Primjena geosintetika u odlagalištu otpada

Juras, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

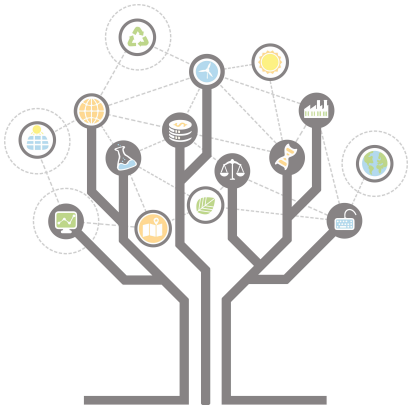
2017

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:130:831250

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Primjena geosintetika u odlagalištu otpada

Juras, Mihaela

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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:130:831250

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-11-04**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

MIHAELA JURAS

PRIMJENA GEOSINTETIKA U ODLAGALIŠTU OTPADA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

PRIMJENA GEOSINTETIKA U ODLAGALIŠTU OTPADA

KANDIDAT:
MIHAELA JURAS

MENTOR:
doc. dr.sc. BORIS KAVUR

VARAŽDIN, 2017.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod

Primjena geosintetika 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. Borisa Kavura.

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. 2017.

Mihaela Juras

Mihaela Juras

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

Završni rad

PRIMJENA GEOSINTETIKA U ODLAGALIŠTU OTPADA

Student: Mihaela Juras

SAŽETAK:

U radu su opisana osnovna svojstva i funkcije geosintetika kao umjetnih materijala s posebnim naglaskom na primjenu u odlagalištu otpada. U uvodnom i drugom poglavlju opisan je koncept odlagališta otpada kao nasute građevine i dat je pregled kategorija odlagališta prema važećim propisima o odlaganju otpada. Opisani su također temeljni i pokrovni zaštitni sustavi odlagališta i njihove funkcije. U trećem poglavlju rada opisani su najčešće korišteni geosintetici u gradnji ili sanaciji odlagališta otpada, njihove značajke, način proizvodnje i funkcije koje obavljaju u geotehničkim konstrukcijama odnosno u odlagalištima otpada. Dat je i kratki osvrt na najvažnije tehničke probleme u svezi uporabe geosintetika u odlagalištima otpada: način ugradnje i osiguranje kvalitete ugrađene geomembrane, posmična čvrstoća na kontaktu geosintetika i tla te kontakta među različitim geosinteticima.

Ključne riječi: odlagalište otpada, geomembrana, bentonitni tepih, geotekstil, geomreža

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Odlagalište otpada 4
2.1. Kategorije odlagališta otpada prema važećim propisima 4
2.2. Temeljni zaštitni sustav 4
2.3. Pokrovni zaštitni sustav 7

3. Geosintetici u odlagalištima otpada 9
3.1. Geomembrane 9
3.2. Geosintetičke glinovite barijere (bentonitni tepisi) 11
3.3. Geotekstili 14
3.4. Geosintetički drenovi za vodu i plinove 17
3.5. Geomreže 19
3.6. Geopletiva i geoćelije za zaštitu od erozije 21
3.7. Tehnička problematika uporabe geosintetika u odlagalištima otpada 23
3.7.1. Ugradnja geomembrane 23
3.7.2. Ojačanje konstrukcije 24
3.7.3. Posmična čvrstoća na kontaktima različitih geosintetika i geosintetika s tlom 25

4. Zaključak 26

5. Popis literature 27

6. Popis slika 29

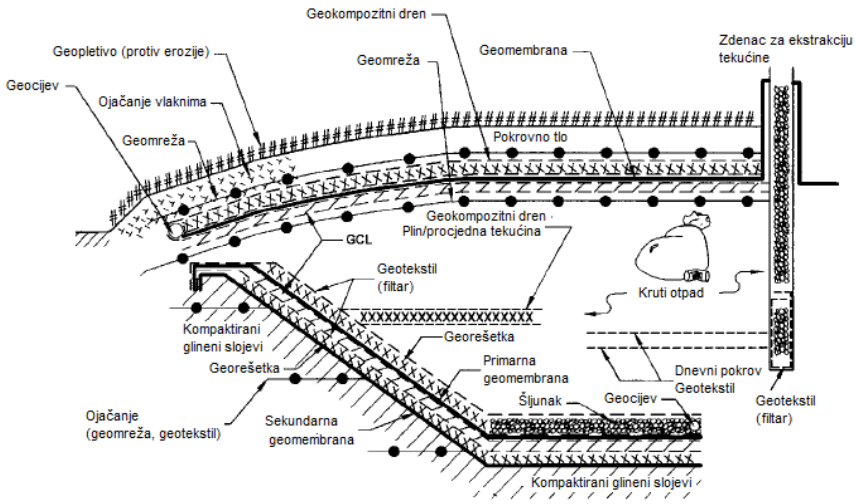
7. Popis tablica 30

8. Popis kratica 31

1. Uvod

Odlagalište otpada predstavlja složenu geotehničku građevinu 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]. Odlagališta se danas grade od tla i otpada te raznih tipova geosintetika. Geosintetici su građevni proizvodi koji se proizvode od sintetičkih polimera odnosno sadržavaju ga u barem jednom svom dijelu, a koriste se u tlu i drugim materijalima pri geotehničkim, hidrotehničkim i ostalim građevinskim i ekološkim zahvatima. Cilj ovog rada je prikazati mogućnosti i prednosti korištenja geosintetika u gradnji ili sanaciji odlagališta otpada, kao i dati osvrt na tehničku problematiku korištenja geosintetika pri takvim zahvatima.

Osim osiguranja mehaničke otpornosti i stabilnosti odlagališta kao građevine, glavni ciljevi sigurnog odlaganja i izolacije otpada bilo kojeg tipa uključuju: gradnju inženjerskih, brtvenih i drenažnih (temeljnih i pokrovnih) sustava za sprječavanje širenja onečišćujućih, procjednih tekućina i plinova iz otpada u okoliš odnosno za njihovo kontrolirano prikupljanje radi tretmana, kao i za sprječavanje infiltracije oborinskih voda u tijelo odlagališta. Za sigurno i učinkovito dostizanje i osiguranje takvih ciljeva zaslužni su upravo geosintetici [1].



Slika 1. Presjek odlagališta otpada projektiranog s višestrukom uporabom geosintetika (modificirano iz [2]).

Geosintetički proizvodi su razvijeni za obavljanje raznih funkcija u tlu (tablica 1) [3]:

- **Razdvajanje** dva različita materijala tako da se očuva njihov integritet i funkcioniranje,
- **Ojačanje** materijala kojem nedostaje vlačne čvrstoće s obzirom na uvjete opterećenja,
- **Filtracija** odnosno omogućavanje hidrauličkog protoka okomito na ravninu geosintetika uz zadržavanje sitnih čestica na uzvodnoj strani,
- **Dreniranje** odnosno omogućavanje hidrauličkog protoka u ravnini geosintetika,
- **Brtvljenje** odnosno onemogućavanje protoka fluida (tekućina i plinova) kroz postavljenu barijeru (geosintetik)
- **Zaštita** geomembrana od nastanka oštećenja (proboja) uslijed ugradnje zemljanog krupnozrnatog materijala.

Tablica 1. Pregled različitih tipova geosintetika i njihovih funkcija [3].

