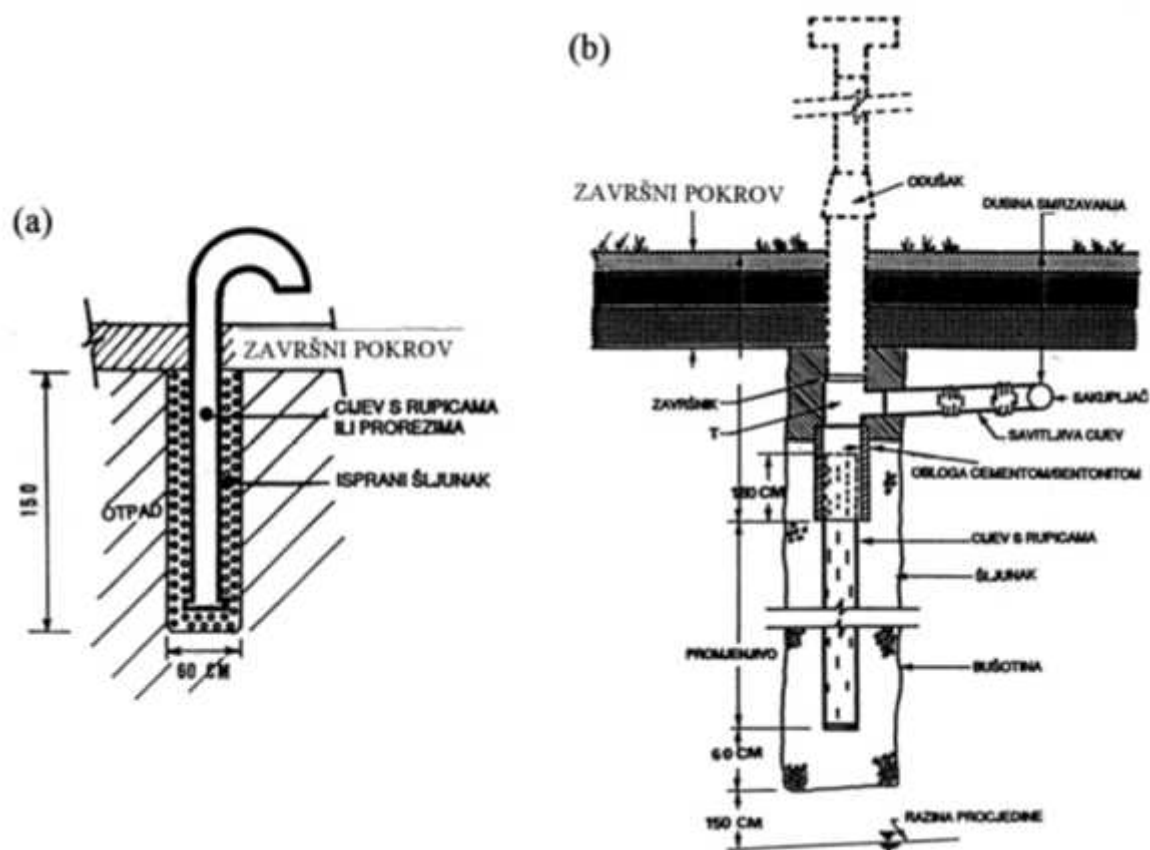
Razgradnja organskih tvari otpada u gornjim slojevima tijela odlagališta traje 15 do 20 godina, a u donjim slojevima znatno dulje.

Tijekom aerobnih procesa razgradnje organske tvari uglavnom nastaje ugljikov dioksid. U početnoj fazi ugljik i kisik čine sastav bioplina. Kasnije se sastav bioplina bitno mijenja, tako da u završnoj tzv. "anaerobnoj stabilnoj metanskoj fazi", bioplin sadrži uglavnom metan (oko 55 %) i ugljikov dioksid (oko 45 %).

