Brtveni i drenažni sustavi u odlagalištu otpada

Pintarić, Tomica

Undergraduate thesis / Završni rad

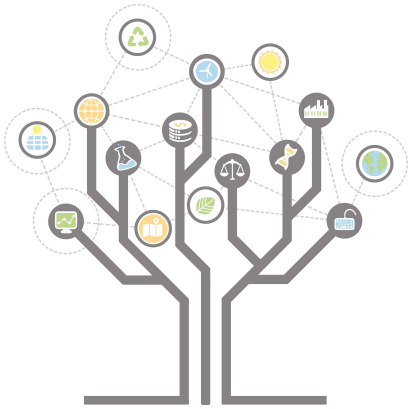
2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:238904

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Brtveni i drenažni sustavi u odlagalištu otpada

Pintarić, Tomica

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:238904

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-27**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

Tomica Pintarić

BRTVENI I DRENAŽNI SUSTAVI U ODLAGALIŠTU OTPADA

Završni rad

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

BRTVENI I DRENAŽNI SUSTAVI U ODLAGALIŠTU OTPADA

Završni rad

KANDIDAT:
Tomica Pintarić

MENTOR:
doc.dr.sc. Boris Kavur

VARAŽDIN, 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: TOMICA PINTARIĆ

Matični broj: 2314 - 2013./2014.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

BRTVENI I DRENAŽNI SUSTAVI U ODLAGALIŠTU OTPADA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Brtveni sustavi
3. Drenažni sustavi
4. Zaključak
5. Popis literature
6. Popis slika
7. Popis tablica
8. Popis objašnjenja kratica

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 11.07.2018. Rok predaje: 06.09.2018.

Mentor: Predsjednik Odbora za nastavu:

Doc.dr.sc. Boris Kavur

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - VARAŽDIN - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

BRTVENI I DRENAŽNI SUSTAVI U ODLAGALIŠTU OTPADA

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **doc.dr.sc. Boris Kavur.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 06.09.2018.

Tomica Pintarić
(Ime i prezime)

Tomica Pintarić
(Vlastoručni potpis)

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

Završni rad

BRTVENI I DRENAŽNI SUSTAVI U ODLAGALIŠTU OTPADA

Student: Tomica Pintarić

SAŽETAK:

U radu je opisana problematika brtvenih i drenažnih sustava odlagališta otpada, njihova gradnja, dijelovi i funkcije. U uvodnom poglavlju opisana je namjena odlagališta otpada kao složene geotehničke građevine, njena uloga i ciljevi. U drugom poglavlju opisane su funkcije temeljnih i pokrovnih brtvenih sustava odlagališta otpada te gradnja i svojstva različitih tipova barijera (CCL, GCL i GM) koje tvore takve sustave. U trećem poglavlju opisani su drenažni sustavi u odlagalištu i materijali za njihovu gradnju s kratkim osvrtom na najvažnije tehničke probleme u svezi osiguranja funkcionalnosti tih sustava.

Ključne riječi: odlagalište otpada, brtveni sustavi odlagališta, drenažni sustavi odlagališta

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Brtveni sustavi 4
   2.1. Temeljni brtveni sustav 4
   2.2. Pokrovni brtveni sustav 5
   2.3. Zbijena glinena barijera (CCL) 8
   2.4. Geosintetička glinena barijera (GCL) 10
   2.5. Geomembrana 11
3. Drenažni sustavi 13
   3.1. Materijali za gradnju drenažnih sustava 14
   3.2. Drenažni sustav za oborinsku vodu 15
   3.3. Drenažni sustavi za otplinjavanje 16
   3.4. Drenažni sustavi za procjednu tekućinu 17
4. Zaključak 22
5. Popis literature 23
6. Popis slika 24
7. Popis tablica 24
8. Popis objašnjenja kratica 25

1. Uvod

Odlagalište otpada je složena geotehnička građevina kojoj je osnovna namjena sigurno i ekološki prihvatljivo zbrinjavanje otpada koji se ne može ili ga nije isplativo reciklirati odnosno na drugi način korisno uporabiti [1].

Uz osiguranje mehaničke otpornosti i stabilnosti odlagališta kao građevine, glavni cilj sanitarnog odlaganja je trajno onemogućavanje nekontroliranog širenja onečišćujućih tvari, procjednih tekućina i plinova iz otpada u okoliš. Za učinkovito postizanje takvih ciljeva neophodno je projektirati i izgraditi odgovarajuće brtvene i drenažne sustave odlagališta te održavati njihovo valjano funkcioniranje kroz čitavi životni vijek odlagališta [1].

Brtveni sustavi odlagališta trebaju biti projektirani i izgrađeni tako da trajno osiguraju niske vrijednosti hidrauličke provodljivosti (10^{-9} m/s i manje) barijere kao cjeline. Ovi sustavi se grade od glinovitog tla ili češće kombinacijom prirodnih, mineralnih (gline) i sintetičkih materijala (polimeri) kao tzv. kompozitne barijere. Razlikujemo funkcije temeljnog i pokrovnog brtvenog sustava. Temeljni brtveni sustav treba spriječiti prolaz procjedne tekućine koja sadrži različita otopljena onečišćenja u temeljno tlo i podzemnu vodu, a ugrađuje se na dno i bočne pokose odlagališta. Pokrovni brtveni sustav je dio trajnog pokrova koji se postavlja na odloženi otpad i svrha mu je sprječavanje ulaska oborinskih voda u odloženi otpad kao i nekontroliranog izlaska odlagališnih plinova u atmosferu.

Za dobivanje funkcionalnog i trajnog brtvenog sustava koji će uspješno izolirati otpad iz okoliša potrebno je njegovu gradnju obaviti postupcima koji su se pokazali uspješnim u dosadašnjoj svjetskoj građevinskoj praksi na usporedivim projektima i pri sličnim uvjetima te primijeniti najviše standarde u osiguranju kvalitete građenja takvih sustava [1]. Za dugotrajno ispravno funkcioniranje brtvenog sustava nužno je osim toga osigurati i kompatibilnost korištenih građevnih materijala s različitim onečišćenjima prisutnim u procjednoj tekućini odlagališta i uvjetima koji vladaju u odlagalištu (temperatura, deformacije) [1].

Osim brtvenih sustava, u odlagalištu se obično nalaze i tri različita drenažna sustava. Pod drenažnim sustavom ovdje podrazumijevamo sloj ili više slojeva krupnozrnatog, mineralnog i/ili sintetičkog, poroznog materijala, te cijevi, okna i druge uređaje koji služe za kontrolirano prikupljanje i evakuaciju odgovarajućeg fluida iz odlagališta otpada [1].

U pokrovu odlagališta (slika 1), ispod zaštitnog sloja tla, tako prvo nalazimo drenažni sloj koji služi za prikupljanje procijeđenih oborinskih voda. Drenažni sloj za procijeđenu oborinsku vodu se ugrađuje iznad pokrovnog brtvenog sustava. Ispod pokrovnog brtvenog sustava se obično nalazi drugi drenažni sustav koji služi za odvođenje odlagališnih plinova. I konačno, ispod odloženog otpada nalazimo treći drenažni sustav koji služi za prikupljanje i evakuaciju procjedne tekućine iz odloženog otpada. Treći drenažni sustav može biti izveden kao dvostruki tj. primarni i sekundarni. Sekundarni se postavlja ispod primarnog, temeljnog brtvenog sloja i pruža mogućnost detekcije curenja primarnog zaštitnog sustava. Ispod sekundarnog drenažnog sloja nalazi se drugi odnosno sekundarni brtveni sloj. Time je zaštita tla i podzemne vode znatno poboljšana.

Za razliku od brtvenih sustava, od drenažnih se očekuje trajna, visoka transmisivnost odnosno propusnost za fluid kojem je odgovarajući sustav namijenjen. Za osiguranje ovog cilja neophodno je koristiti odgovarajuće materijale i projektirati drenažni sustav dovoljnog hidrauličkog kapaciteta s obzirom na očekivane količine fluida koje treba evakuirati tako da se izbjegne veće podizanje razine procjedne tekućine iznad temeljnog brtvenog sustava odnosno porast tlaka plina u odlagalištu otpada. Na takav način održava se stabilnost svih dijelova odlagališta, ali i niske propusnosti brtvenih sustava [1].

