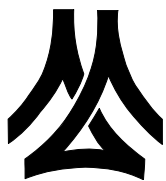


TEEHOIUTÖÖDE TEHNOLOOGOLISED JUHISED
GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE JUHIS

Kinnitatud Maanteeameti peadirektori
29.12.2006. a käskkirjaga nr 264

2006-26



MAANTEEMET

Tallinn 2006

Kinnitatud
Maanteeameti peadirektori
29. detsembri 2006. a
käskkirjaga nr 264

Eessõna

Käesolev juhispõhine on valminud Maanteeameti ja TTÜ teedeinstituudi vahel 21.12.2005.a sõlmitud lepingu

GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE JA MULDKUHA REMONDI PROJEKTEERIMISE JUHISDE KOOSTAMINE

lõpparuande alusel.

Teadustöö lõpparuande koostajad:

1. Prof. Andrus Aavik – lepingu vastutav täitja;
2. Üliõpilane Madis Padu – geosünteedide kasutamine;
3. Emeeritus Maano Koppel – AASHTO katendi arvutusmeetod.

SISUKORD

LK

	<u>GEOSÜNTEETIDE KASUTAMINE TEE MULDKEGA EHTAMISEL</u>	4
1.	GEOSÜNTEETIDE TOOTMINE JA FUNKTSIONAALSED OMADUSED	4
1.1.	Geosünteedide tootmine	4
1.1.1.	Geotekstiilid	5
1.1.2.	Geovõrgud	7
1.1.3.	Geomembraanid	8
1.1.4.	Geosünteedidest toodetud materjalid	10
1.2.	Geosünteedide funktsioonid	11
1.2.1.	Filtreerimine	12
1.2.2.	Eraldamine (separeerimine)	13
1.2.3.	Tugevdamine (armeerimine)	14
1.2.4.	Tasapinnaline vool	18
1.2.5.	Vedeliku- või gaasitõke	20
1.3.	Geosünteedide omadused	20
1.3.1.	Geosünteedide omaduste jaotus ASTM'i alusel	21
1.3.2.	Geotekstiilide omaduste jaotamine vastavalt kasutustingimustele Euroopa Standardi alusel	22
2.	GEOSÜNTEEDI VALIK JA KASUTAMINE	24
2.1.	Muldesse sobiva geotekstiili valik eraldamiseks ja filtreerimiseks spetsifikatsiooni-profiili alusel	24
2.1.1	Põhjamaade klassifikatsioonisüsteem	25
2.1.2.	Saksa geotekstiilide klassifikatsioonisüsteem	26
2.1.2.1.	Paigalduspingete klassifitseerimine	27
2.1.2.2.	Täitematerjali ja koormuste klasside kombinatsioonil sobiva geotekstiili spetsifikatsiooniprofiili leidmine	28
2.2.	Geosünteedide kasutamine tugevdamiseks	29
2.2.1.	Geosünteedi arvutus silindrilisele lihkele	31
2.2.2.	Armeeritud muldkeha kontroll täitematerjali libisemisele	35
2.2.3.	Muldkeha vertikaalne deformatsioon	37
2.3.	Geosünteedite kasutamine muldkeha dreenimiseks ja filtreerimiseks	37
2.3.1.	Geotekstiili ummistuskindlus	39
2.3.2.	Geotekstiili veeläbilaskvus (filtratsioonimoodul)	39
2.4.	Geosünteedide paigaldamine mulde ehitamisel	40
3.	AASHTO KATENDI ARVUTUSMEETOD	42
3.1.	AASHTO projekteerimismeetod geovõrgu kasutamisel	44
4.	KOKKUVÕTE	48
	KASUTATUD INFORMATSIOONIALLIKAD	49

GEOSÜNTEETIDE KASUTAMINE TEE MULDKEHA EHTAMISEL

Geosünteedid on Dr Jean Pierre Giroud välja mõeldud mõiste kindlale materjaligrupile. Tegemist on sünteetiliste materjalidega, mida kasutatakse maa- ja vesiehitistel. Nende kasutuspiirkonnast on tulnud ka materjaligrupile eesliide geo, mis tähendab maa, pinnas [7].

Geosünteedid jagatakse:

- geotekstiilid,
- geovõrgud,
- geomembraanid,
- geosünteetilised savivahekihid ja
- geokomposiidid.

Käesoleval ajal normeerivad Eestis muldkeha projekteerimist maanteede projekteerimismid ja ehitamise kvaliteeti teehoiutööde tehnoloogianõuded. Ükski Eesti normatiivdokument ei käsitle geovõrkude, -tekstiilide ja -membraanide kasutamise tehnoloogilisi aspekte mullete ehitamisel. Samas on Euroopa Liit kehtestanud terve rea nõudeid geosünteedide omadustele ja kasutamistingimustele, mis on võetud või võetakse lähiajal kasutusele Eesti Vabariigi standarditena.

Seni ei ole Eestis geosünteede mullete rajamisel kasutatud, mida on näha ebaühtlaselt vajunud ja pragunenud teekatendist. Kuna lähiaastatel on oodata teede remondi käigus uute mullete rajamist, olemasolevate mullete remonti ja laiendamist, siis osutub aktuaalseks vastavate juhiste koostamine erinevate geosünteedide rakendamiseks teedeehituses. Geosünteedid võimaldavad vähendada ehituskulusid ja rajada teid nõrkadele pinnastele.

Käesolevas teadustöös kasutatakse mitmete erinevate autorite ja institutsioonide uurimistöid geosünteedidest ning nendest on välja toodud olulisemad seisukohad, mis ühtivad Eesti regionaalsete eripärasustega ja käibel olevate teedeehituslike põhitõdedega.

1. GEOSÜNTEETIDE TOOTMINE JA FUNKTSIONAALSED OMADUSED

1.1. Geosünteedide tootmine

Geosünteede toodetakse enamasti polümeerplastidest [7]:

- polüpropüleenist,
- polüestrist,
- polüetüleenist,
- polüvinüülist või
- polüamiidist.

Polümeere on kasutatud viimased nelikümmend aastat, kuid siiani ei teata veel nendest toodetud geosünteedide omadusi mõjutavaid kõiki tegureid. Füüsikalisi omadusi mõjutavatest teguritest on teadaolevad:

- otsene päikesevalgus (ultraviolettkiirgus);

- kuumus (kuum asfalt on kõrgema temperatuuriga, kui mõnede polümeeride sulamistemperatuur);
- madal temperatuur (väga madala temperatuuri juures muutuvad polümeerid hapraks);
- pH-tase (vette või vett sisaldavasse keskkonda paigaldatud polüestrid lagunevad kõrge ja polüamiidid madala pH-taseme mõjul);
- tugevalt keemiline keskkond.

Materjalide füüsikalisi ja keemilisi omadusi saab mõjutada, kasutades erinevaid lisandeid. Geosünteesides kasutatavad polümeerid on enamasti töödeldud stabiliseerivate, oksüdeerimis- ja ultraviolettkiirgusevastaste lisanditega, mis segatakse polümeeridele sulatusstaadiumis [3].

Peale keemilise omaduste parendamise saab geosünteeside omadusi muuta ka mehaaniliselt, valides erinevaid mooduseid sulanud polümeerist kiudude formeerimiseks [3].

Konkreetses geosünteesi valikul teatud konstruktsiooni tuleb kindlasti teada materjali, millest on vastav geosüntees toodetud. Igal erineval geosünteesi tootmiseks kasutataval polümeeril on oma konkreetsed omadused, mida saab kasutada konstruktsioonile esitatavate vastavate tehniliste nõuete täitmiseks. Näiteks savikate pinnaste armeerimisel osutub kõige soodsamaks variandiks geosüntees, mis on toodetud polüestrist, kuna antud polümeer omab head vastupidavust roomamisele. Tabelis 1 on esitatud enamkasutatavate polümeeride omadused [14].