Opasnosti od nekontroliranog izlaženja bioplina iz odlagališta su smrad, vatra, otrovi i eksplozije. Zato je potrebno da se bioplin kontrolirano prihvati, obradi i po mogućnosti iskoristi. To se postiže ugradnjom sustava za otplinjavanje, koji se može izvesti na dva načina:

- (i) kao sustav za pasivno otplinjavanje
- (ii) kao sustav za aktivno otplinjavanje

Sustav za otplinjavanje sastoji se od niza vertikalnih, slika 8(a) ili vertikalnih i horizontalnih dijelova, slika 8(b), koji zahvaćaju plin u otpadu i iznad otpada te ga kontrolirano odvođe na površinu odlagališta. Tamo se može obaviti zahvat plina tako da se on odvodi do stanica za daljnju uporabu ili se može pustiti da izgara na baklji iznad odlagališta



Slika 8. Sustavi za otplinjavanje; (a) s vertikalnim cijevima; (b) s vertikalnim i horizontalnim cijevima

(http://www.grad.unizg.hr/_download/repository/7._Utjecaj_odlagalista_otpada.pdf)

OZELENJENJE POVRŠINE ODLAGALIŠTA

Nakon zatvaranja odlagališta otpada potrebno je riješiti pitanje ozelenjenja površine te njegove kasnije namjene.

Ozelenjenje je veliki problem jer prilikom slijeganja može doći do pucanja pokrovnih slojeva i prodiranja plina koji će loše utjecati na biljke. Za ozelenjavanje upotrebljavamo najčešće travu, nisko grmlje pa čak i drveće – kanadska topola (slika 9.). Sadnja drveća moguća je samo u slučajevima zaista debelog rekultivirajućeg sloja i dobro izvedenog pokrovnog sustava koji neće dopustiti korjenju da prodre u dublje slojeve i ošteti ih. Kanadska topola je najprikladnije drvo koje se sadi na završnom pokrovu odlagališta jer uspijeva na pjeskovitom i glinovitom tlu.

Biljke koje sadimo kao završni pokrov na odlagalištu treba pažljivo birati i pri tome paziti na:

- klimatske uvjete
- okolnu floru
- izloženost nepovoljnim uvjetima (vezano uz prirodu odlagališta i odloženi materijal)



Slika 9. Kanadska topola

(<http://www.gimnazijaso.edu.rs/gornje-podunavlje/biljke/sume/kanadska-topola.php>)

Nakon zatvaranja odlagališta moguće je iskoristiti područje za izgradnju građevina koje su lagane i jednostavne, te relativno neosjetljive na veće pomake i slijeganja (hale, skladišta, igrališta, sportski tereni s pratećim objektima i sl.)

9. ODLAGALIŠTE OTPADA JAKUŠEVAC

9.1. Geološka podloga odlagališta i utjecaj na podzemne vode

Smetlište Jakuševac nalazi se na desnoj obali rijeke Save u jugoistočnom dijelu grada Zagreba. Geološki taj teren pripada dijelu Savske potoline odnosno zagrebačkoj depresiji, a izgrađen je od kvartarnih klastičnih sedimenata pretežno aluvijalnih litofacijesa. S obzirom na različiti granulometrijski sastav naslaga koje izgrađuju ovaj dio terena, pojedini dijelovi sedimanata imaju različite hidrogeološke funkcije. Tako se razlikuju krovinski pokrivač, vodonosnik i podina vodonosnika.