Tipovi i funkcije geosintetika. ● primarna funkcija; ○ sekundarna funkcija

	Funkcija					
Tipovi geosintetika	Odvajanje	Drenaža	Filtracija	Ojačanje	Nepropusnost	Zaštita
Netkani geotekstil	●	○	●		●	●
Tkani geotekstil	●		○		●	
Geomreža				●		
Geomembrana					●	
Geoćelija	●			●		
Glinena geosintetička barijera					●	○
Geokompozit	○	●	○	○	●	●
Georešetka		●				
Geocijevi		●				

Povijest uporabe geosintetika započinje tijekom šezdesetih godina prošlog stoljeća u Francuskoj kada je prvi put korišten tekstil izrađen od polimera ili tzv. geotekstil u gradnji cesta. Od tada započinje razvoj geotekstila i njemu sličnih proizvoda ili različitih tipova geosintetika i njihova široka upotreba u građevinskim i okolišnim projektima. Geosintetici su dobro prihvaćeni od strane svih sudionika gradnje. Izvođači geotehničkih zahvata žele vremenski neovisnu ugradnju zemljanih materijala koja nije

vezana samo za suho vrijeme, kao i mogućnost ugradnje zemljanih materijala lošije kvalitete, a to mogu postići korištenjem geosintetika. Projektanti građevinskih radova su zainteresirani za veću pouzdanost i kontrolu svojstava ugrađenih materijala (ujednačena, tvornički kontrolirana svojstva geosintetika), jednostavnu ugradnju i sposobnost geosintetika da premoste neke defekte u tlu. Investitori su zainteresirani za uštede u troškovima gradnje (brža i jeftinija gradnja kroz smanjeni obim zemljanih radova) i održavanja građevina koje se postižu uporabom geosintetika.

U drugom poglavlju ovog rada opisat će se koncept odlagališta otpada kao nasute građevine i kategorije odlagališta prema važećim propisima o odlaganju otpada. Opisat će se također glavne zaštitne elemente odlagališta i njihove funkcije.

U trećem poglavlju rada, opisat će se najčešće korišteni geosintetici (tablica 1) u gradnji ili sanaciji odlagališta otpada, njihove značajke, način proizvodnje i funkcije koje obavljaju u geotehničkim konstrukcijama odnosno u odlagalištima otpada. Ujedno će se dati kratki osvrt na najvažnije tehničke probleme u svezi uporabe geosintetika u odlagalištima otpada: način ugradnje i osiguranje kvalitete ugrađenih proizvoda, posmična čvrstoća na kontaktu geosintetika i tla te kontakta među različitim geosinteticima i drugo.

2. Odlagalište otpada

2.1. Kategorije odlagališta otpada prema važećim propisima

Prema "Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada" RH (NN br. 114/15) [4], odlagališta otpada se dijele na sljedeće kategorije:

- odlagalište za inertan otpad,
- odlagalište za opasni otpad,
- odlagalište za neopasni otpad.

U kategoriji odlagališta za neopasni otpad utvrđuju se sljedeće podkategorije odlagališta:

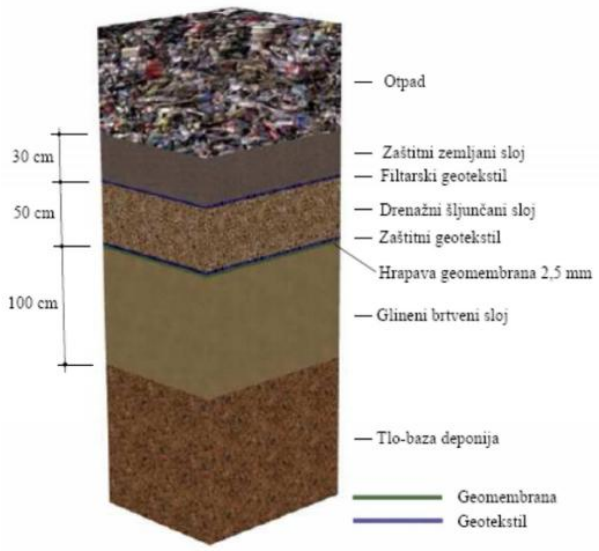
- Podkategorija 1: Bioreaktorsko odlagalište,
- Podkategorija 2: Odlagalište za odlaganje otpada za stabiliziranu frakciju otpada nakon postupka mehaničko-biološke obrade,
- Podkategorija 3: Odlagalište anorganskog neopasnog otpada s niskim sadržajem organske/biorazgradive tvari.

2.2. Temeljni zaštitni sustav

Temeljni zaštitni sustav sprječava prodiranje procjedne tekućine kroz dno i bokove odlagališta u tlo i podzemnu vodu. Sastoji se od naizmjenično položenih brtvenih i drenažnih slojeva. Brtveni slojevi se obično grade od zbijenih zemljanih materijala ili alternativnih materijala (nekoherentno tlo + dodaci: glina, betonit, polimer) te geosintetika. Drenažni slojevi sadrže krupnozrnate propusne materijale ili geosintetike te drenažne cijevi [1].

Na slici 2 prikazan je presjek mogućeg projektnog rješenja temeljnog zaštitnog sustava koji se u prikazanom primjeru sastoji od slijedećih dijelova (počevši od dna):

- temeljnog, prirodnog tla
- glinenog brtvenog sloja ukupne debljine 100 cm izrađenog nanošenjem i zbijanjem četiri pojedinačna sloja (svaki debljine 25 cm) glinovitog, zemljanog materijala
- hrapave HDPE (engl. High Density PolyEthylene) geomembrane debljine 2,5 mm
- zaštitnog geotekstila (štiti geomembranu od oštećenja)
- drenažnog sloja debljine 50 cm od prirodnog šljunčanog materijala
- filtarskog geotekstila koji štiti drenažni sloj od zamuljivanja sitnim česticama tla i otpada
- zaštitnog zemljanog sloja debljine 30 cm, odgovarajuće vodopropusnosti.



Slika 2. Presjek mogućeg projektnog rješenja temeljnog zaštitnog sustava [5]

Glineni brtveni sloj u temeljnom zaštitnom sustavu mora imati vrlo nisku vodopropusnost odnosno manju od 10^{-9} m/s i debljinu koja redovito nije manja od 1 m. Niska vodopropusnost se osigurava izborom odgovarajućeg zemljanog materijala koji

mora sadržavati dovoljno sitnih čestica praha i gline te pažljivom ugradnjom i zbijanjem u tankim slojevima (15-30 cm debljine) kako bi se dobila kontinuirana brtvena barijera koja mora imati i zadovoljavajuću čvrstoću i ujednačena deformacijska svojstva. U situacijama kada se u okolici budućeg odlagališta otpada ne mogu pronaći odgovarajući zemljani materijali, glineni brtveni sloj je moguće zamijeniti s relativno tankom geosintetičkom glinenom barijerom ili tzv. bentonitnim tepihom debljine svega oko 1 cm [1]. Time se ujedno znatno ubrzava i pojednostavljuje gradnja temeljnog zaštitnog sustava te povećava raspoloživi prostor za kasniju ugradnju otpada (zbog male debljine bentonitnog tepiha).

Niska vodopropusnost brtvene barijere u temeljnom zaštitnom sustavu danas se prvenstveno osigurava pažljivom ugradnjom HDPE geomembrane [1]. Glineni brtveni sloj ili geosintetička glinena barijera pružaju dodatnu zaštitu od procurivanja procjedne tekućine.

U slučaju gradnje odlagališta za opasni otpad temeljni zaštitni sustav čine dva brtvena i dva drenažna sloja, tzv. primarni i sekundarni slojevi. Primarni drenažni sloj se nalazi iznad primarnog brtvenog sloja koji čine HDPE geomembrana i glineni zbijeni sloj ili geosintetička glinena barijera. Sekundarni drenažni sloj se ugrađuje ispod primarnog brtvenog sloja i ima funkciju prikupljanja procjedne tekućine koja bi eventualno mogla proći kroz oštećeni dio primarnog brtvenog sloja.