Tabel 1

Polümeeride omadused [14]

	Roomamiskindlus	Keemiline vastupidavus	Stabiilsus ultraviolettkiirgusele
Polüpropüleen	Keskmine	Väga hea	Hea
Polüetüleen	Keskmine	Väga hea	Hea
Polüester	Kõrge	Hea	Keskmine

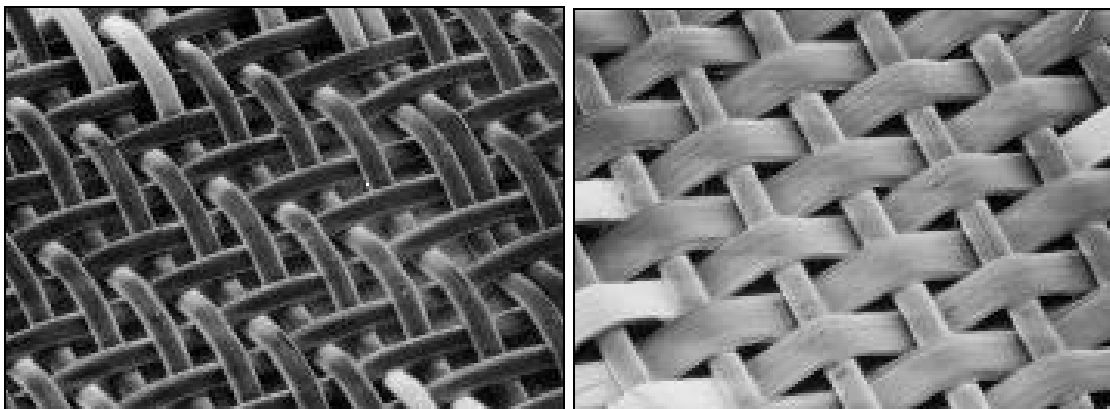
Järelikult geosünteesi valikul tuleb kontrollida sünteesi tootmiseks kasutatud polümeeri sobivust ümbritseva keskkonna tingimustega ning valida võimalikest variantidest parim.

1.1.1. Geotekstiilid

Geotekstiile jaotatakse nende tootmise tehnoloogia järgi kootud ja mitte kootud geotekstiilideks.

Kootud geotekstiile toodetakse kangastelgedel. Nad omavad enamasti sirgjoonelist ülesehitust. Tootmisel paigaldatakse lõimelõngad kogu kanga pikkuses kindlate vahedega ning kanga kude lisatakse lõime vahele kindel arv kordi sentimeetri kohta. Seega kanga kudumise korrapärasus on kontrollitud ja kanga struktuur ühtlane kogu materjali ulatuses [3]. Erinevaid kanga kudumi mustreid võib eksisteerida lõpmatult palju, see ei avalda mõju kanga tugevusomadustele [7].

Kootud tekstiile toodetakse, kas peenikeseks lõigatud polümeerkile ribadest (lapikud) või siis mono- ja multikiudsetest niitidest (ümarad) (joonis 1). Kootud tekstiilid on õhemad võrreldes mittekootud geotekstiilidega [6].



Joonis 1 Kootud geotekstiilid [22]

Niided ei ole kootud geotekstiilides enamasti omavahel kinnitatud, mistõttu kootud tekstiilide struktuurane püsivus sõltub nende kudumistihedusest. Kanga kudumistihedus peab olema suur, et kasutada kogu kangas olevate kiudude tugevusomadusi ning tagada maksimaalne püsivus erisuunalistele pingetele. Kanga kudumistihedusest sõltuvad niitidevaheliste avauste mõõtmed, milledest omakorda sõltuvad geotekstiili veejuhtimisvõime ning poorsus [14].

Kootud geotekstiilidel on kõrged tugevusomadused ja väike venivus. Kootud geotekstiili omadusi saab muuta eeltingestades kudumise ajal teatud kindlas suunas olevaid niite.

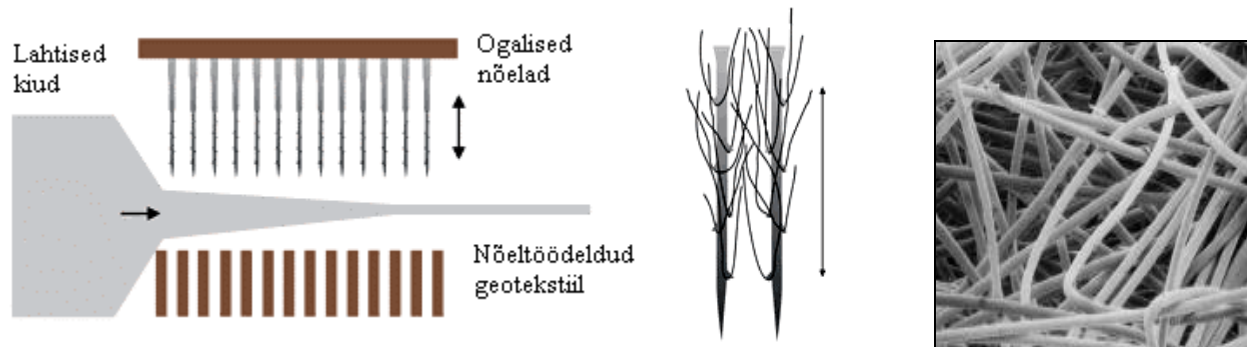
Kootud geotekstiile kasutatakse enamasti pinnaste ja kivimaterjalide armeerimiseks ja nende kihtide eraldamiseks, kuna nende veeläbilaskvusomadused on piiratud kiudude tiheda kokkupakkimise tõttu kudumis. Erandiks on spetsiaalne polüpropüleen kiududest toodetud tekstiil, kus mono- ja multikiudsete niitide kasutamise tõttu on eriti tõhusa pinnase- või kivimaterjaliosakeste (peenosiste) kinnipidamise võime juures saavutatud maksimaalne veeläbilaskvus.

Mittekootud geotekstiilid on üldjuhul paksemad kui kootud geotekstiilid. Nende tootmisprotsess algab samuti kiudude moodustamisega sulatatud polümeeridest. Kiud kas lõigatakse staapelkiududeks või jäetakse pikkadeks elementaarniitideks. Staapelkiud saadakse elementaarkiudude lõikamisel 75 kuni 150 mm pikkusteks osadeks, mis pakitakse pallideks hilisemaks kasutamiseks geotekstiilide tootmisel.

Geotekstiili valmistamine algab polümeerist kiudude moodustamisel tekkinud pooltahkete elementaarkiudude laotamisel ühtlaselt liikuvale lindile, moodustades sinna vildi taolise kihi. Samuti toimitakse ka staapelkiududega. Viimaste puhul tuleb nende lahti pakkimiseks pallidest läbi viia eelnev kraasimine. Tootmislindile laotatakse kiud enamasti suvaliselt või erandjuhtudel kindlasuunaliselt ühtlase kihina. Nii moodustub võrgustik, mis seotakse geotekstiiliks. Mittekootud geotekstiilid erinevad üksteisest nende tootmisel kasutatud sidumisviide järgi. Enam levinud sidumismeetoditeks on kuum- või nõeltöötlemine.

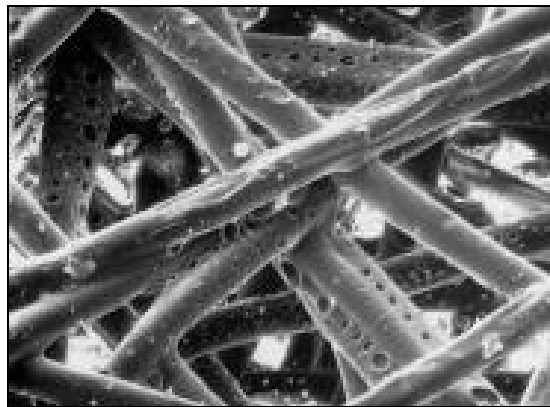
Geotekstiilide tootmisel nõeltöötlemisega surutakse kiududest saadud võrgustikust läbi palju ogalisi nõelu (heegelnõela põhimõte) ja selle protsessi tulemusena seotakse kiud omavahel

mehaaniliselt (joonis 2). Tekib paks vilditaoline materjal, mis sisaldab väga palju poore (poorsus > 90%) ja nõelade moodustatud avausi, mistõttu tal on väga head veejuhtimisomadused [6].