Drenažni sustav za prikupljanje procjedne tekućine iz otpada je naročito ugrožen tijekom životnog vijeka odlagališta zbog kemijskih i bioloških procesa koji se dešavaju u odloženom otpadu. Drenažni sloj i cijevi takvog sustava podložni su začepljivanju uslijed gomilanja kemijskog (npr. taloženje $CaCO_3$) i biološkog (rast bakterija) taloga u pornom prostoru te sitnih čestica otpada nošenih tečenjem procjedne tekućine prema drenažnom sustavu [1]. Zbog toga je taj drenažni sustav nužno trajno održavati odnosno pročišćavati kako bi se izbjeglo znatnije smanjivanje njegove propusnosti te posljedično podizanje razine procjedne tekućine i povećanje količine onečišćenja koje uspije proći kroz brtveni sustav [1].

U drugom poglavlju ovog rada opisat će se funkcije temeljnih i pokrovnih brtvenih sustava odlagališta otpada te gradnja i svojstva različitih tipova barijera (CCL, GCL i GM) koje tvore takve sustave.

U trećem poglavlju rada, opisat će se drenažni sustavi u odlagalištu i materijali za njihovu gradnju. Ujedno će se dati kratki osvrt na najvažnije tehničke probleme u svezi osiguranja funkcionalnosti drenažnih sustava.

Odlagalište otpada smješta se na temeljno tlo na koje se polažu temeljni brtveni slojevi i drenažni sustav kako je shematski prikazano na slici 1. Kada je taj donji dio odlagališta izgrađen i prekontroliran, može se započeti sa odlaganjem otpada. Napunjeno odlagalište prekriva se sa završnim pokrovom, kojim se sprječava širenje neugodnih mirisa, onemogućuje pristup pticama i drugim grabežljivcima te sprječava natapanje otpada oborinama. Problem stvaranja plinova rješava se sustavom za otplinjavanje. Na slici 1 shematski je prikazan poprečni presjek kroz tijelo odlagališta. Svi prethodno nabrojani sustavi odlagališta mogu se razvrstati na ove grupe [2]:

1) temeljni i bočni brtveni sustav

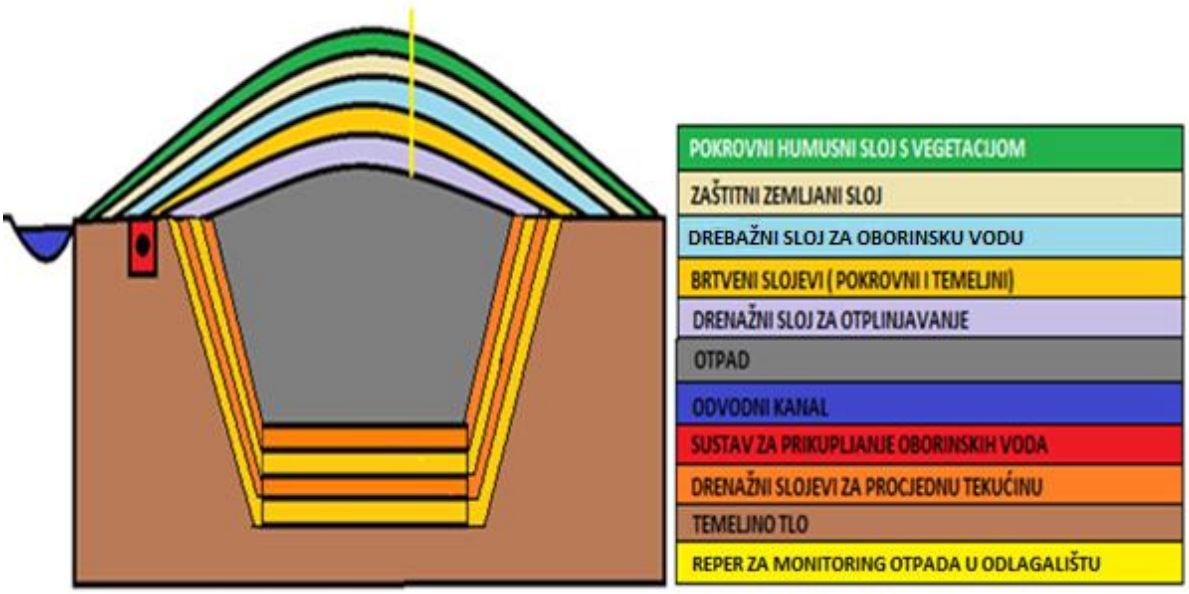
2) drenažni sustav za prikupljanje procjednih tekućina

3) sustav za otplinjavanje

4) sustav za prikupljanje oborinskih voda

5) završni pokrov

6) sustav za obradu procjednih tekućina iz otpada i sustav za kontrolu plina



Slika 1. Poprečni presjek odlagališta otpad

U poglavljima koja slijede, podrobnije će biti objašnjeni brtveni i drenažni sustavi, no važno je naglasiti kako svaki od njih mora biti izveden u skladu s važećom zakonskom regulativom i pravilima struke. Prema pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (RH, NN br. 114/15) [2]. Odnosno mora biti funkcionalan kako bi se osigurala funkcionalnost odlagališta kao cjeline.

2. Brtveni sustavi

Kod brana i nasipa za obranu od poplave dopušteno je procjeđivanje vode u prihvatljivim granicama, dok je u odlagalištima otpada procjeđivanje vode u temeljno tlo nedopustivo. To znači da su zahtjevi za projektiranje i izvedbu te osiguranje kvalitete u gradnji brtvenih sustava znatno složeniji i rigorozniji.

Brtvene sustave u odlagalištu otpada čine pokrovni i temeljni barijerni slojevi. Namjena pokrovnog brtvenog sustava jest spriječiti procjeđivanje oborinskih voda u tijelo odlagališta i nekontroliranu emisiju plina u okoliš, a temeljnog spriječiti istjecanje procjedne tekućine iz tijela odlagališta u temeljno tlo.

2.1. Temeljni brtveni sustav

Temeljni brtveni sustav se obično sastoji od:

- zbijene glinene barijere (CCL, engl. compacted clay liner) ili geosintetičke glinene barijere (GCL, engl. geosynthetic clay liner) i

- geomembrane (GM).

Osnovna namjena temeljnog brtvenog sustava je da spriječi prolazak procjedne tekućine iz tijela odlagališta otpada u temeljno tlo.

Prema "Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada" RH (NN br. 114/15) [2], prosječna vodopropusnost (k) temeljnog tla i bočnih strana tijela odlagališta mora biti manja od:

- $1x10^{-9}$ m/s za odlagalište opasnog otpada, a temeljno tlo treba biti debljine od barem pet metara,
- $1x10^{-9}$ m/s za odlagalište neopasnog otpada, a temeljno tlo treba biti u debljini od minimalno jedan metar,
- 1x10-7 m/s za odlagalište inertnog otpada, a temeljno tlo treba biti minimalno debljine jedan metar.

Kada na lokaciji odlagališta ne postoji temeljno tlo koje zadovoljava navedene uvjete, moguće je izgraditi umjetne brtvene slojeve iznad temeljnog tla i bočnih strana tijela odlagališta kako bi se dobila odgovarajuća zaštita s obzirom na vodo(ne)propusnost podloge odlagališta [2]. Osim toga, potrebno je osigurati i dugotrajnu kemijsku kompatibilnost brtvenog sustava s onečišćujućim tvarima u procjednoj tekućini, visoki kapacitet sorpcije, niski koeficijent difuzije i otpornost na desikaciju (sušenje) [1].

2.2. Pokrovni brtveni sustav

Njegova glavna svrha je da prekrije i izolira otpad od okoliša odnosno da omogući kontrolu izlaznih plinova iz tijela odlagališta. Pokrov mora sprječavati ulazak atmosferskih (oborine) i površinskih voda u tijelo odlagališta otpada [1].