Drenažni sloj u debljini od minimalno 50 cm treba prikupiti svu procjednu tekućinu prema drenažnim cijevima kojima se ona kontrolirano odvodi izvan odlagališta radi tretmana ili pak ponovo vraća na vrh odloženog otpada (bioreaktor). Za valjano dreniranje odlagališta vrlo je važno izbjeći začepljivanje drenažnog sloja sitnim česticama (mulj) i bakterijama. Terenska opažanja su pokazala da se začepljivanje drenažnog sustava može izbjeći pri većim brzinama protjecanja procjedne tekućine [3].

Dobro funkcioniranje drenažnog sustava očituje se u niskoj razini procjedne tekućine (< 30 cm) što je od krucijalne važnosti za stabilnost odlagališta kao geotehničke građevine [1]. Šljunčani materijal drenažnog sloja treba biti otporan na agresivno djelovanje procjedne tekućine i odgovarajućeg granulometrijskog sastava radi osiguranja dovoljne propusnosti.

Zaštitni zemljani sloj i filtarski geotekstil se ugrađuju kao čvrsta podloga budućem odloženom otpadu i imaju funkciju zaštite drenažnog sloja od zamuljivanja sitnim česticama. U početnoj fazi izgradnje odlagališta služe i kao zaštita od smrzavanja glinenog brtvenog sloja.

2.3. Pokrovni zaštitni sustav

Pokrovni zaštitni sustav se također sastoji od naizmjenično položenih brtvenih i drenažnih slojeva. Njime se kontrolira izlaz plinova iz tijela odlagališta i sprječava ulazak oborinskih i površinskih voda u tijelo odlagališta, a time i nastanak prekomjerne količine procjedne tekućine.

Pokrovni sustav treba biti otporan na eroziju vjetrom i oborinskom vodom, siguran od glodavaca i korijenja biljaka, otporan na povišene temperature, treba podnesti značajna diferencijalna slijeganja bez pucanja i treba biti dovoljne posmične čvrstoće da ne dođe do klizanja.

Pokrovni sustav obično sadrži slijedeće komponente: završni zemljani sloj, zaštitni sloj, drenažni sloj za oborinske vode, brtveni sloj, sloj za odvođenje plina i temeljni sloj.

Završni zemljani sloj se radi od humusa u debljini oko 20 cm radi uzgoja vegetacije s kratkim korijenjem. Pomoću vegetacije umanjuje se utjecaj oborina odnosno sprječava se erozija pokrova. Za sprječavanje erozije mogu se koristiti i geosintetici kao npr. geopletiva i geoćelije.

Zaštitni sloj se gradi od raspoloživog zemljanog materijala radi sprječavanja smrzavanja i isušivanja brtvenog sloja.

Drenažni sloj od krupnozrnatog tla (šljunak) drenira vodu koja se procjeđuje iz gornjih slojeva i smanjuje tlak vode na kontaktu s brtvenim slojem te pridonosi stabilnosti pokosa. Između zaštitnog sloja i drenaže obično se postavlja filtarski geotekstil. Drenaža se može izvesti i od geokompozitnih drenova.

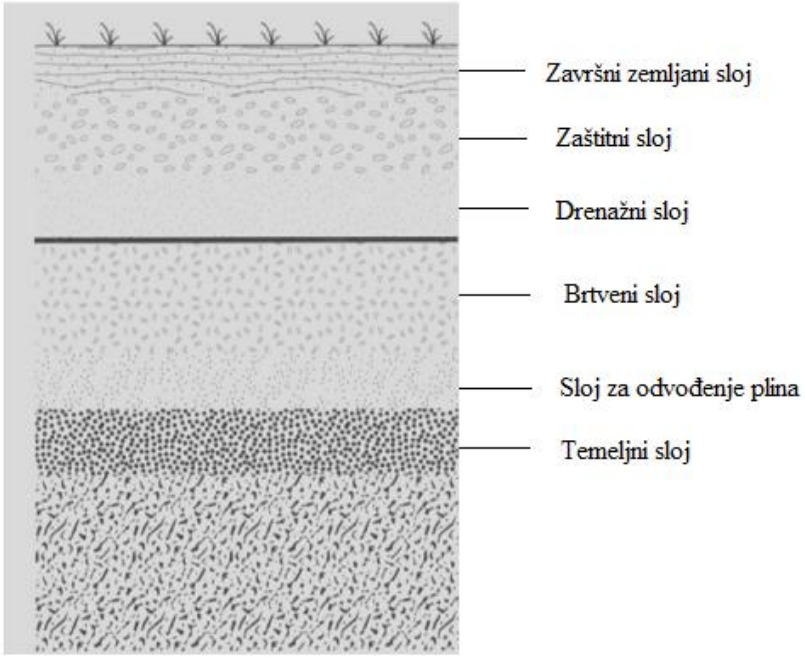
Brtveni sloj sprječava ulazak vode u odlagalište i izlazak odlagališnog plina u atmosferu. Obično se sastoji od geomembrane ispod koje se ugradi sloj zbijenog

glinovitog tla ili geosintetička glinovita barijera. Na geomembranu se postavlja zaštitni geotekstil prije ugradnje drenažnog sloja.

Sloj za odvođenje plina prikuplja otpadne plinove iz „tijela“ odlagališta otpada. Može se izvesti kao sloj krupnozrnatog tla u debljini od minimalno 30 cm pijeska ili šljunka. Često se alternativno ugrađuje tanki geokompozitni dren za plinove čime se štedi na korisnom prostoru koji može zauzeti otpad.

Temeljni sloj preuzima kontakt s otpadom i smanjuje utjecaj diferencijalnog slijeganja na gornje slojeve pokrovnog sustava [1].

Na slici 3 prikazano je moguće rješenje pokrovnog zaštitnog sustava.



Slika 3. Presjek pokrovnog zaštitnog sustava

3. Geosintetici u odlagalištima otpada

3.1. Geomembrane

Geomembrane (GM) su tvornički izrađene folije od polimernih materijala 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 za sprječavanje migracije procjednih tekućina nastalih u otpadu prema temeljnom tlu i podzemnoj vodi,
- u pokrovnom sustavu za sprječavanje infiltracije oborinskih voda u tijelo odlagališta kao i za sprječavanje nekontroliranog izlaska plinova iz odlagališta u okoliš.

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 (eng. ultraviolet) zračenje uz ostale dodatke (do 1%) za sprječavanje oksidacije, osiguranje dugotrajne postojanosti i dr. [6] U početku njihove primjene postojala je ozbiljna briga oko njihove kemijske kompatibilnosti odnosno otpornosti na djelovanja različitih kemijskih supstanci koje se nalaze u različitim tipovima otpada odnosno oko njihovog životnog vijeka u takvim uvjetima. Sada je općenito prihvaćen stav da su geomembrane otporne i dugoročno postojane [7] jer su kompatibilne s većinom kemikalija. Propisno projektirana geomembrana ima potencijal trajanja stotinama godina pod uvjetom da je ugrađena i kontrolirana prema trenutno preporučenim postupcima [7]. Pri tome se problemi kvalitete ugradnje geomembrane smatraju glavnim ograničavajućim čimbenicima za njezino ponašanje i životni vijek u građevini [7].

Geomembrane se obično proizvode u debljinama 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 (glatko/hrapavo) već prema specifičnim projektnim namjenama. Hrapava površina geomembrane ima znatno veći kut trenja u kontaktu s tlom ili drugim geosintetikom u odnosu na glatku geomembranu.