Joonis 2 Nõeltöötlemisel geotekstiilide tootmine ja töödeldud kiud [20, 22]

Kuumtöötlemisel kasutatakse kõrgeid temperatuure ja survet, et siduda kiudude matt tekstiiliks (joonis 3). Kiududest tekkinud võrgustik peab sisaldama eri sulamistemperatuuridega polümeerkiude, mis kuumade rullide vahel omavahel liidetakse. Kuumtöötlemisel saadud geotekstiilid on seega tunduvalt õhemad kui nõeltöötlemisega toodetud kangad, mistõttu nad on tavaliselt halvemate filtreerimisomadustega, aga suurema tõmbetugevusega [6].



Joonis 3 Kuumtöödeldud mittekoatud geotekstiili kiud [22]

Lisaks eeltoodule kasutatakse mittekoatud geotekstiilide tootmisel ka keemilist sidumismeetodit, kus kiude siduv liimaine (vaigud) segatakse kiudmati sisse.

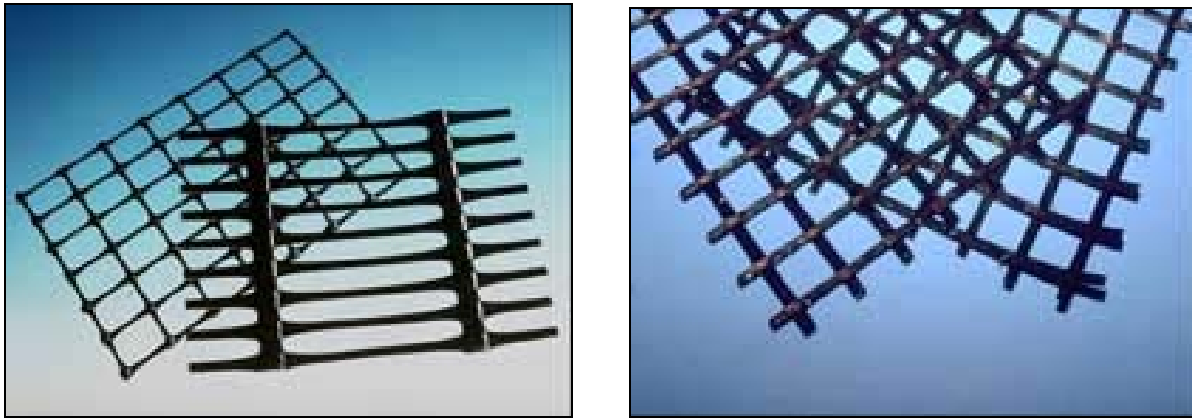
Mittekoatud geotekstiilide kombineeritud sidumismeetodi korral kasutatakse tootmisel rohkem kui ühte eeltoodud meetodit.

1.1.2. Geovõrgud

Geovõrgud on sünteetilised võrgutaolised materjalid, mis koosnevad omavahel seotud paralleelsetest lamedatest ribadest, millede vahel olevad avaused peavad olema piisavalt suured,

et tagada haakumine teda ümbritseva pinnasega või kivimaterjaliga (killustik vms). Geovõrkude peamine tööülesanne on teda ümbritseva pinnase või kivimaterjali armeerimine.

Tootmistehnoloogiate järgi jagunevad geovõrgud: pressitud, kootud, keevitatud (sulatatud) ja komposiitgeovõrkudeks (joonis 4). Põhilisteks geovõrkude valmistamisel kasutatavateks polümeerideks on polüetüleen ja polüpropüleen [18].



Joonis 4 Pressitud geovõrgud ja keevitatud liitekohtadega geovõrgud [22]

Pressitud geovõrgud toodetakse polümeeri lehest, mis töötlemise käigus perforeeritakse ja seejärel venitatakse eri suundades, et parendada saadava võrgu füüsilisi omadusi.

Tootmistehnoloogialt ja kasutuspõhimõttelt jagunevad pressitud geovõrgud omakorda kahte kategooriasse: ühesuunaliselt ja kahesuunaliselt eelpingestatud materjalid. Ühes suunas eelpingestatud geovõrke kasutatakse peamiselt kohtades, kus on teada kindel pingete mõjumise suund, näiteks tugiseinad. Kahes suunas eelpingestatud geovõrkude peamiseks kasutusala on näiteks kattedekihtide armeerimine, kus hilisem pingete jaotus ei ole nii selgelt määratletav.

Kootud geovõrgud valmistatakse polümeerikiudude (enamasti polüpropüleen või polüester) kudumisel [18].

1.1.3. Geomembraanid

Geomembraanide tootmisel kasutatakse kahte põhilist meetodit:

- lameda lehe ekstrudeerimine ehk pressimine;
- puhutud lehe ekstrudeerimine.

Geomembraanide tootmisel lameda lehe ekstrudeerimismeetodil liigub sulatatud polümeerimass mööda tigukonveierit matriitsi, millega pressitakse surve all ühtlane kuum polümeeri leht. Matriitsile järgnevad rullid, mida läbides ühtlustatakse geomembraani omadusi. Saadud materjal on ilma voltimisjälgedeta, peegelsileda tekstuuri ja ühtlaste tugevusomadustega (joonis 5).



Joonis 5 Lameda lehe ekstrudeerimismeetodil toodetud geomembraan [17]

Geomembraanide tootmisel puhutud lehe ekstrudeerimismeetodil puhutakse tigukonveierist tulev sulatatud polümeer ühtlase seinaläbimõõduga membraanballooniks, mis edaspidises töötlemises lõikamise teel muudetakse leheks. Viimases etapis läbib toodetav materjal rullvaltsid, millega ühtlustatakse tema omadusi. Antud meetodil toodetud geomembraanid on ebaühtlaste tugevusomadustega (membraani paksus varieerub 7-15%), iseloomulikud on voltimisjäljed membraani pinnal (joonis 6) [17].

Eeltoodud geomembraanide tootmisviiside tulemusel saadakse sileda pinnafaktuuriga materjalid. Membraanidele kareda pinnastruktuuri andmiseks kasutatakse kolme meetodit:

- Reljeefi pressimine: reljeef pressitakse geomembraani pinda sisse ja seetõttu on tegemist ühe ja sama materjaliga, millel on homogeensed omadused. Antud juhul on võimalik anda membraani mõlemale poolele erinev reljeef, et vähendada geomembraanis tekkivaid pingeid.
- Lisakihi peale pihustamine: membraani peale pihustatakse karestamiseks mõnest muust materjalist lisakiht. Tulemuseks on kareda pinnatekstuuriga geomembraan.
- Koos ekstrudeerimismeetod: koos põhilise membraanikihi materjaliga surutakse (viimasele kareda pinna saamiseks) matriitsi ka lisamaterjali kiht, mis sisaldab gaasi. Koheselt peale materjali matriitsist väljasurumist eraldub pealmisest kihist gaas, tekitades membraani pinnale kareda tekstuuri. Antud meetodi puhul on ohuks, et kuumast pinnamaterjalist eralduvad gaasid võivad kahjustada ka peamist membraanikihti.



Joonis 6 Puhatud lehe ekstrudeerimismeetodil toodetud geomembraan [17]

1.1.4. Geosüntetidest toodetud materjalid

Geotekstiilitorud ehk geotorud on kasutusel suure niiskusesisaldusega materjalidest (muda, süvendamise jäägid) vee eemaldamiseks.

Geotoru valmistamisel õmmeldakse üks või enam hea tugevus- ja filtreerimisomadustega kootud geotekstiili kihti mahuti moodustamiseks omavahel kokku. Mahuti ehk geotoru täidetakse pumpamise teel veega küllastunud pinnasega. Täitmise ajal surutakse toru vee ja pinnase seguga rõhu alla. Survestatud vesi väljub läbi filtreeriva kanga ning geotorudesse jäävad vaid tahked osised moodustades suure pinnasega täidetud mahuti. Geotorudest väljavoolanud vee puhastamise vajadus sõltub kuivatatavast pinnasetüübist, enamasti ei ole vesi reostunud ja ta lastakse tagasi otse loodusesse, vastasel korral on vaja koguda saastunud vesi ning rakendada lisapuhastamist.