Pokrov odlagališta treba biti [1] :

- otporan na djelovanje erozije (voda, vjetar),

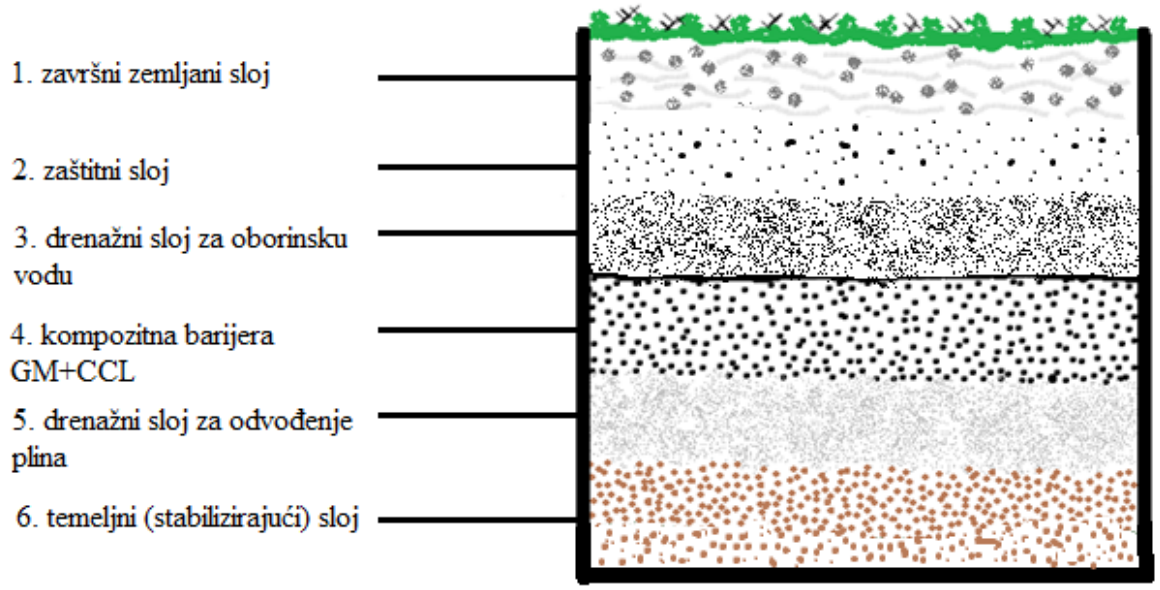
- siguran od djelovanja glodavaca i korijenja biljaka,

- otporan na povišene temperature,

- sposoban podnesti značajna diferencijalna slijeganja bez pucanja i

- dovoljne posmične čvrstoće da ne dođe do klizanja.

Komponente pokrova odlagališta su prikazane na slici 2.



Slika 2. Presjek pokrovnog zaštitnog sustava

Dijelovi pokrovnog sustava [1]:

1. Završni pokrovni sloj – sastoji se od plodnog tla i vegetacije koja sprječava eroziju i ublažava utjecaj oborina. Potreban je pravilan izbor biljnih vrsta (kratko korijenje). Minimalna debljina sloja 15 cm.

2. Zaštitni sloj tla - sprječava smrzavanje brtvenog sloja (glina) i zamuljivanje drenažnog sloja, umanjuje mogućnost isušivanja brtvenog sloja. Ugradnja oblutaka (kameni oblutci dimenzija 10-30 cm) se koristi za sprječavanje ulaska glodavaca do brtvenog sloja.

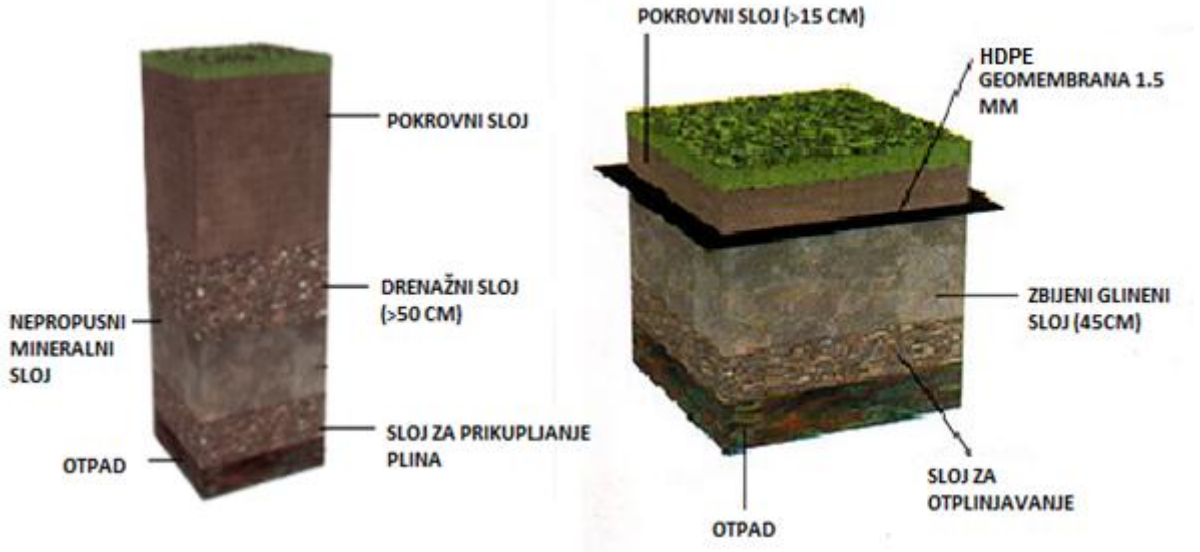
3. Drenažni sloj - drenira vodu koja se procjeđuje iz površinskih slojeva pokrovnog zaštitnog sustava, smanjuje tlak vode na kontaktu s brtvenim slojem i pridonosi stabilnosti pokosa. Minimalna debljina sloja mora biti 30 cm, a vodopropusnost mu treba biti veća od 1.0×10^{-4} m/s . Nagib treba biti minimalno 3%.

4. Brtveni sustav - sprječava ulazak vode u odlagalište i izlazak odlagališnog plina u atmosferu.

5. Drenažni sloj za odvođenje plina – služi za prikupljanje plina i njegovo kontrolirano odvođenje iz tijela odlagališta.

6. Temeljni sloj - preuzima kontakt s otpadom i smanjuje utjecaj diferencijalnog slijeganja na gornje slojeve (potrebna je dobra zbijenost temeljnog sloja).

Na slici 3 prikazana su tipična projektna rješenja za pokrovne zaštitne sustave u Europi odnosno SAD-u [1].



Slika 3. Pokrovni zaštitni sustavi u Europi (lijevo) i SAD-u (desno) [3]

Usporedimo li rješenja prikazana na slici 3 možemo vidjeti da se prema EU direktivi predviđa zaštitni sloj tla u debljini od minimalno 1 m, dok se prema US EPA predviđa zaštitni sloj tla od minimalno 15 cm odnosno više već prema lokalnim klimatskim uvjetima. Nadalje, prema EU direktivi je ispod zaštitnog sloja tla načelno predviđena ugradnja drenažnog sloja debljine veće od 50 cm te slabopropusnog ($k < 1*10^{-9}$ m/s), mineralnog sloja (CCL), ali dozvoljena je naravno i ugradnja GCL-a kao alternative. Prema US EPA direktivi se ispod zaštitnog sloja tla preporuča ugradnja geomembrane (HDPE debljine 1.5 mm), a zatim CCL-a u debljini od minimalno 45 cm. Ispod brtvenih slojeva se prema EU direktivi ugrađuje odgovarajući drenažni sloj za prikupljanje odlagališnih plinova, a isto predviđa i US EPA [1].

2.3. Zbijena glinena barijera (CCL)

Zbijene glinene ili mineralne barijere grade se nanošenjem i zbijanjem prirodnog glinenog tla u slojevima manjih debljina. Od zbijene glinene barijere zahtjeva se da njena ukupna hidraulička provodljivost bude manja od 10^{-9} m/s.