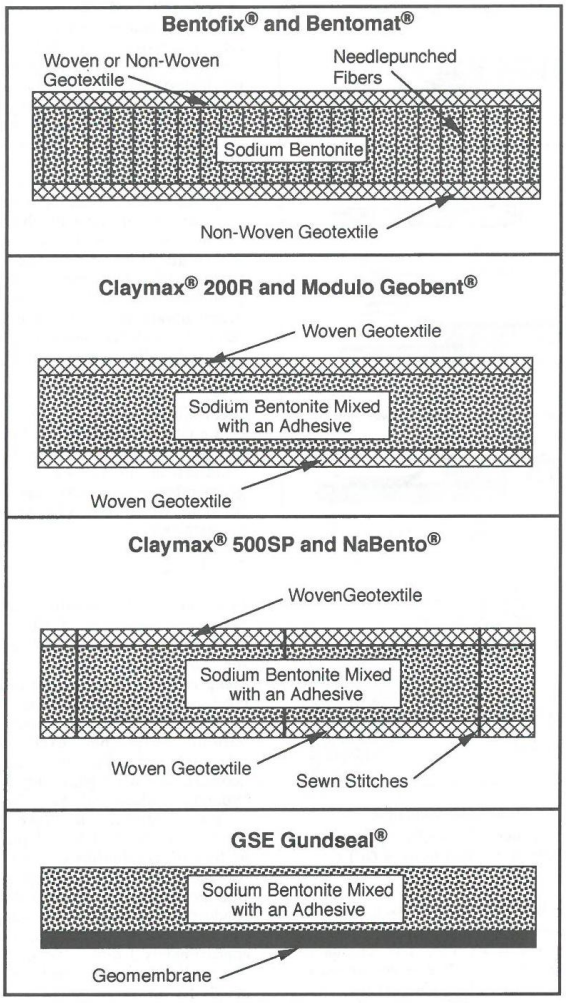
To je vrlo važno za stabilnost konstrukcije. Ako se GM ugrađuje na horizontalnu ili blago nagnutu (nekoliko stupnjeva nagiba) površinu, njena kontaktna površina može biti glatka. U suprotnom, na pokosima se mora koristiti obostrano hrapavu geomembranu.

Privremeno skladištenje GM na gradilištu treba biti u skladu s uputama proizvođača. Role GM se mogu skladištiti na ravnim površinama na kojima se ne zadržava voda. GM treba zaštiti od proboja, habanja, pretjerane topline ili hladnoće, kao i UV zračenja. Tijekom skladištenja ne smije se dozvoliti gnječenje rola uslijed prekomjernog opterećenja (npr. slaganjem više rola jednu povrh druge).

Rukovanje s GM rolama treba strogo biti u skladu s uputama proizvođača. GM role se ne smiju bacati, povlačiti ili podizati na jednom kraju. GM se ne smije polagati ili spajati u uvjetima visoke vlažnosti (npr. kiša, magla, rosa) ili vjetrovitom vremenu. Obzirom da GM mijenja duljinu s promjenom temperature, GM nije uputno postavljati ili spajati pri temperaturama nižim od 0°C ili višim od 40°C.

3.2. Geosintetičke glinovite barijere (bentonitni tepisi)

Geosintetička glinovita barijera (geosynthetic clay liner, kratica GCL) predstavlja kompozitni proizvod koji se obično sastoji od dva geotekstila (npr. netkani ili tkani geotekstili u proizvodima Bentofix® i Bentomat®) između kojih se nalazi bentonitna glina u prahu ili granulama (slika 4). Kod nekih GCL-a se umjesto geotekstila s jedne strane nalazi geomembrana (npr. proizvod GSE Gundseal®), a bentonitni prah je adhezivnim ljepilom fiksiran za geomembranu.

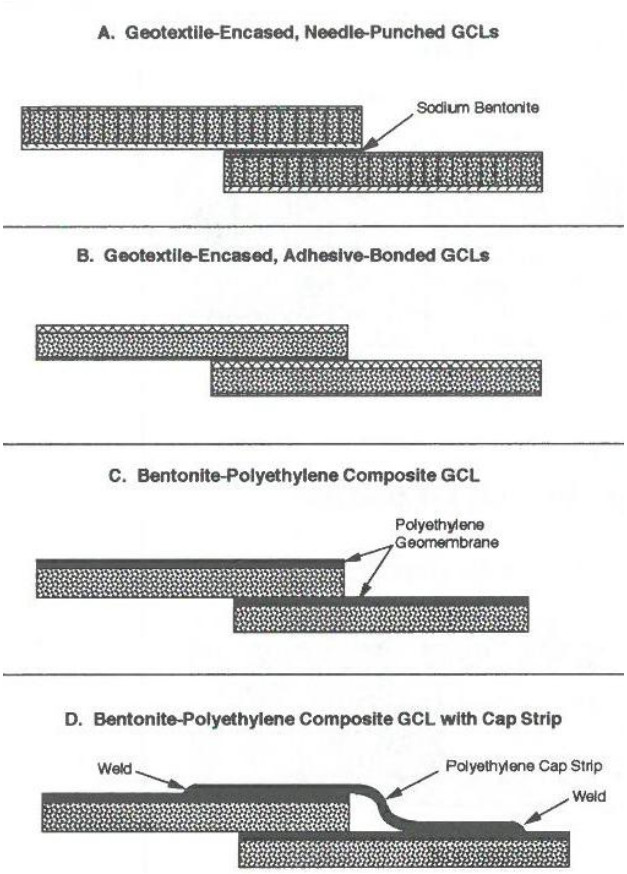


Slika 4. Komercijalni GCL proizvodi [6]

Geosintetičku glinovitu barijeru se kod nas naziva još i bentonitnim tepihom. Takav proizvod je namijenjen za situacije u kojima se traži niska propusnost okomito na ravninu tepiha. Nisku propusnost GCL postiže zahvaljujući bentonitu odnosno mineralu montmorilonitu (mineral gline iz skupine smektita) čija je osnovna karakteristika velika sklonost vodi koju upija i veže među laticama minerala te bubri odnosno povećava volumen nekoliko puta. Pri tome, bentonitna glina ima vrlo niski koeficijent vodopropusnosti $k < 10^{-11}$ m/s. Pri takvom koeficijentu vodopropusnosti i kontinuiranom gravitacijskom procjeđivanju vode pod jediničnim hidrauličkim gradijentom infiltracija će iznositi oko 0,3 mm na godinu ili svega 30 mm u 100 godina [6].

Geosintetičke komponente u GCL-u pridržavaju bentonitni sloj pri transportu i ugradnji te pružaju potrebnu vlačnu i posmičnu čvrstoću proizvodu nakon ugradnje. Osim toga, GCL su obično prošiveni polimernim vlaknima kako bi se dobila odgovarajuća posmična čvrstoća. GCL je u suhom stanju debljine oko 10 mm, pri čemu je debljina bentonitnog dijela oko 5 mm, a masa GCL-a oko 5 kg/m^2. Proizvode se u širinama od približno 4 do 5 m i duljinama od približno 25 do 60 m. Masa role GCL-a tako varira između 600 i 2000 kg. Da bi GCL stupio u funkciju kojoj je namijenjen (brtvljenje) potrebna je hidratacija bentonita vodom. Potrebnu vlagu GCL može dobiti iz tla na koje je položen ili na neki drugi način. Hidrataciju bentonita u GCL-u prije polaganja treba izbjeći odgovarajućim pakiranjem role jer bentonit u suhom stanju može hidratizirati i vlagom iz zraka.