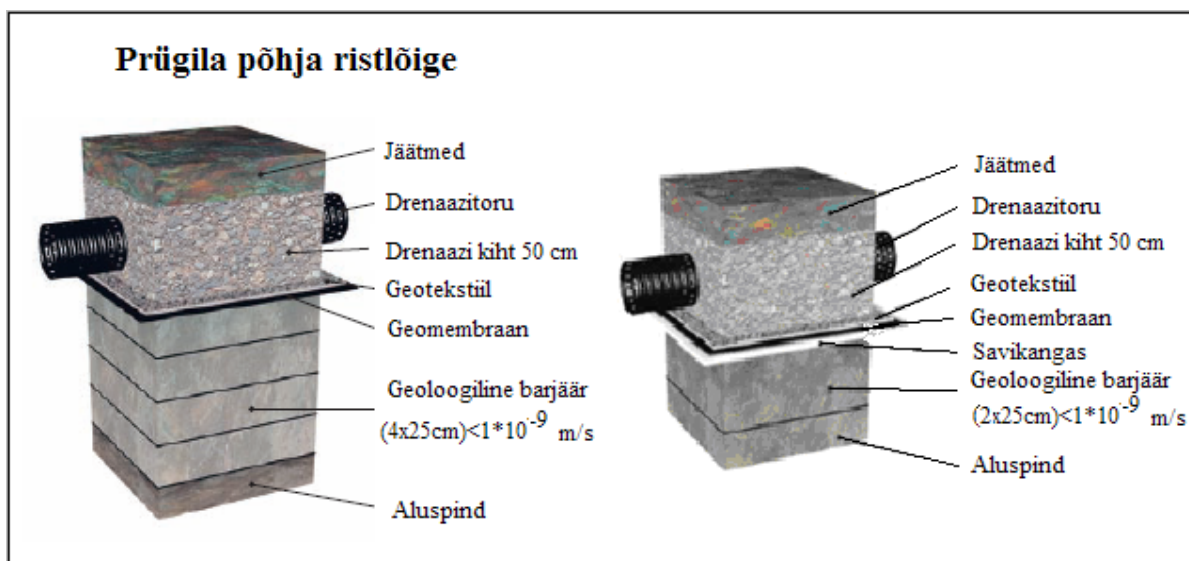
Geotorudest vee väljavoolamisel täitematerjali maht väheneb (kuni 65%) ning seetõttu tuleb neid täiendavalt täita pinnase lisapumpamisega, et kasutada kogu toru mahtu. Pinnaste tihenemisel geotorudes kasvavad pinnaste nihketugevusomadused ning seega võib geotorus kuivatatud pinnas osutada taaskasutatavaks geotehniliste ehitiste rajamisel. Geotorude kasutamine muudab kasutuskõlbmatud veega küllastunud pinnased kasutamiskõlblikuks täitepinnaseks. Täidetud geotorusid on võimalik kasutada näiteks kaldakindlustuste, tammide ja lainemurdjate, ehitamisel.

Geotorud võimaldavad ümber töödelda enamuse suure veesisaldusega jääkmaterjalidest, mis tekivad süvendustöödel, kaevetöödel, reovee puhastamisel ning paberivabrikutes. Geotekstiilitorude kasutamisel saab vältida töömahukate settebasseinide rajamist, olles suure efektiivsusega ning keskkonnasõbralikud. [8, 9]

Geosüntetilised savivahekihid on õhukesed geokomposiitmaterjalid, mis sisaldavad looduslikku naatriumbetoniitsavi pulbrit ja ühte või enamat kihti geosünteti. Nende tootmisel kasutatakse nõeltöödeldud mittekootud ja kootud geotekstiile, mis on ühtlasi ka toodetava materjali kandvaks osaks. Kangakihid, millele vahele paigaldatakse betoniitpulber, seotakse omavahel kas õmblustega või nõeltöötlemise teel. Geotekstiili ülesandeks toodetavas materjalis on fikseerida saviosakesed omavahel ja tugevdada nõrka savikihti [11].

Naatriumbetoniitsavi on looduslik materjal, mida saadakse spetsiaalsetest kaevandustest. Veega kokkupuutumisel seovad saviosakesed endaga vee molekule, mille toimel nad paisuvad kuni kümme korda ning kleepuvad omavahel kokku, moodustades praktiliselt vett mitte läbi laskva kihi.

Geosüntetilisi savivahekihte kasutatakse vedelike ja gaaside liikumise takistamiseks, leides laialdast kasutust keskkonnaobjektide ehitamisel, kus on oluline vältida vedelike ja gaaside imbumist ümbritsevasse keskkonda. Näiteks prügilate ehitusel on võimalik sobiva betoniitkanga kasutamisega asendada paks tihendatud sinisavi kiht (joonis 7).



Joonis 7 Prügilapõhja isoleerimine traditsioonilise mitmekihilise geoloogilise barjääriga ja geosüntetilise savivahekihiga (savikangaga) [20]

1.2. Geosüntetide funktsioonid

Geosüntetid on laialdaselt kasutuses erinevates ehitussektorites: teede-, üld- ja keskkonnaehituses. Geosüntetide põhilisteks kasutusfunktsioonideks on:

- filtreerimine;
- separeerimine ehk eraldamine;
- pinnaste tugevdamine ehk armeerimine;
- tasapinnaline vool ehk drenimine mööda oma pinda;

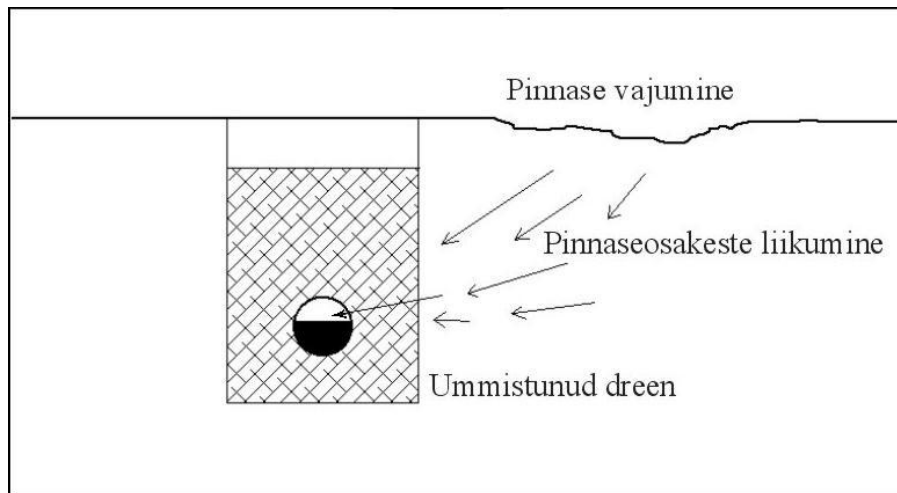
- vedeliku ja gaaside liikumise tõkestamine.

Paigaldatuna täidavad geosünteedid enamasti mitut eelnimetatud ülesannet korraga [6].

1.2.1. Filtreerimine

Geotekstiilide omadust võimaldada vedelikel vabalt voolata risti läbi nende tasapinna, pidades kinni tahked osakesed, nimetakse filtreerimiseks. Geotekstiili ülesande antud funktsiooni juures saab jagada kaheks: mehaaniline eraldamine ja hüdrauliline filtreerimine [14].

Filtreerimis- ja eraldamisfunktsioonide täitmiseks paigaldatakse geotekstiil tavaliselt pinnasekihtide vahele, risti pinnases esinevale veevoolu suunale. Vesi ja vees olevad peenosised, mis on väiksemad geotekstiili pooriava suurusest, voolavad läbi, ülejäänud pinnaseosakeste liikumine läbi geosünteedi on aga takistatud [3]. Et filterkangas täidaks oma funktsiooni normaalset pika aja jooksul, tuleb teda ümbritsevad pinnased korralikult tihendada. Sidumata ja tihendamata pinnastes saavad peenosised vabalt koos veega liikuda. Piisavalt väikese läbimõõduga pinnaseosakesed võivad koos voolava veega läbi geotekstiili pinnastest välja uhtuda, mille tagajärjel filterkangast ümbritsev pinnas võib vajuda, aga ka dren ummistuda (joonis 8) [14].