Za dobivanje optimalnih karakteristika CCL-a preporuča se korištenje tla s odgovarajućim udjelom sitne i krupne frakcije te svojstvima [1]:

- udio glinene frakcije (2 μm) > 30 %

- udio krupnog pijeska i šljunka (do 50 mm) < 30 %

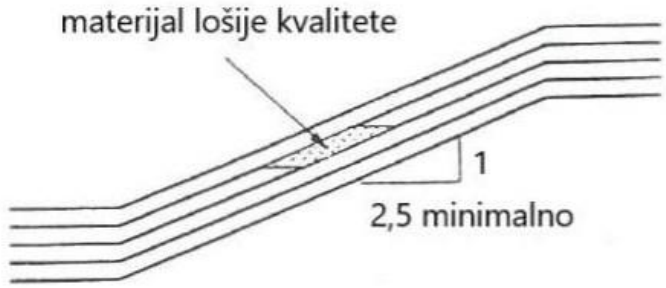
Indeks plastičnosti (Ip) prikladnog glinovitog tla bi trebao biti između 20 i 30 %, a vlažnost prilikom zbijanja u rasponu između 18 i 20% odnosno nešto veća od optimalne prema Proctor-u.

Ako je udio glinene frakcije nedovoljan, dodatak male količine bentonita može značajno smanjiti hidrauličku provodljivost CCL-a (za nekoliko redova veličine). Visoko plastična tla (IP > 30 %) nisu prikladna za ugradnju i zbijanje. Pri niskoj razini vlage formiraju vrlo tvrde agregacije, a pri većoj vlažnosti su jako ljepljiva (- to može dovesti do problema pri zbijanju). Zbijene glinene barijere (CCL) se ugrađuju pomoću valjka-jež prikazanog na slici 4. u temeljni horizontalni dio odlagališta otpada te bočne pokose, ali isto tako i u pokrovni zaštitni sustav.

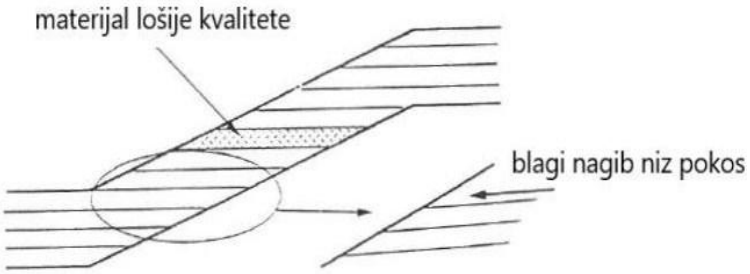


Slika 4. Valjak-jež za zbijanje glinenog sloja [4]

Na pokosima se CCL barijera može izgrađivati od slojeva položenih paralelno pokosu (slika 5.) ili od horizontalnih odnosno sub-horizontalnih slojeva (slika 6). Ugradnja slojeva paralelno pokosu se preferira (slika 5) jer se njome može osigurati niska vodopropusnost barijere u slučaju da se u jednom od slojeva nađe i materijal lošije kvalitete. To nažalost nije slušaj kod horizontalnih odnosno sub-horizontalno ugrađenih slojeva na pokosu (slika 6). Ugradnja slojeva paralelno pokosu se ne preporuča u slučaju ako su pokosi strmiji od nagiba 2,5:1 zbog nemogućnosti valjanog zbijanja [1].



Slika 5. Brtveni sustav od slojeva glinovitog materijala postavljenih paralelno s bočnim pokosom odlagališta [1]



Slika 6. Brtveni sustav od sub-horizontalno ugrađenih slojeva glinovitog materijala na bočnom pokosu odlagališta [1]

Minimalna debljina CCL barijere je u mnogim zemljama propisana, a kreće se od 0,6 m do čak 3,6 m. Četiri dobro zbijena sloja u ukupnoj, debljini od 0,6 m, su obično dovoljna za funkcionalnu barijeru pod uvjetom da su kontaktne površine između slojeva izvedene tako da se ostvari minimalna horizontalna propusnost duž kontaktnih površina [1].

Razumna debljina nisko propusne barijere, koja ima dovoljni faktor sigurnosti, iznosi 0,9 m. Takva barijera treba biti izgrađena od šest dobro povezanih slojeva. CCL barijera u debljini većoj od 0,9 m, neće pokazati značajnije smanjenje ukupne hidrauličke provodljivosti. Cilj zbijanja je prignječiti agregacije (grudice) glinenog tla u homogenu masu u kojoj nema većih, međusobno povezanih pora među agregacijama čestica gline. Ako se zbijanjem postigne navedeni cilj, ukupna hidraulička provodljivost zbijenog sloja bi trebala biti ispod 10^{-9} m/s. Presudni utjecaj na hidrauličku provodljivost zbijenog glinenog sloja tla imaju [1] :

- vlažnost tla u trenutku zbijanja,
- metoda zbijanja i
- energija zbijanja (broj prijelaza strojem za zbijanje).

2.4. Geosintetička glinena barijera (GCL)

Geosintetička glinena barijera (engl. Geosyntetic Clay Liner, GCL) se obično sastoji od dvije komponente. Prva komponenta je materijal mineralnog porijekla odnosno bentonitna glina, a druga komponenta je sintetički materijal koji je najčešće geotekstil (GTX) ili eventualno geomembrana (GM) [1].

Geosintetička glinovita barijera (GCL) ili bentonitni tepih kolokvijalno, predstavlja prihvatljivu alternativu zbijenoj glinenoj barijeri (CCL) i obično se koristi u situacijama kada nije dostupan odgovarajući prirodni glinoviti materijal za gradnju CCL-a ili je barijeru potrebno ugraditi brzo u relativno nepovoljnim vremenskim uvjetima. Geosintetička glinovita barijera koja se može vidijeti na slici 7, je namijenjena za sve situacije u kojima se traži niska hidraulička provodljivost okomito na ravninu barijere, a očekivani fluid kojem treba ograničiti prolaz je voda ili otopina onečišćenja u vodi niskih do srednjih koncentracija [5].

Nisku hidrauličku provodljivost GCL postiže zahvaljujući bentonitu odnosno mineralu montmorilonitu (skupina smektita) čija je osnovna karakteristika velika sklonost vodi koju

veže među laticama minerala te bubri odnosno povećava volumen nekoliko puta. GCL ima vrlo nisku hidrauličku provodljivost $k < 10^{-11}$ m/s.

Prednosti i nedostatci GCL-a

Prednosti GCL-a su: mala debljina (ušteda u korisnom prostoru odlagališta), dobra otpornost na diferencijalna slijeganja niže ležećeg sloja, jednostavna i brza ugradnja, naročito je pogodan za pokrovne sustave odlagališta. Nedostaci GCL-a: relativna osjetljivost na mehanička oštećenja zbog ograničene debljine proizvoda, vrlo ograničeni kapacitet sorpcije, značajan difuzijski pronos onečišćenja, osjetljivost na desikaciju (sušenje).



Slike 7. Prikazane su moguće primjene GCL-a u odlagalištima neopasnog i opasnog otpada [3]