GCL-i se spajaju preklapanjem u duljini od barem 225 mm. [6] Za preklope (slika 5) se smatra da su samozacijeljujući jer će hidratizirani bentonit prodrijeti kroz pore geotekstila. Isto tako, u slučaju proboja GCL-a očekuje se da će zbog bubrenja bentonita doći do samozacijeljenja oštećenog dijela. U nekim slučajevima proizvođač traži da se unutar preklopa napravi zasip bentonitnim prahom (oko 0,8 kg/m^2) kako je prikazano na slici 5 (slučaj pri vrhu).



Slika 5. Spajanje GCL-a preklapanjem [6]

3.3. Geotekstili

Geotekstil je propusni materijal proizveden od sintetičkih vlakana koji prema načinu proizvodnje može biti tkani (slika 6) i netkani (slika 7). Geotekstili mogu obaviti praktično sve funkcije koje inače obavljaju različiti tipovi geosintetika: razdvajanje, dreniranje, filtriranje, ojačanje, brtvljenje (geotekstil impregniran bitumenom) i zaštitu.

Tkani geotekstili proizvode se isprepletanjem dva ili više skupova niti ili prediva ili traka ili drugih materijala, obično pod pravim kutom. Način tkanja ima utjecaj na fizička, mehanička i hidraulička svojstva. S obzirom na uzorak tkanja, razlikuju se jednostavni, košarasti, keper i satenski vez [8]. Tkani geotekstili su obično vrlo tanki i mogu imati vrlo visoku čvrstoću.

Proizvodnja netkanih geotekstila obuhvaća četiri procesa: pripremu vlakana, formiranje mreže, spajanje i naknadnu obradu. Prethodno pripremljena polimerna vlakna ili niti usmjeravaj se ili se nasumično orijentirana, te se potom mehanički, termički ili kemijski vežu.

Geotekstil s primarnom funkcijom razdvajanja koriste se kao slojevi za sprječavanje miješanja materijala kojim su punjeni susjedni slojevi. Pogodan je u području gdje se traži odvajanje slojeva.

Geotekstil omogućava jednostavnu zamjenu površinskog, lošeg sloja tla slojem zrnatog tla bilo šljunak ili tucanik, koji se daju dobro uvaljati, a da ne dođe do miješanja s temeljnim tlom. Pri visokoj razini podzemne vode, voda slobodno izlazi kroz geotekstil, koji djeluje i kao armatura. Mogu se spajati na različite načine: preklapanjem, zavarivanjem, šivanjem. Preklapa se tako da gornji sloj bude u smjeru nasipavanja, što znači da je samo preklapanje u obrnutom smjeru, tj. da sljedeći sloj treba podvući pod prethodni. Duljina preklapanja za netkani iznosi 50 cm, a za tkani 80 cm. Vari se vrućim zrakom, plinskim plamenikom ili uređajem za varenje. Zagrijava se položeni sloj, a zatim se prekrije sljedećim i spoj se učvrsti hodanjem po zagrijanom traku [12].



Slika 6. Tkani geotekstil [9]



Slika 7. Netkani geotekstil [10]

Funkcija filtracije je zadržavanje tla ili drugih čestica na koje djeluju hidrodinamičke sile, uz istovremeno dopuštanje prolaza tekućinama u ili kroz geotekstil i geotekstilu srodne proizvode. Filtri su materijali koji trajno sprječavaju migraciju čestica i osiguravaju dreniranje. Da bi filtri uspješno obavljali svoju funkciju, moraju imati dovoljnu propusnost za tekućinu okomito na svoju ravninu i dovoljan kapacitet otjecanja vode u vlastitoj ravnini te se moraju prilagoditi materijalu koji trebaju štiti da spriječe prolaz čestica. Tri mehanizma mogu onemogućiti učinkovitost geotekstila kao filtra [8].

Sitne čestice mogu se nakupiti na površini filtra blokirajući njegove pore i time onemogućiti prolaz vode kroz filtar – taj slučaj zove se blokiranje filtra. Postoji mogućnost da se sitne čestice nakupe u unutarnjim porama geotekstila i začepe ga, opet onemogućavajući prolaz vode kroz filtar- taj slučaj naziva se začepljenje filtra. Ako se uz geotekstil nalaze prevelika zrna drenažnog agregata s velikim porama, moguće je blokiranje geotekstila sitnim česticama koje se skupljaju u „džepovima“ ispred

geotekstila koji se povije uz zrna. Sitne čestice naprave tzv. „kolač“ i blokiraju geotekstil, a time i odvodnju kroz njega. Takav slučaj začepljenja zove se zagušenje filtra [8].

Filtri u građevinama smanjuju porne tlakove te djelovanje vode na konstrukciju. Filtri su neophodni u odlagalištu otpada. U odlagalištima otpada potrebno je osigurati dobro dreniranje filtrata (kojeg nazivamo procjedna voda). U cijelom sustavu za drenažu, u temeljnom zaštitnom sustavu (oko cijevi, na kontaktu drena i otpada) mora se filtrirati procjedna tekućina, a za to se najčešće koriste geotekstili, prvenstveno netkani, a rjeđe tkani [10].

Geotekstil u odlagalištima otpada se nalazi između otpada i drenažnog sloja temeljnog zaštitnog sustava. U odlagalištima otpada je dodatna prijetnja geotekstilu (filtru) zapunjavanje vlaknima iz filtrata, te stvaranje gnijezda od gljivica i bakterija koja mogu blokirati filtar. Geotekstil treba imati mehanička svojstva da izdrži tlakove od nadsloja koje treba savladati kroz otpornost na probijanje, na istezanje, na agresivnost filtrata i na membranske efekte. Često se iznad geotekstila stavlja sloj pijeska kao tampon-zona prema otpadu [11].

Geotekstili u odlagalištu otpada imaju i funkciju odvajanja, odnosno sprječavaju međusobno miješanje različitih vrsta tla u dodiru. Geosinteici koji se najčešće koriste za funkciju odvajanja su netkani geotekstili. Kod odvajanja geotekstil mora spriječiti miješanje materijala - utiskivanje pojedinih zrna krupnozrnatog materijala u sitnozrnati i obrnuto, kako bi se spriječila bočna deformacija i pad čvrstoće odlagališta otpada [8].

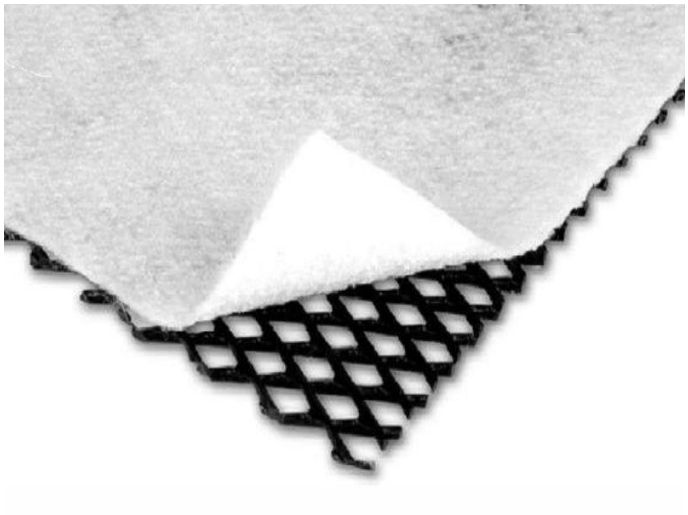
Geotekstili imaju funkciju zaštite od mehaničkog oštećenja, svojstvo koje služi za sprječavanje ili ograničavanje lokalnog oštećenja nekog elementa ili materijala. Zaštita se najčešće svodi na postavljanje debljeg netkanog geotekstila gdje je glavni kriterij za izbor masa geotekstila i njegova sposobnost zaštite podložnog geosintetika (geomembrana). Od geosintetika u funkciji mehaničke zaštite očekuje se da spriječi oštećenje štićenog materijala zbog opterećenja kojima je izložen tijekom cijelog životnog vijeka. Učinkovitost zaštite protiv oštrih neravnina podloge, ispune ili pokrovnog tla ovisi o debljini geosintetika i njegovoj masi po jedinici površine, kao i njegovoj otpornosti na probijanje zbog udara i opterećenja tlakom [8].