Krovinski pokrivač nalazi se na površini terena, a izgrađen je od vrlo heterogenih sedimenata. Prevladavaju sitnozrnati prašinasto-pjeskoviti do prašinasto-glinoviti materijali. Debljina krovinskog pokrivača u široj zoni smetlišta Jakuševac jako varira i kreće se od 0 do 15 metara, no na najvećem dijelu prostora iznosi 2 do 3 metra (Blašković i Dragičević, 1989). Najmanje debljine su uz Savu, gdje ne prelaze 1,5 metara. Idući na sjever i na jug od savskog korita debljina krovinskog pokrivača postepeno raste. Na samom smetlištu krovinski pokrivač je vrlo tanak ili nedostaje. Dijelom je erodiran rijekom Savom koja je tekla područjem današnjeg smetlišta prije regulacije Save, a dijelom je uklonjen zbog eksploatacije šljunka (Mayer, 1980).. Tako je danas na samom smetlištu stvoren umjetni krovinski pokrivač koji se sastoji od humusne tvari nastale pretvorbom organskog dijela otpadaka i od nerazgrađenog otpada. Debljina tih naslaga varira između 2 i 10 metara, a u prosjeku iznosi 7 metara. Na dijelu smetlišta na površinu terena navezen je sloj zemlje i šljunka debljine 0,8 metara.

Hidrogeološka funkcija krovinskog pokrivača ovisi o njegovoj debljini. Tamo gdje je on tanak ili nedostaje dolazi do neposredne infiltracije padinskih voda u vodonosnik, a tamo gdje je debeo više metara ima ulogu vremenskog regulatora procjeđivanja, tj. značajno ga usporava. Već je rečeno da je krovinski pokrivač uz Savu relativno tanak, tako da je na cijelom promatranom prostoru korito Save urezano u podlogu krovinskog pokrivača, odnosno u vodonosnik.

Vodonosnik je izgrađen od krupnoklastičnih naplavima Save. Sastoji se od šljunaka i šljunkovitih pijesaka. U pravilu krupnoća zrna opada idući od zapada prema istoku. U širem području Jakuševca debljina vodonosnika varira između 5 i 50 metara (Blašković i

Dragičević, 1989). Najveće debljine registrirane su uz Savu. Tako kod Petruševca debljina iznosi 48 m, južno od Savice 45 m, u selu Jakuševac 30 m, kod Buzina 25 m, u zoni aerodroma Zagreb 30 m i sjeverno od Selnice 43 m. Najveća debljina vodonosnika unutar cijele Zagrebačke depresije registrirana je kod sela Črnkovca, jugoistočno od smetlišta iznosi oko 100 m.

Na području samog odlagališta otpada Jakuševac debljine vodonosnika su također različite. U sjeverozapadnom dijelu kreću se između 30 i 40 metara, u središnjem dijelu smanjuju se na oko 20 metara, a na krajnjem jugoistočnom dijelu ponovno dostižu 30 metara. S obzirom da na dijelu područja nedostaje krovinski pokrivač vodonosnika, te da je korito Save urezano kao vodonosnik, radi se o tzv. otvorenom vodonosniku. To znači da su propusne naslage dijelom saturirane vodom čija razina varira ovisno o klimatskim prilikama i vodostaju Save.

Dokazano je da postoji veliko zagađenje neposredno ispod deponije, kao i da su zagađene podzemne vode u području sela Jakuševac i nešto manje u zoni Mičevca (Jung, 1981). S druge strane, istražnim radovima na lokaciji budućeg crpilišta Črnkovec, koje se nalazi nizvodno od smetlišta, nije uočeno značajnije zagađenje podzemnih voda. Za to se može dati više teoretskih objašnjenja. Prvo, zbog velike količine organske tvari vjerojatno unutar odlagališta dolazi do stvaranja organsko-metalnih kompleksa, koji su teško pokretni, pa se najveći dio teških metala zadržava unutar smetlišta. Drugo, dio metalnih iona sigurno se veže uz minerale gline, koji su svakako prisutni u vodonosniku, a dolazi do i do procesa ionske zamjene. Treće, filtrat koji nastaje u odlagalištu je vodena otopina složenog kemijskog sastava ali i veće gustoće i specifične težine od vode, tako da se kreće vertikalno u dublje dijelove vodonosnika, gdje su brzine horizontalnog tečenja znatno manje nego u gornjim dijelovima, što rezultira zadržavanjem zagađenja u zoni ispod smetlišta. Četvrto, zbog velike količine podzemne vode u zagrebačkim vodonosniku, intenzivne dinamike i utjecaj na Savu odvijaju se procesi disperzije i razrjeđenja koji bitno utječu na smanjivanje koncentracije zagađenja na malim udaljenostima od smetlišta.