Joonis 8 Dreeni ummistumine tihendamata pinnase tõttu [14]

Enamlevinumaks kasutuspaigaks filtri funktsiooni täitvale geotekstiilile on drenide ehitus, kus tekstiil mässitakse drenitoru ümbritseva jämedateralise hästifiltreeruva täitematerjali ümber, takistamaks pinnase peenosiste imbumist filtreeruva täitematerjali kihti (joonis 8). Antud juhul takistab geotekstiil filtreeruva materjali pooride täitumist teda ümbritseva pinnase peenfraktsiooniga ja säilitab kuivendussüsteemi töövõime. Geotekstiili võime juhtida vett ei tohi olla väiksem kui pinnasel, millesse ta paigaldatakse, sest konstruktsioon peab võimaldama vetel (ja gaasidel) vabalt liikuda, et ei tekiks märkimisväärset hüdrostaatilise rõhu muutust.

Lisaks eeltoodule kasutatakse filterkangaid veel:

- kaldaerosiooni vältimiseks, kus kaldakindlustuse alla paigaldatud filterkangas takistab pinnaseosakeste uhtumist veekogusse;

- muldkehades koos eraldamise funktsiooniga, võimaldades pinnasevee normaalse liikumise, hoides samas ära täitematerjali pooride täitumise veega koos liikuvate pinnase peenosistega ning tagades muldest välja vee normaalsed äravoolutingimused;
- süvendite nõlvade kindlustamiseks, kus süvendi kaevamise käigus läbi lõigatud pinnasekihtidest välja voolava vee tõttu on suur pinnase ärauhumise ehk erosiooni oht;
- täidetud mulletest ja looduslikest nõlvadest välja voolava pinnavee tulemusel tekkiva erosiooni kaitseks.

Peamised geotekstiilide omadused, mis mõjutavad filtreerimist on:

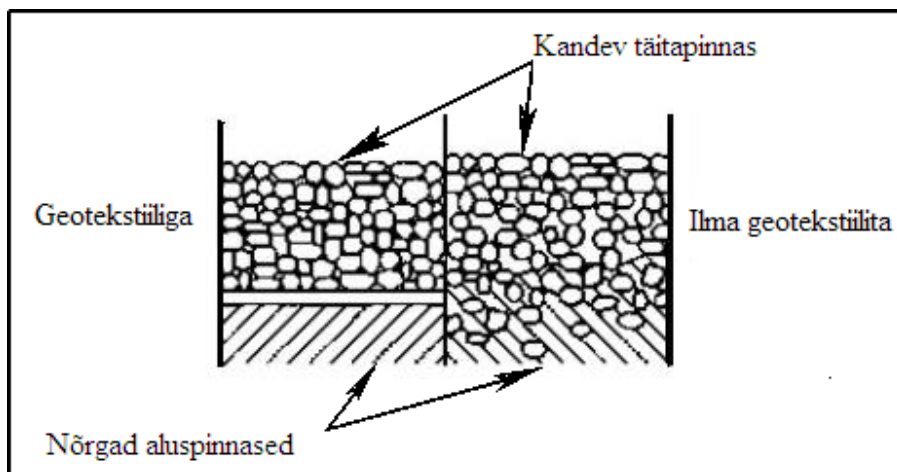
- iseloomulik pooriava suurus (EN ISO 12956),
- vee läbilaskvus pinnaga risti suunal ehk permitiivsus (EN ISO 11058) ja
- ummistuskindlus (ASTM D 5101).

Samas on tähtsad ka materjali üldised tugevusomadused, et vastu pidada paigalduspingetele ehituse käigus ja pikaajalistele koormustele kogu projekteeritud eluea jooksul [3].

Enamus geotekstiili tüüpe sobivad filtratsiooni funktsiooni täitmiseks. Filtreerimiseks sobivad nii kootud kui ka mittekootud geotekstiilid. Peentest kiududest ($\varnothing < 100\mu\text{m}$) toodetud materjalid on rohkem ummistusaldid, mistõttu tuleks filtreerimiseks valida jämedamate kiududest toodetud kangaid. Erandiks on lõigatud (kile)ribadest toodetud geotekstiilid, mida avasuuruse prognoosimatuse tõttu ei soovitata kasutada [14].

1.2.2. Eraldamine (separeerimine)

Eraldamise funktsiooni juures on geosünteedide ülesandeks takistada erinevatel pinnasekihtidel omavahel seguneda (näiteks aluspinnase ja kivimaterjali või kahe erineva kivimaterjali kihi segunemise vältimine) (joonis 9).



Joonis 9 Geotekstiili kasutamine separeerimise eesmärgil väldib täite- ja aluspinnaste omavahelist segunemist [14]

Nõuded separeerimisfunktsiooni täitvatele geotekstiilidele on sarnased filtreerimisfunktsiooniga geotekstiilidele. Suuremad nõuded on vaid punktugevusele (EN 918), kuna eraldusfunktsiooni täitmisel on geosünteedil suurem oht saada mehaaniliselt vigastatud kivimaterjali paigaldamisel ja tihendamisel.

Nõrkade aluspinnaste ja suuri teravaservalisi kive sisaldava kivimaterjali puhul osutub oluliseks karakteristikuks ka separeerivate geotekstiilide venivus (EN ISO 10319). Tihendamisel vajub osa kive pehmesse aluspinnasesse, tekitades eraldavas geotekstiilis suuri kontsentreeritud pingeid, mille tulemusel võib geotekstiili väikese venivuse juures tekkida selle purunemine [14].

Sobiva geotekstiili valikuks on soovitatav kasutada kas põhjamaades levinud klassifitseerimissüsteemi NorGeoSpec 2002 [13] või siis Saksa geotekstiili tugevusklasse GRK [16]. Teades konkreetsetes paigalduskohas olevaid tingimusi, kasutavate kivimaterjalide omadusi ja hilisemaid mõjuvaid koormusi, valitakse nende kombineerimisel geotekstiili spetsifikatsiooniprofiil, mille alusel leitakse toodetavate materjalide hulgast sobiv. Kindlasti ei tohi tähelepanuta jätta kasutatava kivimaterjali ja aluspinnaste drenivaid omadusi. Nagu filtreerimiseks kasutatavate geotekstiilide puhul on ka siin oluliseks kriteeriumiks nõue, et geotekstiili võime vett juhtida ei tohi olla väiksem kui pinnastel millesse ta paigaldatakse. Normaalse veerežiimi peab säiluma hüdrostaatilise rõhu kasvu vältimiseks.

1.2.3. Tugevdamine (armeerimine)

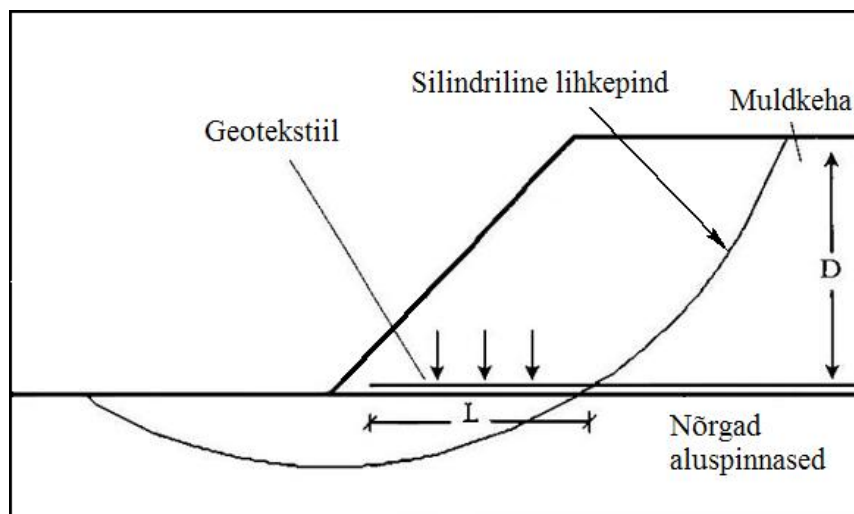
Põhiliselt kasutatakse geosünteede pinnaste tugevdamise otstarbel juhul, kui pinnas oma nõrkade tugevusomaduste tõttu ise ei suuda vastu võtta konstruktsiooni enda koormusest tingitud või ekspluaterimisel tekkivaid tõmbe- ja nihkepingeid. Need kantakse pinnastelt geosünteedile üle tekkivate nake- (haardumine) ja hõõrdejõudude toimel. Kasutades pinnasetöodes armeerimist on võimalik vältida lisakandekihtide ehitamist ning saada majanduslikku kasu minimeerides kandvate kihtide paksust [1].