2.5. Geomembrana

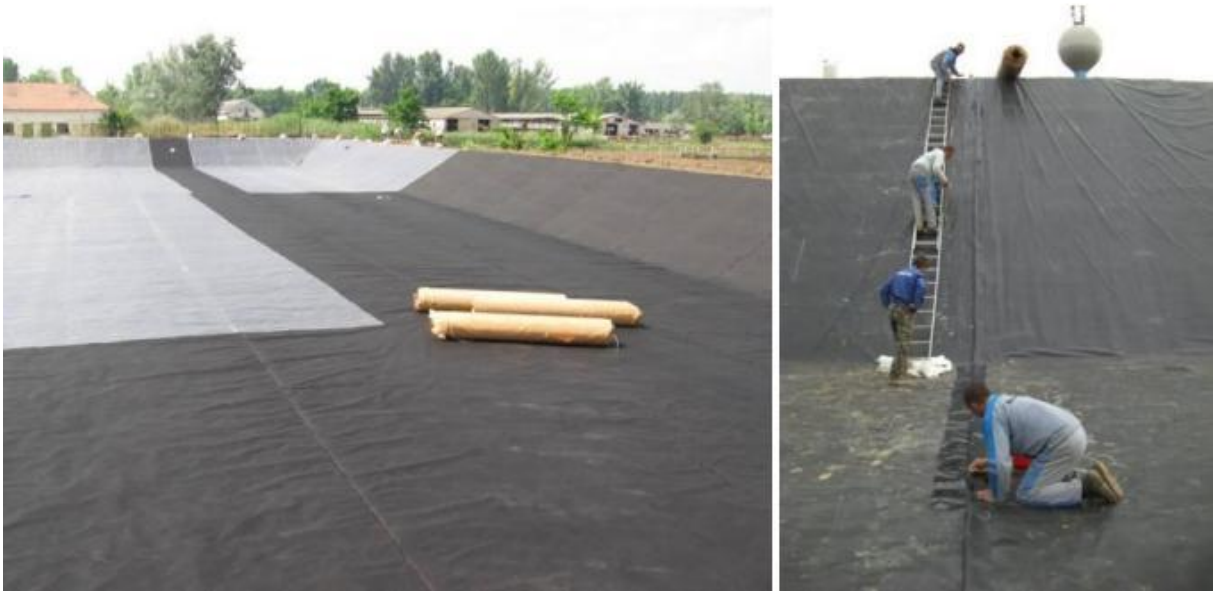
Geomembrane (GM) su tvornički izrađene folije od polimernih materijala (najčešće HDPE-polietilen visoke gustoće) radi primjene u brtvenim sustavima za sprječavanje protoka fluida. Kao takve, one su praktično nezaobilazni i najčešće korišteni tip geosintetika u odlagalištima otpada i to u temeljnom zaštitnom sustavu ,kod sklopa kompozitne barijere za sprječavanje migracije procjednih tekućina nastalih u otpadu prema temeljnom tlu i podzemnoj vodi, te u pokrovnom sustavu u sklopu kompozitne barijere za sprječavanje infiltracije oborinskih voda u tijelo odlagališta kao i za sprječavanje nekontroliranog izlaska plinova iz odlagališta u

okoliš [1]. Geomembrane se proizvode u debljini od minimalno 0,75 do 2,5 mm te širinama folije od 4 do 15 m u rolama odgovarajuće duljine. Proizvode se obostrano glatkih površina ili obostrano hrapavih ili miješano (hrapavo/glatko) ovisno o potrebama projektnih namjena. Hrapava površina geomembrane ima znatno veći kut trenja u kontaktu s tlom ili drugim geosintetikom u odnosu na glatku geomembranu. To je vrlo važno za stabilnost konstrukcije. Ako se GM ugrađuje na horizontalnu ili blago nagnutu površinu, njena kontaktna površina može biti glatka. U suprotnom, na pokosima se mora koristiti obostrano hrapava geomembrana [6].

GM koje se koriste u odlagalištima otpada u sklopu brtvenih temeljnih i pokrovnih sustava najčešće su proizvedene od HDPE polietilena visoke gustoće (- high density polyethylene), VFPE polietilena (very flexible polyethylene) ili PVC-a (polyvinyl chloride). Sastav HDPE geomembrane čini 95-98 % smole polietilena sa dodatkom 2-3% čađe (ugljik) radi stabilizacije polimera osobito na UV (ultraviolet) zračenja uz ostale dodatke (-do 1%) za spriječavanje oksidacije, osiguranje dugotrajne postojanosti i dr. [7].

U početku njihove primjene postojala je ozbiljna briga oko njihove kemijske kompatibilnosti odnosno otpornost na djelovanje različitih kemijskih supstanci koje se nalaze u različitim tipovima otpada odnosno oko njihovog životnog vijeka u takvim uvjetima. Danas je općenito prihvaćen stav da su geomembrane otporne i dugoročno postojane jer su kompatibilne s većinom kemikalija. Propisano projektirana geomembrana ima potencijal trajanje stotinama godina pod uvjetom da je ugrađena i kontrolirana prema trenutno preporučenim postupcima. Pri tome se problemi kvalitete ugradnje geomembrane smatraju glavnim ograničavajućim čimbenicima za njezino ponašanje i životni vijek u građevini [6].

Rukovanje s GM rolama treba biti strogo u skladu s uputama proizvođača. Na slici 8 je prikazano polaganje geomembrane. GM role se ne smiju bacati, povlačiti ili podizati samo na jednom kraju. Ne smiju se polagati ili spajati u uvjetima visoke vlažnosti (npr. kiša, magla, rosulja) ili po vjetrovitom vremenu. Obzirom da su GM slabo otporne na visoke temperature (dolazi do rastezanja materijala) nije preporučeno postavljati ili spajati GM pri temperaturama nižim od 0°C ili višim od 40°C [1].



Slika 8. Ugradnja geomembrane [8]

Nepogodne su za ugradnju pošto su izrađene od krutog materijala koji se transportira u rolama. Položeni paneli geomembrane se spajaju varenjem. Prilikom varenja moguće je da puknu što se mora naknadno popraviti. Geomembrana je osjetljiva na UV zračenje i na više temperature (rastezanje) stoga je potrebna brza ugradnja. Geomembrana ugrađena iznad mineralne barijere CCL tipa i GCL tipa tvori tzv. kompozitnu barijeru.

3. Drenažni sustavi

Drenažni sustavi moraju omogućiti kontrolirano procjeđivanje voda iz tijela odlagališta koje nastaju tokom atmosferskih padalina (kiša, sinjeg). Moraju imati dovoljnu propusnost i otpornost na agresivna djelovanja procjednih tekućina. Ne smiju mehanički oštećivati brtveni sustav (prihvatljiva su poluzaobljena i zaobljena zrna drenažnog šljunka). Zrnati drenažni materijal mora imati dovoljnu tlačnu čvrstoću kako ne bi došlo do degradacije granulometrijskog sastava zbog opterećenja otpadom i strojevima. Ugrađeni drenažni sustav imati mogućnost kontrole i održavanja.

Pod drenažnim sustavom podrazumijevamo sloj ili više slojeva krupnozrnatog, mineralnog ili sintetičkog, poroznog materijala, te cijevi, okna i druge uređaje koji služe za kontrolirano prikupljanje i evakuaciju odgovarajućeg fluida iz odlagališta otpada. Drenažni sloj za procijeđenu oborinsku vodu se ugrađuje iznad pokrovnog brtvenog sustava. Dok se ispod njega nalazi drugi drenažni sustav koji služi za odvođenje odlagališnih plinova. I konačno, ispod odloženog otpada nalazimo treći drenažni sustav koji služi za prikupljanje i evakuaciju procjedne tekućine iz odloženog otpada [1].

3.1. Materijali za gradnju drenažnih sustava

Mogu se koristiti:

- prirodni materijali (šljunak i pijesak),
- geosintetički materijali (georešetka, geotekstil, geokompozitni dren),
- alternativni materijali (sjeckane auto-gume, lomljeno staklo).

Prednosti i nedostaci navedenih materijala za gradnju drenažnih sustava prikazani su u tablici 1.

Tablica 1. Prednosti i nedostatci materijala koji se koriste za drenažne i filtarske slojeve u odlagalištima otpada [1]

MATERIJAL	PREDNOSTI	NEDOSTATCI
Šljunak	Uobičajeno korištenje, trajnost	Debljina sloja, začepljenje
Geokompozitni dren	Mala debljina, jednostavna ugradnja	Moguće začepljenje
Pijesak	Uobičajeno korištenje, trajnost	Debljina sloja, začepljenje
Geotekstil	Mala debljina, jednostavna ugradnja	Moguće začepljenje

3.2. Drenažni sustav za oborinsku vodu

Drenažni slojevi za odvodnjavanje se najčešće grade od prikladnog šljunkovitog materijala (slika 9) ili odgovarajućih geosintetičkih proizvoda (geokompozitni dren). Kada se za odvodnju oborinskih voda koristi šljunak, onda se često ugrađuje i netkani geotekstil iznad njega umjesto zaštitnog, filtarskog sloja pijeska.