3.4. Geosintetički drenovi za vodu i plinove

Dreniranje tekućina i plinova u odlagalištu otpada najčešće se obavlja korištenjem prirodnih zrnatih materijala kao što su šljunak i pijesak, ali može se obaviti i ugradnjom tzv. geosintetičkih ili geokompozitnih drenova.

Geokompozit je tvornički pripremljen proizvod kojeg tvore dvije ili više komponenti od kojih je barem jedna geosintetik. Svrha proizvodnje geokompozita je dobivanje proizvoda kojemu je olakšan i ubrzan proces njegove ugradnje, a pri tome konačni proizvod ima i bolja svojstva čvrstoće, propusnosti itd. nego što bi bio slučaj kod pojedinačne ugradnje komponenti koje tvore geokompozit [1].

Geosintetički ili geokompozitni drenovi se najčešće izrađuju od geotekstila i georešetke [8].



Slika 8. Geokompozit - georešetka i geotekstil koji zajedno čine geosintetički dren [12]

Georešetka je geosintetik koji se sastoji od paralelnih setova rebara postavljenih povrh drugih sličnih setova pod različitim kutovima, s kojima su integralno povezani. Georešetke imaju relativno malu čvrstoću, a primjenjuju se za dreniranje tla odnosno kao dio geokompozita kao u primjeru prikazanom na slici 8 [8].

Geocijevi su cijevi izrađene od polimera koje se koriste za provođenje različitih tekućina (voda, otpadne vode, ulja, druge tekućine) i plinova. Izrađuju se od HDPE ili PVC-a u različitim promjerima i strukturi ovisno o njihovoj svrsi. Stijenka cijevi može biti čvrsta i glatka ili korugirana u obliku rebara spojenih u poprečnom smjeru [8].

Funkcija dreniranja obuhvaća skupljanje i odvodnju oborina, podzemnih voda i/ili tekućina u ravnini geotekstila i geotekstilu srodnih proizvoda. Kako bi geosintetik postao dren, mora se omogućiti tečenje unutar njega pa se zbog toga od njega zahtijeva određena propusnost ili potencijal otjecanja vode u njegovoj ravnini – to se često naziva transmisivnost. Najčešće se za ovu funkciju koriste geodrenovi i georešetke, a moguće je koristiti i geotekstile kod kojih mogućnost otjecanja u ravnini ovisi o njegovoj debljini pod normalnim opterećenjem nadsloja.

Drenažni sustavi mogu se sastojati od jednog elementa ili skupa elemenata koji sadrži minimalno jedan filtarski sloj i jedan sloj za procjeđivanje koji upija tekućinu i odvodi je. U inženjerskoj primjeni, drenažni sustavi s ugrađenim cijevima za drenažu su često omotani geotekstilom kako bi se osiguralo filtarski stabilno odvajanje od okolnog tla i hidraulička efikasnost. Geosintetički drenažni sustav sastoji se od površinskog sloja – filtra, kroz koji voda prodire u dren i drenažnog sloja koji odvodi vodu tečenjem kroz ravninu drena.

Kod funkcije dreniranja, najznačajnija svojstva su propusnost u ravnini bez normalnog naprezanja i s normalnim naprezanjem na dren. Ako geosintetik ne posjeduje odgovarajuću tlačnu čvrstoću, može doći do smanjenja debljine, što direktno utječe na sposobnost dreniranja [8].

3.5. Geomreže

Geomreže su geosintetički materijali koji su izrađeni od polimernih materijala kao što su polietilen, poliester i polipropilen. Glavna funkcija geomreža je ojačanje odnosno osiguranje vlačne čvrstoće konstrukcijama kojima je ista neophodna. Geomreže mogu biti tkane, toplinski spojene iz traka ili ekstrudirane.

Prvotne geomreže proizvedene su bušenjem rupa u plahti materijala. Danas se takve geomreže rade tzv. postupkom ekstruzije. To je postupak u kojem se u materijalu buše rupice, a zatim se materijal razvlači ovisno o veličini otvora oka geomreže koji želimo. U novije vrijeme, razvojem tehnologije i istraživanjem, nastali su novi tipovi geomreža koje se proizvode drugačijim postupcima i imaju druge namjene. Tako danas imamo geomreže od poliesternih vlakana obloženih polietilenom. Kod ovog procesa se mnoštvo neprekinutih vlakana spaja u nit. Nit se tada tka u uzdužnom i poprečnom smjeru s određenim razmakom između rebara. Preklopi se dodatno učvršćuju, a vrši se i oblaganje vlakana. Postoje i geomreže od poliesternih ili polietilenskih traka koje se spajaju laserom ili ultrazvukom [8].

Prema nosivosti, geomreže se dijele na mreže nosive u jednom, dva ili više smjerova. Geomreže nosive u jednom smjeru, odnosno jednoosne geomreže, imaju veliku čvrstoću u smjeru duljine role (smjer proizvodnje) te se najviše koriste za izvedbu potpornih zidova od armiranog tla, nosivih platformi i armiranog tla na pokosima nasipa. Dvoosne geomreže ili geomreže nosive u dva smjera, imaju veliku čvrstoću u dva smjera i koriste se kod točkastog/ lokalnog djelovanja opterećenja. Troosne geomreže imaju značajnu nosivost u radijalnim smjerovima i koriste se, kao i dvoosne, kod točkastog djelovanja opterećenja [8].

Geomreže se proizvode kao monolitne, pletene i spajane. Kod monolitnih geomreža najčešće korišteni polimeri za proizvodnju su polietilen visoke gustoće (HDPE) za jednoosne geomreže, a za dvoosne polipropilen (PP). Monolitne geomreže proizvode se postupkom bušenja prefabricirane folije i njezinog rastezanja uz kontroliranu temperaturu i deformaciju sve do postizanja rešetkastog oblika i tražene čvrstoće čvorova. Rastezanje se može vršiti u jednom smjeru za jednooosne geomreže i u dva smjera za dvoosne [8].

Pletene geomreže, s obzirom na raspon proizvoda, najraširenije su na tržištu, a njihova prednost u odnosu na druge vrste je fleksibilnost. Proizvode se od poliesterskih vlakana, najčešće PET, koja se potom međusobno pletu te tako tvore rebra koja se u čvorovima mogu fizički spajati ili koja se u čvorovima isprepleću. Lijepljene geomreže su vrlo krute i imaju veliku čvrstoću, ovisno o razmaku rebara i čvrstoći čvorova. Proizvode se tako da se prethodno proizvedene trake polažu okomito jedna na drugu tako da tvore mrežu, te se spojevi potom lijepe/ vare posebnim patentiranim postupcima [8].