Muldkeha armeerimist saab vaadelda kui tavalist nõlvapüsivuse juhtumit, kus koormuste korral, mis ületavad aluspinnaste kandevõime, toimub konstruktsiooni deformeerumine mööda silindrilist lihkepinda. Seega on geosünteedi peamiseks ülesandeks võtta vastu koormustest tingitud nihkepinged vältimaks deformatsioonide teket (joonis 10).

Pinnaste tugevdamise funktsiooni täitva sobiva geosünteedi valimisel ei lähtuta ainult tema vastupidamisest paigalduspingetele ning veejuhtimisomadustest, vaid tuleb teha põhjalikud aluspinnase uuringud ning valida konkreetsetesse situatsiooni sobiv geosünteed.

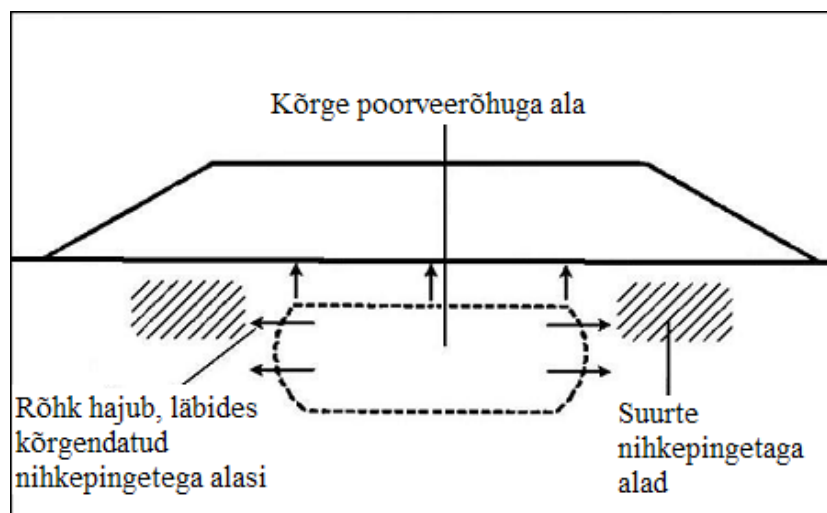
Projekteerimise algstaadiumis tuleb uurida aluspinnaste omadusi ja teha järeldused, kas ehitatav muldkeha:

- vajab permanentset tugevdamist, kuna nõrgad aluspinnased ei suuda kunagi hakata vastu võtma koormustest tingitud pingeid;
- geosünteediga tugevdamine on ajutine, kuni aluspinnased saavutavad mulde koormusest tingitud tihenemisel ise piisava tugevuse tagamaks muldkeha stabiilsuse.



Joonis 10 Geosünteediga (geotekstiil või -võrk) armeeritud muldkeha [14]

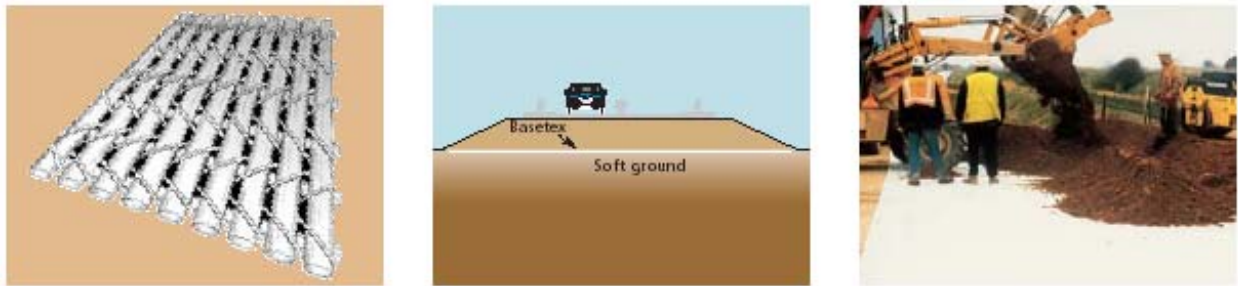
Enamlevinud on olukord, kus pinnased vajavad lisatugevdamist, kuna muldkeha rajamisel aluspinnase ülekoormamise tulemusena kasvanud poorivee rõhu tõttu on aluspinnase kandevõime märkimisväärselt vähenenud. Sellises olukorras on geosünteedi ülesandeks vastu võtta tekkivaid pingeid senikaua, kuni poorivee rõhk normaliseerub ja pinnas saab tagasi oma tugevusomadused. Projekteerimisel tuleb arvestada asjaoluga, et poorivee rõhk väljub muldkeha all olevatest pinnastest külgede kaudu ning seega läbib ta mulde servade all olevaid väga suurte nihkepingetega alasid (joonis 11), mille tulemusel liiga nõrkade geosünteedide kasutamine võib viia kogu mulde (ebaühtlase) vajumiseni [14].



Joonis 11 Muldkeha tekitatud koormusest tingitud vee kõrge poorirõhu väljumine aluspinnastest [14]

Armeerimisfunktsiooni täitval geosünteedil peab olema suur tõmbetugevus (EN ISO 10319) suhteliselt väikese venivuse juures vältimaks konstruktsiooni hilisemat kujumuutust, aga ka head roomavus- (EN ISO 13431) ning vastupidavusnäitajad (ENV ISO 12960, ENV ISO 13438, ENV 12447, EN 12225) seoses kasutatava geosünteedi pikaajalise tööeaga.

Eeltoodud omaduste loetelu ja praktiliste näidete põhjal võib järeldada, et armeerimiseks ei sobi mittekoatud geotekstiilid oma suurte venivusomaduste tõttu. Antud funktsiooni juures leiavad kasutust koatud geotekstiilid, sest neil on väikesed roomavus- ja venivusnäitajad (joonis 12). Üldjuhul aga kasutatakse koatud geotekstiilide kalli hinna tõttu geovõrke eraldi või koos mittekoatud geotekstiilidega (joonis 13). Sellises liitkonstruktsioonis täidavad geosünteedid lisaks armeerimisele ka filtreerimise ja eraldamise funktsioone.



Joonis 12 Suure tugevusega geosünteed nõrga aluspinnase armeerimiseks [23]

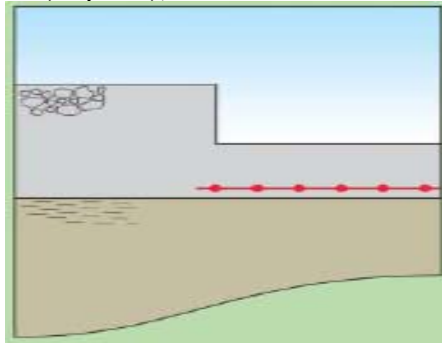


Joonis 13 Geovõrk ja geokomposiit (võrk+tekstiil) nõrga aluspinnase armeerimiseks [23]

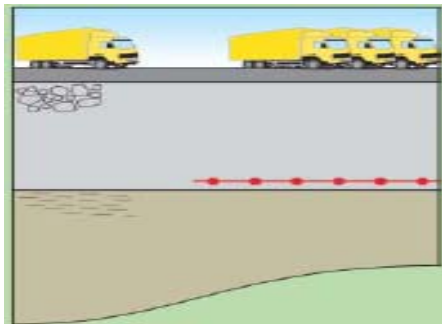
Geovõrgu ja killustiku koostöös tekib nn „lukustatud“ struktuur, kus killustikuterad tungivad võrgu avadesse ja „lukustuvad“ seal. Lukustuv süsteem aitab vähendada hilisemaid nihkumisi ja täitematerjali laialivajumist.