Kako bi se izbjegla oštećenja geomembrane koja se obično postavlja ispod drenažnog sloja odnosno osigurala njena dugotrajna zaštita, preporučljivo je ugraditi deblji netkani geotekstil mase veće od 800 g/m^2 koji štiti geomembranu od proboja i deformacija zrnatim materijalom drenažnog sloja. U pokrovu odlagališta, drenažni sustav za odvodnjavanje u vidu geokompozita može efikasno prenijeti i usmjeriti oborinske vode prema kolektoru. Ispravno ugrađen sustav za odvodnjavanje treba smanjiti na minimum akumuliranje odnosno zadržavanje vode iznad brtvenog sustava čime se povećava stabilnost pokrova odlagališta [5].

Drenažni sustav za odvodnjavanje u pokrovu odlagališta se obično sastoji od tri dijela:

a) gornji netkani geotekstil – štiti drenažni sloj od zamuljivanja sitnim česticama

b) šljunkoviti drenažni sloj

c) donji netkani geotekstil – služi kao zaštita geomembrane ili za razdvajanje drenažnog i mineralnog brtvenog sloja (ako geomembrane nema).



Slika 9. Geotekstil kao dio drenažnog sustava u odlagalištu otpada [9]

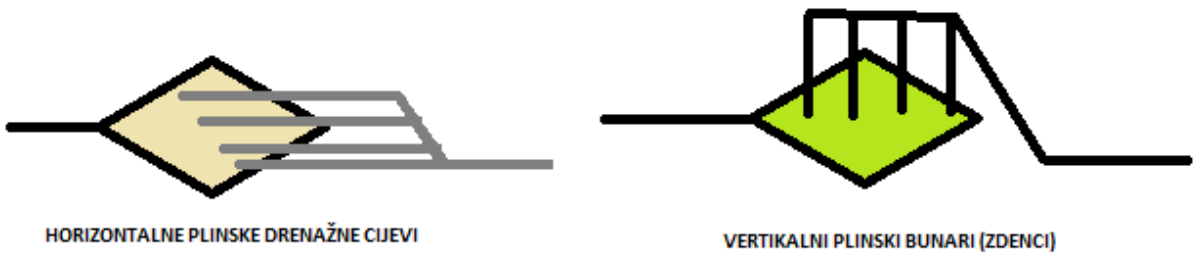
3.3. Drenažni sustavi za otplinjavanje

Sustavi za otplinjavanje su vrlo bitni u odlagalištu otpada ponajprije zbog spriječavanja nekontroliranog izlaženja plinova iz tijela odlagališta u okolno tlo i atmosferu. Plinovi mogu utjecati na stabilnost odlagališta i mogu oštetiti sigurnosne zaštitne sustave. Mogu prouzročiti razne bolesti i trovanja dijelatnika na odlagalištu. Nekontrolirano izlaženje plinova može dovesti i do izbijanja požara i eksplozija što je posebno opasno za odlagalište otpada kao građevinu.

Plinovi nastaju uglavnom zbog biokemijskih reakcija u tijelu odlagališta otpada. Takvim reakcijama nastaje bioplin koji se sastoji od više komponenata u različitim postocima. Odlagališni plin obično sadrži najviše metana (CH_4) i to 45-58%, zatim ugljikova dioksida (CO_2) u rasponu 35-45%, te ostalih plinova 1-5% (dušik, kisik, vodik, vodena para (i dr.) [1].

Plinovi u odlagalištu mogu bitno utjecati na stabilnost odlagališta otpada, ako zakaže drenažni sustav za otplinjavanje. Povećavanje tlaka plina smanjuje efektivna normalna naprezanja u odlagalištu što može dovesti do klizanja u brtvenom sustavu [1]. Da bi se to spriječilo plinovi se moraju efikasno odvoditi iz odlagališta.

Otplinjavanje se može izvesti aktivnim ili pasivnim načinom. Aktivnim načinom se pomoću podtlaka u drenažnom sustavu uzrokuje isisavanje plina iz odlagališta. Prikupljeni plin se može iskoristiti za proizvodnju energije ili pak spaliti na baklji. Aktivni sustav za otplinjavanje može uključivati horizontalno ili vertikalno ugrađene cijevi (slika 10).



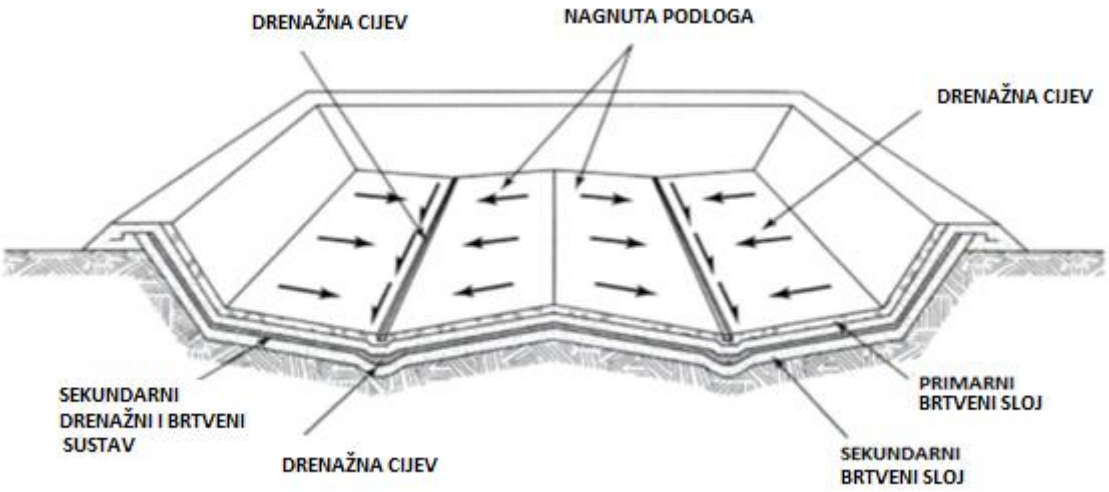
Slika 10. Shematski prikaz otplinjavanja odlagališta otpada

3.4. Drenažni sustavi za procjednu tekućinu

Temeljni drenažni sustav prikazan na slici 11 sastoji se od drenažnih slojeva za prikupljanje procjedne tekućine koja se odvodi iz odlagališta putem drenažnih cijevi. Temeljni drenažni sustav se sastoji od tri osnovna dijela: drenažnog sloja, perforirane drenažne cijevi i filtarskog zaštitnog sloja između otpada i drenažnog sloja. Drenažni sloj mora imati minimalno debljinu od 30 cm i vodopropusnost veću od 1.0×10^{-4} m/s. Debljina drenažnog sloja u prostoru drenažnih cijevi treba biti veća proporcionalno promjeru cijevi. Za kretanje tekućine prema drenažnim cijevima, drenažni slojevi se moraju ugraditi na brtvene slojeve koji imaju nagib od minimalno 2% prema cijevima.

Razmak između susjednih drenažnih cijevi, koje se postavljaju paralelno, određen je potrebnim hidrauličkim kapacitetom drenažnog sustava koji treba uskladiti s očekivanom količinom pritoka procjedne tekućine [1]. Povećanjem razmaka između drenažnih cijevi smanjuje se kapacitet sustava odnosno opada brzina dreniranja što može rezultirati povećanjem razine tekućine u odlagalištu [1]. Razina procjedne tekućine iznad brtvenog sloja treba biti čim manja (do cca 30 cm) odnosno najviše do gornje granice drenažnog sloja po sredini udaljenosti između dvije susjedne cijevi [1]. Promjer drenažnih cijevi treba biti dovoljan odnosno veći ili jednak 150 mm.

Da ne dođe do začepljenja pora, drenažni sloj mora biti zaštićen filtarskim slojem [1]. Filtarski sloj mora biti debljine od minimalno 15 cm. Granulometrijski sastav ovog sloja treba biti u skladu s tzv. "filtarskim pravilom" odnosno treba imati dovoljnu propusnost i sposobnost zadržavanja sitnih čestica otpada [1].