Slika 9. Geomreža [12]

U odlagalištima otpada geomreže se najčešće koriste za ojačanje bočnih pokosa ispod otpada kao i za ojačanje pokrova u zonama iznad geomembrane (slika 1) [3]. U geotehničkom inženjerstvu one se najčešće upotrebljavaju za ojačanje i stabilizaciju slabo nosivog tla. Kod ovog slučaja materijal čija je veličina frakcije veća od otvora oka mreže se nasipa na geomrežu te dolazi do uklještenja materijala u otvorima geomreže i nastaje sustav otporan na vanjske sile.

Geomreže se najčešće koriste u pokrovnom zaštitnom sustavu odlagališta kako bi pokrovna konstrukcija mogla preuzeti vlačna naprezanja do kojih može doći zbog diferencijalnih slijeganja odloženog otpada [1]. A kako se odlagališta ponekad smještaju u napuštene kamenolome, često je potrebno urediti strme stijenske pokose kako bi se što bolje iskoristio prostor za odlaganje otpada.

3.6. Geopletiva i geoćelije za zaštitu od erozije

Geopletivo je trodimenzinalna, propusna struktura, načinjena od polimernih niti i /ili drugih elemenata (sintetičkih ili prirodnih), koji su mehanički i/ili termički i/ili kemijski i/ili na drugi način spojeni (slika 10). Koriste se za zaštitu od erozije ili, ako se spoje/oblože geotekstilom, za dreniranje. Nemaju značajniju ni vlačnu ni tlačnu čvrstoću pa ih je potrebno pričvrstiti na pokos [8].



Slika 10. Geopletivo [8]

Geoćelija je trodimenzionalna, propusna, polimerna (sintetička ili prirodna), saćasta ili slična ćelijska struktura, izrađena od međusobno povezanih traka geosintetika (slika 11). Koriste se za zaštitu od erozije, kada se prostor među plohama ispunjava tlom te kao nosive strukture koje se mogu polagati i horizontalno i vertikalno. Potrebno je voditi računa o čvrstoći spojeva, naprezanjima kojima su izložene (vlačna naprezanja, tlačnim naprezanjima na strukturu u vertikalnom smjeru) i uvjetima izvedbe [8].



Slika 11. Različiti oblici geoćelija [8]

Geosintetički materijali poput geopletiva i geosaća mogu se koristiti kao zaštita od površinske erozije pokrova na odlagalištima otpada. Površinska erozija može izazvati oštećenja i nestabilnosti koja mogu dovesti do sloma/klizanja pokrova odlagališta. Erozija može nastati zbog djelovanja atmosferilija i vjetra. Za situacije gdje je manja opasnost od erozije, i vegetativni pokrov je sam po sebi dovoljan kao zaštita. Geosintetici se mogu koristiti da potpomognu njegov rast u vidu sintetičkih ili prirodnih materijala koji se postavljaju na ili ispod površine [8].

3.7. Tehnička problematika uporabe geosintetika u odlagalištima otpada

3.7.1. Ugradnja geomembrane

Tehnički ispravna i pažljiva ugradnja geomembrane (GM) je od ogromne važnosti za osiguranje očekivanog funkcioniranja temeljnog i pokrovnog zaštitnog sustava u pogledu izolacije odlagališta od okoliša odnosno sprječavanja emisije onečišćenja. Životni vijek valjano projektirane geomembrane može potencijalno trajati i nekoliko stotina godina pod uvjetom da je ugradnja izvršena prema pravilima struke i usvojenim principima upravljanja kvalitetom pri takvim radovima. Problemi kod ugradnje i eventualno nastala oštećenja su glavni ograničavajući faktori u pogledu funkcioniranja geomembrana [3].

Površina tla na odlagalištu na koju se GM rasprostire treba biti odgovarajuće pripremljena. Tlo treba biti zbijeno pri optimalnom sadržaju vlage na projektom predviđenu gustoću, a površina ravna bez utora ili tragova strojeva dubljih od 25 mm. Zrna koja eventualno strše iz površine tla mogu biti maksimalno veličine oko 12 do 25 mm za HDPE GM [6].

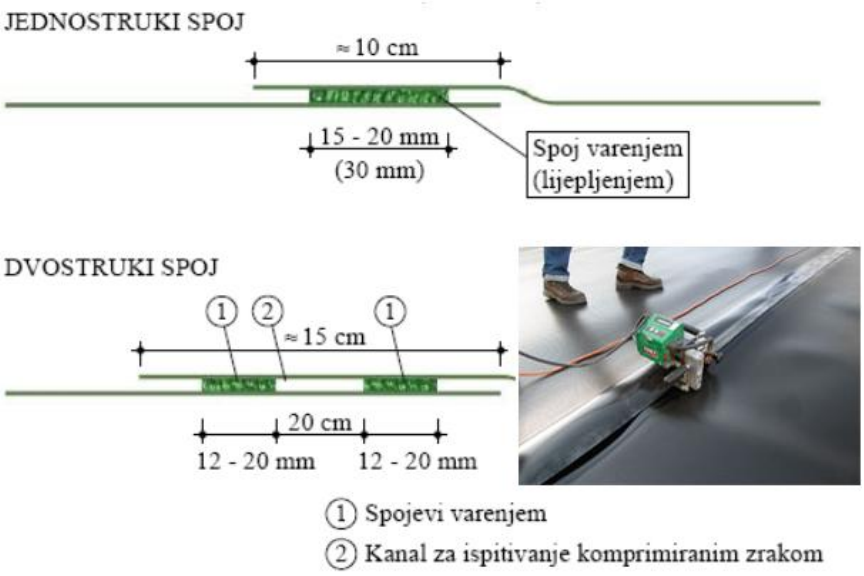
Oprema i postupak ugradnje GM ne smije uzrokovati rastezanje, nabiranje ili oštećenje GM. Eventualno nastala oštećenja (rupice, brazde i slično) treba odgovarajuće sanirati (zakrpe). Rasprostire se samo onoliko rola koliko je moguće u istom danu učvrstiti i međusobno spojiti. Radi sprječavanja podizanja geomembrane djelovanjem vjetra potrebno je koristiti vreće punjene pijeskom koje se ravnomjerno rasporede duž postavljene GM. Na položenoj GM ne smiju se kretati strojevi.

Spojevi trebaju biti u smjeru paralelno s linijom maksimalnog nagiba. Na mjestima gdje se spojevi pojavljuju u smjeru okomitom na nagib, gornja rola treba prekriti donju. Postupci nanošenja i rasprostiranja materijala iznad geomembrane trebaju osigurati minimalno boranje i spriječiti nastanak vlačnih naprezanja u geomembrani.

GM se moraju spajati u skladu s preporukama proizvođača. GM se obično spaja metodom vrućeg spajanja (zavarivanja) s ispitnim kanalom (Slika 12).

Vlažne površine GM-a treba temeljito osušiti, očistiti od prašine i prljavštine. Uputno je napraviti probne spojeve varenjem u terenskim uvjetima i to samo na dijelovima geomembrane koji će se kasnije odstraniti kao višak. Uzorak probnog spoja duljine

minimalno 1 m i širine oko 0,5 m se uzima radi ispitivanja mehaničkih svojstava spoja u laboratoriju. Rezultati ispitivanja moraju odgovarati zahtijevanoj čvrstoći spoja. Izvedeni spojevi trebaju biti odgovarajuće ispitani na neprekinutost (kontrola tlačnom probom) [6].



Slika 12. Način spajanja geomembrana

Geomembranu treba što prije prekriti zaštitnim geotekstilom i prekrivnim tlom kako bi se izbjegla oštećenja uslijed UV zračenja i dr.