Pinnase geovõrkudega armeerimise põhilised tulemused [23]:

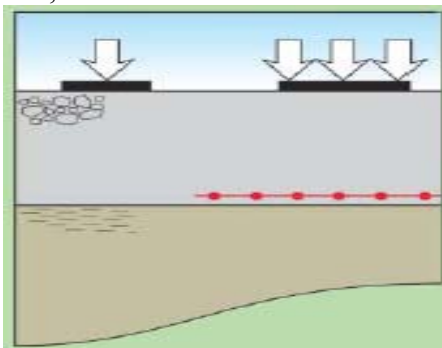
- Kihipaksuse vähendamine (vt p.1.3);



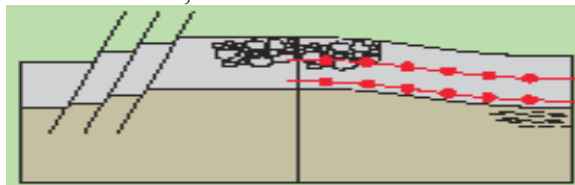
- Tööea pikendamine;



- Kandevõime suurendamine;



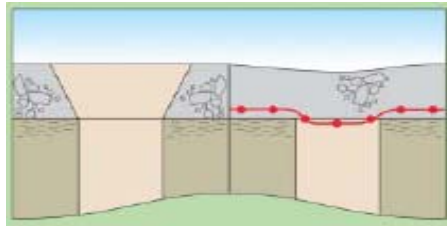
- Vajumite erinevuse ärahoidmine;



- Lokaalsete nõrkade kohtade katmine;

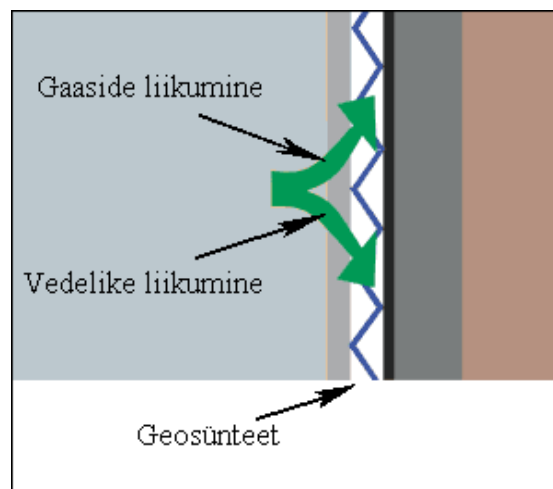


- Tühimike sillutamine.



1.2.4. Tasapinnaline vool

Geosünteedi omadust juhtida vett ja gaase mööda oma tasapinda vaadeldakse eraldi funktsioonina ja seda nimetatakse tasapinnaliseks vooluks ehk dreenimiseks mööda oma tasapinda. Erinevates situatsioonides peab kasutatav materjal koguma risti oma tasapinnaga endasse sade- ja pinnaseveed ning juhtima need mööda oma tasapinda vastavatesse kogumiskohtadesse või, vastavalt ette nähtud funktsioonile, olema ka suuteline oma tasapinnas koguma ja juhtima gaase pinnastest välja (joonis 14) [1].



Joonis 14 Vedelike ja gaaside liikumine pinnastes [20]

Tasapinnalise voolu funktsiooni omavate geosünteedide kasutusalaadeks on:

- Tasapinnalised dreenid pinnastest liigse vee välja juhtimiseks, mille tulemusena väheneb mulde pinnase koormamisel tekkiv hüdrostaatiline rõhk ja paraneb kandevõime [3].
- Vertikaaldreenid tihenemis- või vajumisprotsessi kiirendamiseks. Selleks paigaldatakse vastava seadmega pikad tahikujulised dreenid pinnasesse ning koormatakse viimane üle. Vertikaaldreenid aitavad vähendada kokkusurutud pinnastes tekkivat poorirõhku ning kiirendavad konsolidatsiooniprotsessi [1].

- Heade tasapinnalise voolu omadustega geosünteeid paigaldatakse geomembraanide vastu kontrollimaks pinnasevee taset ning ära juhtima membraani vastu kogunevaid gaase [14].

Kasutades geotekstiile drenidena, tuleks valida suhteliselt paks mittekoatud materjal, millel on head drenivad omadused mööda oma tasapinda. Parema tasapinnalise voolu tagamiseks on välja töötatud spetsiaalsed geokomposiitmaterjalid, mis koosnevad heade tasapinnaliste veejuhtimisomadustega monokiudsest südamikust ja vähemalt ühest separeerimis-/filtreerimisfunktsiooni täitavast geotekstiili kihist (joonis 15).



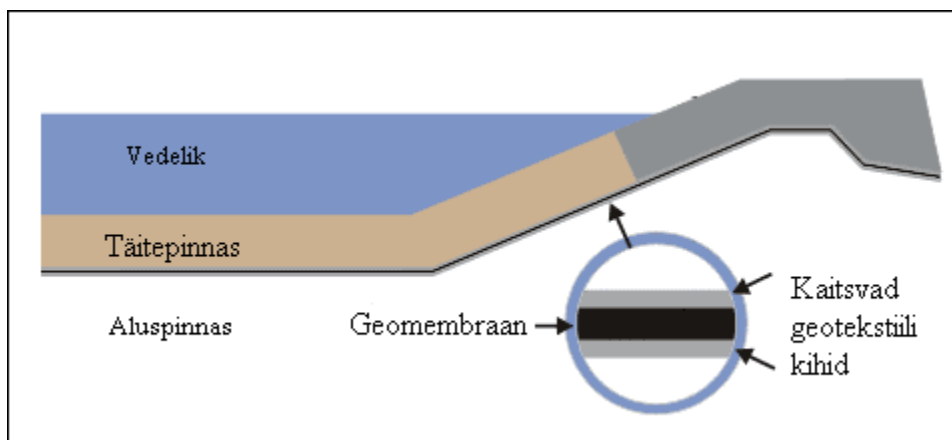
Joonis 15 Hea tasapinnalise voolu omadusega geokomposiitmaterjalid [20]

Projekteerides дренаazisüsteemi, mis põhineb geosünteedi tasapinnalisel voolul, on oluline peale tasapinnalise veevooluhulga (EN ISO 12985) näitaja jälgida ka selle materjali filtreerimis- ja eraldusfunktsioonideks vajalikke omadusi. Peamiseks riskiks on geosünteedi pikemaajalise eksploatatsiooni käigus ilmnedu võiv tekstiili pooride ummistumine. Seetõttu kasutatakse geosünteedide tasapinnalist voolu enamasti lühiajaliste rakenduste korral. Näiteks hoitakse ehituse käigus kiire pinnase koormamise juures ära pinnase poorides tekkiva (vee või gaasi) rõhu kasv [3].

1.2.5. Vedeliku- või gaasitõke

Keskkonnatundlikes piirkondades ja kohtades, kus ehitus võib tugevalt saastata ümbritsevat loodust (näiteks: prügimäed), tuleb kasutada erinevaid vahendeid aluspinnaste ning põhjavee kaitsmiseks. Vedelike ja gaaside mittesoovitud liikumise vältimiseks kasutatakse geosünteeilisi materjale: geomembraane, geosünteeilisi savivahekihte, aga ka tavalisi geotekstiile, millede poorid on täidetud vett mittejuhtiva materjaliga (näiteks bituumeniga) [15].