Slika 11. Drenažni sustav za prikupljanje i uklanjanje procjedne tekućine u odlagalištu otpada

Za projektiranje ovog drenažnog sustava ključni ciljevi su osigurati trajno njegovu dobru propusnost, spriječiti eventualno drobljenje mineralnih zrna kod većih opterećenja nadslojem otpada kao i degradaciju zrna zbog kemijske nekompatibilnosti s procjednom tekućinom (zrna od karbonatne stijene nisu pogodna za drenažni sloj), te smanjiti mogućnost pojave začepljenja pora zbog nošenja sitnih čestica otpada ili nastajanja taloga uslijed kemijskih i bioloških procesa [10].

U stručnoj literaturi se može naći mnogo objavljenih slučajeva u svezi problema začepljenja drenažnog sustava za procjednu tekućinu nastankom taloga. Mogućnost začepljenja drenažnog sustava se može umanjiti [10] :

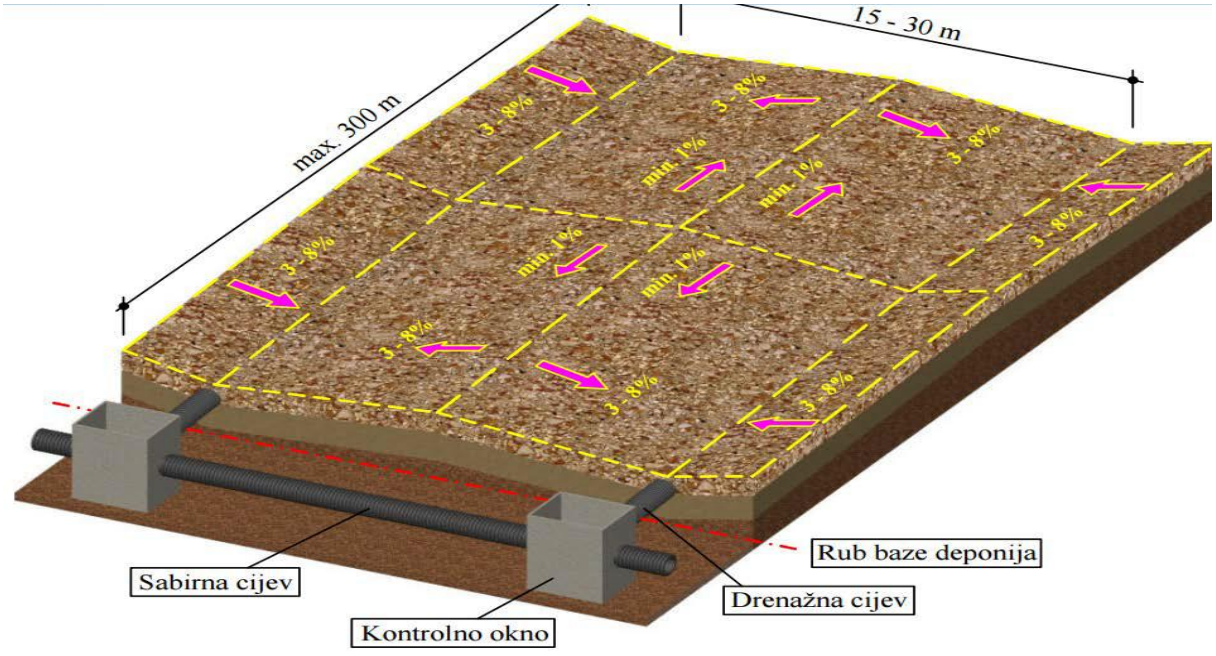
- povećanjem brzine kretanja procjedne tekućine u drenažnom sustavu,
- povećanjem veličine pora u drenažnom sloju,
- smanjenjem površine raspoložive za rast biofilma (bakterije).

Takve mjere podrazumijevaju da granulometrijski sastav drenažnog materijala udovoljava zahtjevima: $d_{85} \geq 37$ mm, $d_{10} \geq 19$ mm, $C_u = d_{60}/d_{10} < 2$ i da je udio sitne frakcije ($d < 0{,}075$ mm) u materijalu manji od 1% [10]. Osim toga, nužno je redovito obavljati preglede (TV kamera) i čišćenja drenažnih cijevi i okana kako bi se na vrijeme spriječilo znatnije gomilanje kemijskog i biološkog taloga u njima odnosno usporenje kretanja procjedne tekućine.

Sustav za upravljanje procjednim tekućinama sastoji se od tri glavne komponente. Sloja za sakupljanje procjedne tekućine unutar radne plohe, cijevi za transport tekućine sa radne plohe

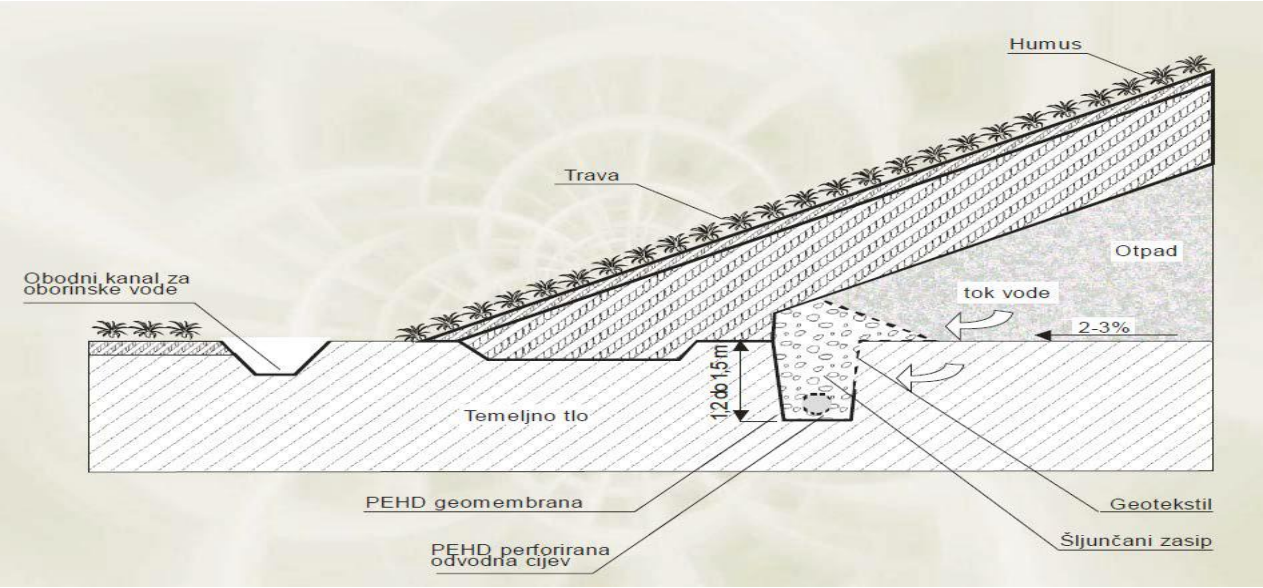
i konačno bazena u kojima se sakuplja procjedna tekućina. Procjedna tekućina, ovisno o primijenjenom sustavu odlaganja, može biti recirkulirana na vrh odloženog otpada ili pak odvođena na uređaj za pročišćavanje [11].

Sama odvodnja može biti pomoću pumpi ili se može primijeniti gravitacijski sustav kao na slikama 12 i 13. Površina temeljnog brtvenog sustava je profilirana odnosno s odgovarajućim poprečnim i uzdužnim nagibima, čime je omogućeno gravitacijsko tečenje procjedne tekućine kroz sustav drenažnih cijevi prema rubovima odlagališta. Drenažne cijevi se pritom polažu po najnižim pravcima isprofilirane površine, a tekućine sakupljene u drenažne cijevi otječu gravitacijski iz radnih ploha van tijela odlagališta odnosno do okana koja se nalaze uz vanjsku nožicu obodnog nasipa. Takvim oknima se osigurava pristup zbog inspekcije i nužnog održavanja (čišćenje taloga) sustava. Procjedne tekućine protječu dalje gravitacijski od okana do bazena za sakupljanje. Dio sakupljene procjedne tekućine se može vraćati natrag u tijelo odlagališta pomoću sustava za recirkulaciju koji se izvodi ispod prekrivnog sloja [11].