Može se reći da je zbog cijelog niza fizikalnih i kemijskih procesa, koji se simultano odvijaju u zoni smetlišta Jakuševac, stvarni negativni utjecaj na podzemne vode u širem smislu bio vrlo mali. U skoroj budućnosti se u široj zoni Jakuševca predviđaju vrlo ozbiljni hidrotehnički zahvati, kao što je eksploatacija vode na crpilištu Črnkovec i izgradnja akumulacije HE Drenje. Tim zahvatima bitno će se promijeniti hidrodinamički odnosi na području današnjeg smetlišta, pa je realno za očekivati da će se time značajno povećati utjecaj smetlišta na

podzemne vode. Zbog toga projektom sanacije treba predvidjeti takvo tehničko rješenje kojim će se trajno imobilizirati ogromno zagađenje koje nesumnjivo postoji na užem području današnjeg smetlišta.

Na području grada Zagreba nalazimo sve skupine stijena (magmatite, sedimente i metamorfite), u širokom rasponu starosti (od paleozoika do holocena). Najviše je sedimenata, a najmanje magmatita.

Najstarije geološke dijelove – jezgra Medvednice – čine paleozoičke (devon, karbon, perm) stijene: zeleni i glineni škriljavci. Mezozoik (trijas, jura, kreda) je zastupljen tinjačasto – pjeskovitim škriljavcima, pješčenjacima i vapnencima na Medvednici i samoborskoj gori; jurskim vapnencima, vapnjenjačkim brečama. Rožnjacima i dolomitima na sjeveroistočnom Žumberku, krednim naslagama lapora, glinenih škriljavaca, kvarcnih škriljavaca, pješčenjaka, vapnenaca i konglomerata na Medvednici i Žumberku. Tu su nadalje paleogenske tercijarne naslage glinovitih i pjeskovitih lapora i pješčenjaka na sjeverozapadnim padinama Medvednice, sjevernim padinama Svetonedjeljskog brijega, južnim padinama samoborskog gorja; te neogenske tercijarne, klastične vezane i poluvezane, laporovite i karbonatne stijene u višim djelovima Medvednice, Samoborske gore, Marijangoričkog podbrđa i Vukomeričkih gorica.

9.2. Lokacija i trenutno stanje odlagališta

Odlagalište otpada Jakuševac nalazi se na desnoj obali rijeke Save i udaljeno je oko 6 km zračne linije od središta Zagreba. Do najbližih kuća prigradskog naselja Jakuševac udaljeno je približno 400 m. Smješteno je neposredno uz južni obrambeni nasip rijeke Save, a nizvodno od njega na svega 3 km, nalazi se područje Črnkovec, koje je usvojeno kao rezerva za buduću vodoopskrbu grada i okolnih mjesta (slika 10).