3.7.2. Ojačanje konstrukcije

Ojačanje konstruktivnih elemenata odlagališta otpada postiže se ugradnjom geomreža ili geotekstila odgovarajućih vlačnih svojstava (vlačne čvrstoće i krutosti). Pri tome se iskorištava vlačna čvrstoća i krutost geosintetika kako bi se povećala nosivost i smanjile deformacije konstrukcije. Kako bi se aktivirala vlačna čvrstoća geosintetika, neophodna je njegova deformacija. Iskorištavanjem krutosti geosintetika javlja se interakcija tlo-geosintetik, pri čemu se posmična sila prenosi na geosintetik i time se rasterećuje tlo. Najznačajnija svojstva geosintetika za funkciju ojačanja su vlačna čvrstoća – kratkotrajna i dugotrajna te pripadajuća deformacija.

Vlačna čvrstoća geosintetika se može umanjiti zbog djelovanja UV zračenja, oštećenja prilikom ugradnje, puzanja, kemijskih, bioloških i drugih utjecaja, što treba uzeti u obzir u proračunu [8].

3.7.3. Posmična čvrstoća na kontaktima različitih geosintetika i geosintetika s tlom

Kut trenja odnosno posmična čvrstoća na površini kontakta različitih geosintetika kao i kontakta geosintetika i tla predstavlja kritični parametar o kojem ovisi stabilnost izvedene konstrukcije. Tijekom izvedbe odlagališta o tome treba strogo voditi računa i prema potrebi izvršiti ispitivanja posmične čvrstoće kritičnih kontaktnih površina [1].

U tablici 2 navedeni su tipični rasponi kuta trenja za kontakte različitih geosintetika i tla kao i kontakte među različitim geosinteticima.

Tablica 2. Parametri posmične čvrstoće na kontaktima geosintetik-tlo i geosintetik-geosintetik [3]

GEOSINTETIK - TLO	
Geomembrana (HDPE) - pijesak	ϕ = 15 ° do 28°
Geomembrana (HDPE) – glina	ϕ = 5° do 29°
Geotekstil – pijesak	ϕ = 22° do 44°
Geosintetička glinovita barijera – pijesak	ϕ = 20° do 25°
Geosintetička glinovita barijera – glina	ϕ = 14° do 16°
Hrapava geomembrana HDPE – zbijena glina	ϕ = 7° do 35° c' = 20 do 30 kPa
Hrapava geomembrana HDPE – sitan šljunak	ϕ = 20° do 25°
Hrapava geomembrana HDPE – pijesak	ϕ = 30° do 45°
Geotekstil - glina	ϕ = 15° do 33°
GEOSINTETIK - GEOSINTETIK	
Georešetka – Geomembrana (HDPE)	ϕ = 6° do 10°
Geomembrana (HDPE) – Geotekstil	ϕ = 8° do 18°
Geotekstil – Georešetka	ϕ = 10° do 27°
Geosintetička glinovita barijera – Hrapava geomembrana HDPE	ϕ = 15° do 25°
Geosintetička glinovita barijera – Geomembrana (HDPE)	ϕ = 8° do 16°
Geosintetička glinovita barijera – Geosintetička glinovita barijera	ϕ = 8° do 25° c' = 8 do 30 kPa
Hrapava geomembrana HDPE - Georešetka	ϕ = 10° do 25°
Hrapava geomembrana HDPE - Geotekstil	ϕ = 14° do 52°

4. Zaključak

Geosintetici su građevni proizvodi koji se proizvode od sintetičkih polimera odnosno sadržavaju ga u barem jednom svom dijelu, a koriste se u tlu i drugim materijalima pri geotehničkim, hidrotehničkim i ostalim građevinskim i ekološkim zahvatima. Sastavni su dio odlagališta otpada, odnosno postali su nezaobilazan materijal u izgradnji odlagališta otpada.

Geosintetici u odlagalištu otpada imaju zadaće: sprječavanja širenja procjedne tekućine i plinova iz otpada u okoliš, zaštite odlagališta od oštećenja i površinske erozije, sprječavanja međusobnog miješanja različitih vrsta tla te prikupljanja i evakuacije oborinskih voda, procjedne tekućine i plinova koji nastaju u odlagalištu.

Ispravno korištenje geosintetika u odlagalištu otpada podrazumijeva poznavanje mehanizma po kojima se realiziraju određene zadaće, materijala koji svojim svojstvima moraju odgovarati tim zadaćama i tehnikama izvedbe uz pomoć geosintetika. Zahvaljujući svojstvima geosintetika spriječena su onečišćenja podzemlja ispod odlagališta otpada.

Zbog svoje dugotrajnosti i otpornosti, te pozitivnim učincima koji se očituju u njihovoj efikasnosti, ekonomičnosti i ekološkoj sigurnosti, geosintetici imaju veliku primjenu u izgradnji odlagališta otpada.

5. Popis literature

[1] Kavur, B. Geosintetici. Elementi odlagališta otpada. Nastavni materijali za kolegij Geotehničko-ekološki zahvati. Geotehnički fakultet u Varaždinu, ak.god. 2016/17.

[2] Zornberg, J.G. & Christopher, B.R. (1999). Geosynthetics. Chapter 27, The Handbook of Groundwater Engineering, Jacques W. Delleur (Editor-in-Chief), CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

[3] Bouazza, A., Zornberg, J.G., Adam, D. (2002). Geosynthetics in waste containment facilities:Recent advances. State-of-the-Art-Keynote Paper. Proc. of the 7th Int. Conf. on Geosynthetics. Nice, France, Sept, 22-27, 2002. A.A. Balkema. Vol. 2. p. 445-510.

[4] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada, (2015). Narodne novine [21.10.2015.]

[5] https://hrcak.srce.hr/file/124730 Datum pristupa 15.07.2017.

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

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

[8] Mulabdić, M., Kaluđer, J., Minažek, K., Matijević, J. (2016). Priručnik za primjenu geosintetika u nasipima za obranu od poplava. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek.

[9] http://www.idealnidom.com/gradjevinarstvo/proizvod/3325/tkani-geotekstil Datum pristupa 15.07.2017.

[10] http://www.gradimo.hr/blobs/stickies/22137666-5171-4f0c-8c50-a9fc803212e6.jpg Datum pristupa 15.07.2017.

[11] Perić, Mulabdić (2013). Pregled kriterija za izbor geotekstila za filtar. str. 43-55.

[12] http://www.geotekstili.com/pdf/Prospekt_geosintetici.pdf. Datum pristupa 15.07.2017.

6. Popis slika

Slika 1. Presjek odlagališta otpada projektiranog s višestrukom uporabom geosintetika

Slika 2. Presjek temeljnog zaštitnog sustava

Slika 3. Presjek pokrovnog zaštitnog sustava

Slika 4. Komercijalni GCL proizvodi

Slika 5. Spajanje GCL-a preklapanjem

Slika 6. Tkani geotekstil

Slika 7. Netkani geotekstil

Slika 8. Geokompozit - georešetka i geotekstil koji zajedno čine geosintetički dren

Slika 9. Geomreža

Slika 10. Geopletivo

Slika 11. Različiti oblici geoćelija

Slika 12. Način spajanja geomembrana

7. Popis tablica

Tablica 1. Pregled različitih tipova geosintetika i njihovih funkcija

Tablica 2. Parametri posmične čvrstoće na kontaktima geosintetik-tlo i geosintetik- geosintetik

8. Popis kratica

GM – (eng. geomembrans) geomembrana

HDPE –(engl. High Density PolyEthylene) polietilen visoke gustoće

PVC – (eng. Polyvinyl chloride) polivinil klorid

GCL – (eng. geosynthetic clay liner) geosintetička glinovita barijera (bentonitni tepih)