Slika 12. Shematski prikaz profilirane površine temeljnog brtvenog sustava [11]

Moguće je utjecati na smanjenje količina procjedne tekućine i to na nekoliko načina. Sve dijelove odlagališta na kojima se trenutno ne odlaže otpad treba držati prekrivenima. Za dnevno odlaganje potrebno je koristiti što manje površine i prekrivati ih nakon završetka rada. Za održavanje bioloških procesa u zatvorenom dijelu odlagališta treba koristiti kontroliranu recirkulaciju procjedne tekućine.



Slika 13 Sakupljanje procjedne tekućine [11]

Procjedne vode, koje prolaze kroz tijelo odlagališta, u kontaktu sa otpadom, onečiste se različitim organskim i anorganskim tvarima, te kao takve mogu znatno onečistiti okolno tlo i podzemne vode do kojih dospiju. Kako bi se spriječilo takvo onečišćavanje podzemnih i površinskih voda, nastala tekućina se treba prikupljati u betonske spremnike ili bazene na rubnim dijelovima odlagališta. Uz spremnike se grade i crpne stanice u koje će se smjestiti crpno postrojenje za recirkulaciju procjednih tekućina u odlagalište i to količina koje su nužne u procesu razgradnje i stabilizacije otpada. Sustav za sakupljanje procjedne vode iz tijela odlagališta sakuplja i odvodi pocjedne vode u periodu aktivnog funkcioniranja odlagališta i nakon njegovog zatvaranja. On se smješta direktno iznad zaštitnog geotekstila koji štiti glineni brtveni sustav [11].

Nagibi dna ploha trebaju se projektirati sa padovima prema perforiranim drenažnim cijevima, koje se postavljaju u najnižim dijelovima ploha, kako bi sakupile svu procjednu vodu. Drenažne cijevi se polažu s uzdužnim padom i one odvode vodu iz tijela odlagališta u okna, koja su postavljena s vanjske strane nožice obodnog nasipa [11]. Drenažne cijevi za sakupljanje procjedne tekućine smještaju se uzduž središnjeg dijela dna svake plohe. Najčešće se koriste perforirane cijevi od polietilena visoke gustoće (HDPE) u promjeru od 200 mm. Cijevi koje prolaze ispod obodnog nasipa su istog tipa i promjera, ali nisu perforirane. Cijevi dolaze u tipska HDPE okna promjera 1.50 m s dvostrukim stjenkama.

4. Zaključak

Otpad koji se odlaže je vrlo aktivna mješavina različitih tvari. Procesom biorazgradnje nastaju odlagališni plinovi, a pri atmosferskim padalinama u dodiru s otpadom nastaju procjedne tekućine. Zbog toga odlagalište mora imati adekvatno izvedeno brtvljenje s donje i gornje strane, te riješen prihvat i sustave za pročišćavanje procjednih tekućina kao i sustav prikupljanja odlagališnih plinova.

Poseban napredak u pogledu dugotrajne zaštite omogućuje ispravna primjena geosintetika u temeljnim i pokrovnim brtvenim sustavima. Geosintetici su materijali koji omogućuju dugotrajnu zaštitu, sprječavaju procjeđivanje oborinske vode u tijelo odlagališta i nekontrolirano istjecanje procjedne tekućine u temeljno tlo te podzemne vode. Pored toga, osiguravaju stabilnost i filtarsku ulogu pojedinih slojeva brtvenih sustava, te sprječavaju nekontrolirane emisije štetnih odlagališnih plinova u zrak.

Nakon prestanka odlaganja otpada, u tijelu odlagališta se i dalje odvijaju kemijsko - fizikalni procesi. Dolazi do smanjenja volumena odloženog otpada što uvjetuje pojavu slijeganja, diferencijalnog slijeganja otpada te završnog pokrovnog sloja. Veličina slijeganja ovisi o sastavu odloženog otpada, načinu i tehnologiji ugrađivanja, visini otpada, postotku vlažnosti pri ugradnji.

Nakon zatvaranja odlagališta i izvedbe pokrovnog brtvenog sloja, na površini će se postaviti reperi koji služe za monitoring odlagališta nakon njegovog zatvaranja. Mjerenje je potrebno provoditi jedanput svake godine tokom razdoblja od dvadeset godina. Rekultivacijom se tijelo odlagališta otpada pokušava što bolje uklopiti u okolinu. Rekultiviranje završnih površina se provodi sadnjom trave ili biljaka koje su karakteristične za okoliš odlagališta. Prostorno-planskom dokumentacijom određuje se konačna namjena prostora.

5. Popis literature

[1] Kavur, B. Nastavni materijali za kolegij Geotehničko-ekološki zahvati. Geotehnički fakultet u Varaždinu, ak. god. 2017/18.

[2] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada" RH, N br. 114/15, br.2184 ,str.14, (21.10.2015.)

[3] http://www.gt-trade.hr/aplik/tehgraddep02.htm (datum pristupa 30. kolovoz 2018.)

[4] http://www.argradnja.com/gradjevinske-masine-valjci.php (datum pristupa 30. kolovoz 2018

[5] Richardson C.P., Municipal Landfill Design Calculations An Entry Level Manual of Practice, Lemitar, 2009.

[6] Rowe, R.K. & Sabgman, H.P. 2002. Durability of HDPE geomembrans. Geotextiles and Geomembranes 20(2): 77-95.

[7] Daniel, D.E., Bowders, J.J. (1997). Waste containment systems by geosyntheticcs. Environmental Geotechnics, Kamon (ed.), Balkema. Proc. of the 2nd Int. Congress of Environmental Geotechnics. Osaka, Japan, Nov, 5-8, 1996. Vol. 3. p. 1275-1291.

[8].http://www.funda.hr/usluge/izvodenje-akumulacijskih-jezera-i-laguna-za-tekucu-gnojnicu/bazeni-za-pohranu-otpadnih-voda-u-stocarskim-farmama-spremnici-za-tekucu-gnojnicu (dan pristupa 23. kolovoz 2018.)

[9].https://indeco.ru/hr/geotextiles-whats-this-geotextile-description-characteristics-application-and-method-of-layingssss.html (dan pristupa 23. kolovoz 2018.)

[10] Rowe, R.K. (2001): Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, poglavlje: 25. Barriers. Kluwer Academic Publishers.

[11] Gotal Dimitrović, L.i suradnici: okvirni plan sanacije odlagališta komunalnog otpadana lokaciji „Beljevina",Eko-monitoring d.o.o.,Varaždin, 2013.

6. Popis slika

Slika 1. Poprečni presjek odlagališta otpada

Slika 2.Komponente pokrovnog sustava

Slika 3 Zahtjevi za pokrovne zaštitne sustave u Europi odnosno SAD-u

Slika 4. Valjak-jež za zbijanje glinenog sloja

Slika 5. Brtveni sustav od slojeva glinovitog materijala postavljenih paralelno s bočnim pokosom odlagališta

Slika 6. Brtveni sustav od sub-horizontalno ugrađenih slojeva glinovitog materijala na bočnom pokosu odlagališta

Slike 7. Moguće primjene GCL-a u odlagalištima neopasnog i opasnog otpada

Slika 8. Ugradnja geomembrane

Slika 9. Geotekstil kao dio drenažnog sustava u odlagalištu otpada

Slika 10. Sustav za otplinjavanja u odlagalištu otpada

Slika 11. Drenažni sustava za prikupljanje i uklanjanje procjedne tekućine u odlagalištu otpada

Slika 12. Shematski prikaz profilirane površine temeljnog brtvenog sustava

Slika 13. Primjer sakupljanja procjedne vode

7. Popis tablica

Tablica 1. Prednosti i nedostaci materijala koji se koriste za drenažne i filtarske slojeve u odlagalištima otpada

8. Popis objašnjenja kratica

CCL- (engl. Compacted Clay Liner, CCL), zbijena glinena barijera

GCL- (engl. Geosyntetic Clay Liner, GCL), geosintetička glinena barijera

GM- geomembrana

GTX- membrana od gore-tex materijala

HDPE- (engl. High-density polyethylene), polietilen visoke gustoće

UV- Ultraljubičasto zračenje

RH- Republika Hrvatska

US-EPA- (engl. United States Environmental Protection Agency), Američka agencija zaštite okoliša