Slika 10. Lokacija odlagališta otpada Jakuševac

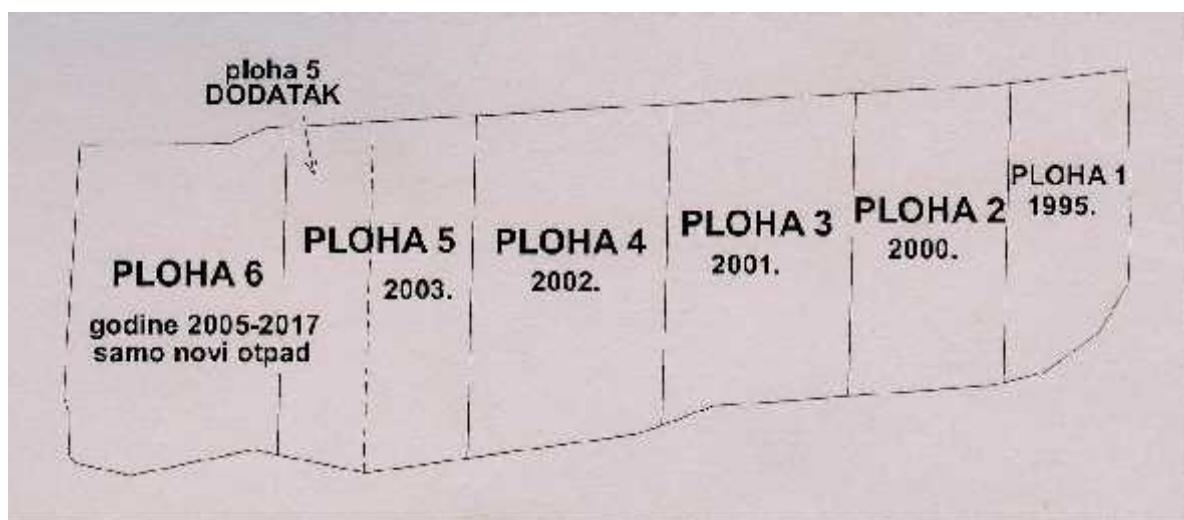
(http://www.grad.unizg.hr/_download/repository/GIZ-4A-boja.pdf)

Otpad se nekontrolirano odlaže od 1965. godine i površina odlagališta do 1995. godine povećala se na 80 ha, s otprilike 4,5 milijuna m³ odloženog otpada svih vrsta. Prosječna visina odlaganja prelazila je 10 m. Najznačajnija odlika ovog odlagališta do početka devedesetih godina bilo je potpuno nekontrolirano odlaganje i nedostatak bilo kakvog koncepta njegova uređenja i zatvaranja.

Zbog stalnog pogoršavanja stanja u vodoopskrbi cjelovito rješavanje problema odlaganja otpada na smetlištu Jakuševac još više dobiva na značaju. Od 1986. do 1988. godine na smetlištu su vršena prva sveobuhvatna istraživanja, kako bi se utvrdio utjecaj odloženog otpada na okoliš, posebice na podzemne vode.

Gradsko poglavarstvo je početkom 1991. godine pokrenulo izradu rješenja uređenja i zatvaranja odlagališta Jakuševac. Nakon izvršenih analiza odabrana je sanacija na način da se uredi slabopropusno dno (temeljni brtveni sustav) na koji se premješta postojeći otpad, te da se i novi otpad ubuduće odlaže na uređenu podlogu.

Odlagalište Jakuševac je podijeljeno na plohe 1 do 6, površina od 6 do 9 ha (slika 11). Površina na kojoj će se nalaziti odloženi otpad, nakon zatvaranja odlagališta tj. nakon iskorištenja svih kapaciteta iznositi će oko 57 ha.



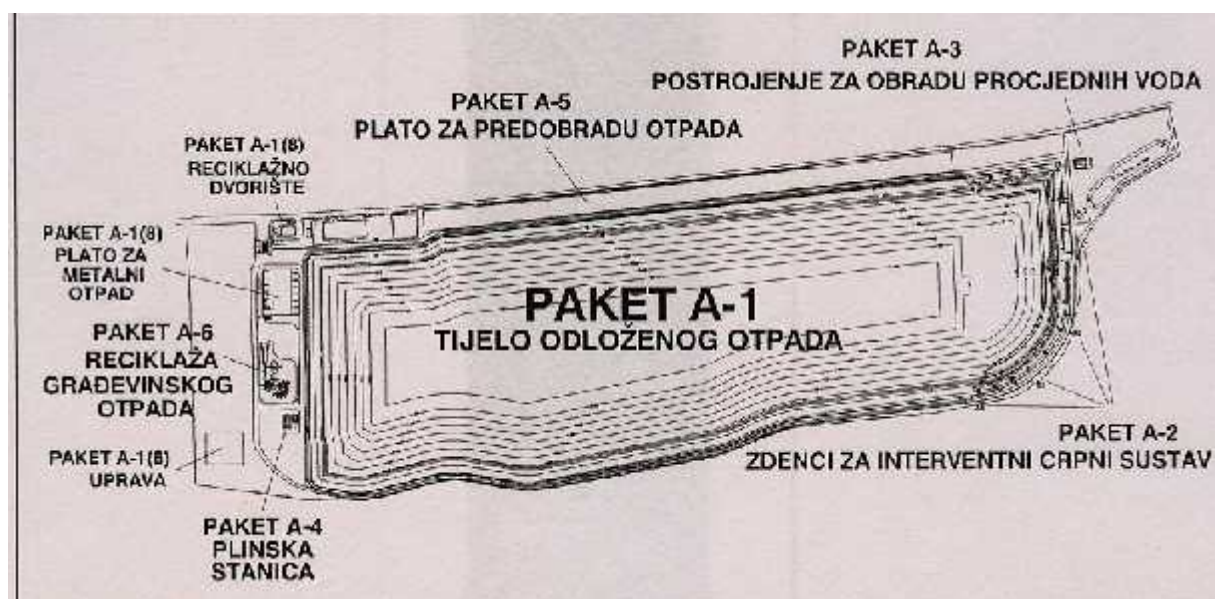
Slika 11. Prikaz svih 6 ploha odlagališta

(http://www.grad.unizg.hr/_download/repository/GIZ-4A-boja.pdf)

Sanacijski radovi su započeli 1996. godine kada je sanirana ploha 1, a dovršeni su 2003. godine, s izgradnjom plohe 5 i premještanjem svog starog otpada na uređenu plohu. Od 2003. godine do danas vrši se prihvrat novog otpada, koji se ugrađivao na plohu 5D (dodatak plohe 5).

Na plohi 6 se izvode sanacijski radovi na izgradnji donjeg brtvenog sustava, dok će se prihvrat otpada početi vršiti tek za par godina. Dinamika popunjavanja ploha ovisi o količini novog otpada koji pristiže na odlagalište. Nakon provedenih sanacijskih radova na odlagalištu je za prihvrat otpada na plohe 5 i 6 preostao volumen cca 5.0 milijuna m³. Ovaj prostor omogućava da se odlagalište koristi do 2017. godine.

Cjelovita sanacija odlagališta Jakuševac kompleksan je projekt koji je stoga podijeljen na više dijelova tzv. “paketa” (slika 12).



Slika 12. Paket A – 1 na odlagalištu Jakuševac

(http://www.grad.unizg.hr/_download/repository/GIZ-4A-boja.pdf)

9.3. Moguće mjere zaštite s obzirom na pretpostavljeni izbor materijala podloge u odlagalištu Jakuševac

Tipovi materijala prisutnog u savskom aluvijalnom području i široj okolini, sastavljeni pretežno od karbonatnih materijala, nameću pitanje mogućnosti upotrebe karbonatnih stijena za izgradnju drenažnog sloja uz dodatne mjere opreza. Analiza mineraloškog sastava aluvijalnih šljunaka u području Jakuševca, rađena za potrebe ispitivanja kritičnih puteva zagađenja do vodocrpilišta Črnkovec 1986. godine , pokazuje da su glavne komponente tih šljunaka vapnenačke i dolomitne stijene (uz prisustvo kvarca, feldspata, ilita, klorita itd). Karbonatni minerali, posebno kalcit koji je glavna komponenta vapnenaca, podložniji su koroziji od glina, brzo se otapaju u kiselom okolišu i u prisutnosti otopljenog CO₂.

Ukoliko bi procjedne vode bile pH vrijednosti više od 7 i bez slobodnog CO₂ karbonatne valutice od kojih je sastavljen drenažni sloj bi mogle biti stabilne. Procjedne vode iz odležalog smeća (kakvo je sada na radnoj plohi), koje je anaerobno (te ne sadrži CO₂) i ima visoku pH vrijednost, ne bi trebale reagirati s karbonatnim materijalom drenažnog sloja. Međutim, kada počne odlaganje novog otpada koje prvo mora proći acetatnu fazu mogu se očekivati puno kiseliye procjedne vode, uz djelomičnu prisutnost CO₂. Mogući način djelomične zaštite drenažnog šljunčanog sloja bio bi postavljanje sloja drobljenog vapnenca iznad drenažnog sloja koji bi služio za neutralizaciju kisele komponente procjednih voda.

Planirani odabir geomembrane od polietilena visoke gustoće (HDPE), u usporedbi s ostalim materijalima, pokazuje vrlo dobru otpornost na djelovanje raznih kemikalija i procjednih voda, te predstavlja najbolji mogući izbor materijala. Koncentrirane kemikalije (kiseline, lužine, organska otapala) koje mogu biti prisutne u odlagalištima industrijskog otpada, mogu znatno oštetiti brtveni sloj (geomembranu i glinenu barijeru) i prouzrokovati pojačano curenje iz odlagališta. Na djelovanje kemikalija posebno su osjetljivi sintetički materijali od kojih se rade geomembrane, koje i bez vidljivih oštećenja mogu propuštati razne kemikalije (posebice organske).

Dosadašnja istraživanja potvrdila su da je na Jakuševac odlagan otpad iz farmaceutske industrije (na što upućuju pokazatelji specifičnog organskog zagađenja), a ne može se odbaciti niti pretpostavka o prisustvu otpada iz drugih vrsta industrije (povećane koncentracije metala u nekim bušotinama upućuju na prisustvo tehnološkog otpada).

Prema literaturi deponiranje sljedeće vrste otpada moralo bi se izbjegavati zbog moguće interakcije s brtvenim sustavom:

- otpad koji sadrži značajne količine kiselina ili lužina
- koncentrirana organska otapala (posebno klorirani ugljikovodici)
- muljevi i talozi koji mogu dovesti do začepljenja drenažnog sustava

Prema tome možemo reći da, ako se u budućnosti izbjegne odlaganje gore navedenih vrsta otpada (ako se sada prisutni otpad takve vrste ukloni s uređenog dijela deponija), ne bi trebalo doći do znatnijih oštećenja brtvenih slojeva (geomembrane i glinenih barijera) uslijed njihovog kontakta s procjednom vodom.

Za izradu glinenih barijera na odlagalištu Jakuševac planirana je upotreba gline iz Soblinca čije su glavne komponente kvarc, muskovit, ilit, a u manjoj mjeri su prisutni plagioklasi, klorit, kaolinit. Premda mineralni sastav odabrane prirodne gline nije optimalan, moguće je postići traženu nisku hidrauličku vodljivost. Na slici 13. prikazan je izgled odlagališta 1996. godine i 2007. godine.



Slika 13. Jakuševac 1996. godine i 2007. godine

(http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec_001/ins_001/Sanacija%20degradiranih%20terena/SDT%203%20SANACIJA%20ODLAGALI%C5%A0TA%20OTPAD%202011.pdf)

LITERATURA

Juračić, M., Mikac, N. (1995): Procjena utjecaja fizikalno-kemijsko-bioloških procesa u tijelu deponije na trajnost materijala u podlozi i moguće mjere zaštite na temelju iskustava iz literature

Workman, J. P., Keeble, R. L. : Design and Construction of Liner Systems, str. 302-341

Gajski, G., Oreščanin, V., Garaj-Vrhovac V. (2011): Chemical composition and genotoxicity assessment of sanitary landfill leachate from Rovinj, Croatia

Mayer D., Markovac Z. (1992): Hidrogeologija područja smetlišta Jakuševac (Zagreb)

http://www.fzoeu.hr/hrv/pdf/Jak_azbest_Tehnicki%20opis_r1.pdf

<http://www.grad.unizg.hr/download/repository/GIZ-4A-boja.pdf>

<http://web1.zagreb.hr/default.aspx?id=34183>

[http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec_001/ins_001/Sanacija%20degradiranih%20terena/S
DT%203%20SANACIJA%20ODLAGALI%C5%A0TA%20OTPADA%202011.pdf](http://www.sumfak.unizg.hr/Upload/sec_001/ins_001/Sanacija%20degradiranih%20terena/S
DT%203%20SANACIJA%20ODLAGALI%C5%A0TA%20OTPADA%202011.pdf)

<http://www.gimnazijaso.edu.rs/gornje-podunavlje/biljke/sume/kanadska-topola.php>

<http://geomembranasperu.com/>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Geotextile>

<http://www.eurogabions.sk/sk/produkty/geomreze.php>

http://www.grad.unizg.hr/download/repository/7._Utjecaj_odlagalista_otpada.pdf

<http://www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden/landfill-technology/fundamentals.html>

SAŽETAK

Potreba za brigom i zaštitom okoliša u današnje vrijeme postaje sve veća. Ljudi su postali svjesni koliko je bitno zaštititi i očuvati okoliš. Prva “stepenica“ u zaštiti okoliša je briga o otpadu i odlaganje otpada na uređenim odlagalištima tako da utjecaj i šteta za okoliš bude svedena na minimum.

U radu se opisuje izgled saniranog odlagališta i pravilima njegove izvedbe. Sanirano odlagalište otpada ne predstavlja nikakvu opasnost za ljude koji žive u blizini, takvu činjenicu treba objasniti ljudima koji žive u blizini. Ljude bi trebalo educirati i skrenuti im pažnju koliko je bitno razvrstavati otpad, takvo ponašanje bi trebalo postati svakodnevno i prisutno u svim domaćinstvima.

Mislim da ljudi u Hrvatskoj nisu dovoljno upućeni u važnost ovog problema i koliko je bitan utjecaj svakog pojedinca na zaštitu okoliša. Nedovoljno se u medijima govori o problematici otpada i smanjivanju istog. Sigurna sam da se od strane vlade RH pokrene pokret edukacije građana da bi rezultati bili puno bolji od stanja koje imamo danas. Nadam se da će u budućnosti više pažnje biti posvećeno odlaganju otpada!

SUMMARY

The need to keep our environment safe and clean is progressing on a daily basis. People are beginning to realise the importance of environment protection.

It is my belief that the first step in environmental protection is waste disposal. In order to do so it is very important to have clean and modern waste disposal sites in which all the dumping would provide minimum health and eco risks .

In my paper I have been writing about landfills and what it takes to keep waste disposal in them safe, proficient, cheap and most importantly eco friendly. The safest landfills are the ones that provide different options of waste disposal such as waste recycling, incinerators, transfer stations or treatment plants.

The key to my mission is education. Very few people are aware of ecology, waste management. In my opinion it is governments responsibility to provide options and information that are essential for our countrys eco system.

It has come to my attention that every fifth person in this country knows what waste recycling is. It is our task to change and upgrade the knowledge of our children, friends, colleagues or neighbours but it is also important that our academic systems make the effort.

The law should be a harsh regulator for everyone taking part in unauthorised and hazardous dumping which is becoming a rapid threat in our environment.

The fact that there are many options of waste disposal is something that makes me happy. Energetic waste value, waste export, waste incinerators, underground storage, waste treatment plants, polymer waste recycling, lapse rates, overall recycling are just some of the options and tools for waste disposal. Not knowing anything about them is not an option because not knowing means we do not care about our earth, country, health and life for that matter.