Geosünteede kasutatakse vedelikutõkkena ka puhtaveekogude rajamisel (joonis 16). Sel juhul pole geosünteedi vedelikutõkke nõuded nii karmid, sest mõningane puhta vee imbumine aluspinnastesse ei kujuta endast ohtu keskkonnale ega ka veekogule (veekaod aurustumise teel on kindlasti suuremad kui lekete kaudu) [14].



Joonis 16 Geomembraan vedelikutõkkena [20]

Kasutades geomembraane vedelikkude või gaaside liikumise takistamiseks pinnasekihtide vahel, mis sisaldavad membraani kahjustada võivaid suuremaid teravaid osiseid, tuleb kasutusele võtta meetmed membraani kaitsemiseks.

Vedelikutõkkeks vajaliku geomembraanist konstruktsiooni rajamisel on tavaliselt tarvis paigaldada lisaks ka geotekstiil, mille ülesandeks vastavalt situatsioonile on:

- Tugevdamine – vähendamaks geomembraanile mõjuvaid koondatud pingeid. Antud juhul oleks geotekstiili ülesandeks võtta vastu pinnastelt üle kantavad tõmbepinged ning suuremate pinnaseosakeste poolt tekitatud koondatud pinged, samas töötada ka kui polstrikiht, vähendades väikeste ebataasasuste mõju geomembraanile.
- Dreenimine – hoidmaks vett mittejuhtiva kihi läheduses pinnasevee taset kontrolli all. Siinkohal kasutatakse geotekstiili tasapinnalise voolu funktsiooni juhtimaks geomembraani suruv vesi ära dreenidesse.
- Gaaside hajutamine – heade tasapinnalise voolu omadustega geotekstiile kasutatakse geomembraani vastu tekkivate gaasieraldiste kogumiseks ja väljajuhtimiseks.
- Hõõrde parendamine – vältimaks geomembraanide paigaltnihkumist (näiteks nõlvadel), paigaldatakse pinnase ja membraani vahele heade hõõrdeomadustega geotekstiil [14].

Valmistades ette aluseid geomembraani paigaldamiseks, tuleb pinnase ebataasasused viia miinimumini, nii et polstrina töötav ja membraani kaitsev geotekstiili kiht elimineeriks allesjäävate konaruste mõju.

Vedeliku- või gaasitõkkekihi sihipärase ning korrektse funktsioneerimise tagamiseks ei piisa kõrvalasetsevate paanide ülekattega paigaldamisest, vaid paanide liitekohad tuleb omavahel kokku keevitada või sulatada.

1.3. Geosünteedide omadused

Liikluse all olevate objektide ehitamisel kasutatavate geosünteedide kolm põhilist funktsiooni on:

- filtreerimine,

- eraldamine,
- tugevdamine.

Et leida toode, milline sobib kõige paremini kindla eeltoodud funktsiooni täitmiseks, tuleb määratleda nende nõutavad tugevusomadused ja tehnilised nõuded [19].

1.3.1. Geosünteedide omaduste jaotus ASTM'i alusel

ASTM'i (American Society of Testing and Materials) standardi järgi peavad geosünteedid omama kolme funktsionaalset omadust [6]:

- Tugevus - geosünteedid peavad vastu pidama paigaldamisel tekkivatele pingetele;
- Funktsioneerimine - peavad funktsioneerima vastavalt projekteeritule kogu töötamisea jooksul;
- Vastupidavus - peavad funktsioneerima objekti keskkonnas kuni projekteeritud töötamisea lõpuni.

Tugevusomaduste alla liigitatakse:

- pinnaühiku mass - materjali mass;
- paksus - mõõdetakse kindla surve all, mõõtes risti materjaliga;
- katketõmbetugevus ja -venivus - kindla laiusega materjaliriba kiudude purunemistugevus, venivus on proovi esialgse pikkuse ja purunemispikkuste võrdlus;
- torketugevus ehk punktugevus - geosünteedi vastupidavus tõmbi otsaga esemega läbistavusele;
- trapetsiline rebenemispurunevus - jõud, mida on vaja rebenemise jätkamiseks, kui see on juba alanud.

Geosünteedide funktsioneerimist iseloomustavad näitajad on:

- suure laiuse tõmbetugevus - laia proovitüki tõmbetugevus, mis annab täpsema ühesuunalise tõmbetugevuse väärtuse projekteerimiseks;
- õmblustugevus - kokkuõmmeldud geosünteedika tõmbetugevus suhteliselt laiale proovitükile;
- hõõre - libisemise vastupanu mõõt kahe kihi vahel;
- näiv avamõõt - USA standardsõela mõõt, mis on lähim filtreeriva geotekstiili suurimale avale;
- läbitavus - vool normaalsuunas läbi materjali;
- läbijuhtimisvõime ehk tasapinnaline vool - geosünteedika võime juhtida vedelikke oma tasapinnas.

Geosünteedikute vastupidavusomadused on:

- keemiline vastupidavus - lagunemiskindlus keemilistele lahustele;
- stabiilsus ultraviolettkiirgusele - võime säilitada tugevus tugevas UV-keskkonnas;
- ummistumiskindlus - pinnase ning geosünteedika moodustatud konstruktsiooni võime säilitada pikaajaline vool läbi süsteemi ilma märkimisväärse voolu vähenemiseta;

- bioummistuskindlus - pinnasest ning geosüntetikast moodustatud konstruktsiooni võime säilitada pikaajaline vool läbi süsteemi ilma märkimisväärse voolu vähenemiseta bioloogilise kasvu tingimustes;
- roomavus - ajast sõltuv geosüntetika deformatsioon konstantse koormuse juures;
- kulumiskindlus - pinna võime vastu seista hõõrde poolt tekitatavale kulumisele.

Erinevate funktsioonide projekteerimisel ei ole vaja teada kõiki eelnimetatud karakteristikuid. Projekteerijad peaksid täpsustama vaid neid geosünteedi omadusi, mis rakenduvad ainult peamise projekteeritava funktsiooni täitmisel. Funktsioonile vastavad vajalikud karakteristikud ASTM standardi järgi on ära toodud [tabelis 2](#).

1.3.2. Geotekstiilide omaduste jaotamine vastavalt kasutustingimustele Euroopa Standardi alusel

Euroopa Standardi EN 13249:2001 alusel tuleb teatud kindlat funktsiooni täitvale geotekstiilile määrata konkreetseid omadusi iseloomustavate karakteristikute suurused. Erinevate funktsioonide puhul on nõutavate karakteristikute loetelu erinev.

Geotekstiilide omadused ja nende olulisus teatud kasutamiskeskkonnas juures ning vastavad katsemeetodid on esitatud [tabelis 3](#).

Omaduste olulisust ehk määramisvajadust väljendatakse järgmiselt:

- H – karakteristikud, mis on kohustuslikud määrata,
- osutada antud materjali vastupidavusele pideva koormuse korral.
- A – karakteristikud, mis on vajalikud,
- S – karakteristikud, mis on vajalikud eriolukorras,
- „–“ – karakteristikud, mida antud funktsiooni juures ei ole vaja määrata.

Seega kõik Euroopas kasutatavate geotekstiilide sertifikaadid peavad sisaldama vastavalt oma kasutusfunktsioonile [tabelis 3](#) toodud karakteristikuid. Siiski esineb mõningaid erandeid,

Karakteristikud, mis on EN 13249 järgi vajalikud eriolukorras ([tabel 3](#)) [4] :

- Õmblustugevuse andmete äratoomine spetsifikatsioonides on vajalik juhul, kui antud geotekstiili paigaldamisel kasutatakse mehaanilist liitmist (õmblus, keevis).
- Staatilise punktugevuse andmed on vajalikud filtratsiooni funktsiooni puhul neile geotekstiilidele, mida kasutatakse kohtades, kus materjali paigaldamisel võib tekkida läbitorke oht.

Tabel 2

Geosünteedi funktsioonile vastavad vajalikud karakteristikud [6]

Funktsionaalsed omadused	Funktsioonile vastavad vajalikud karakteristikud					
	Eraldamine	Filtreerimine	Tugevdamine e. armeerimine	Tasapinnaline vool	Kaitse	Vedelikutõke
Tugevusomadused	katketõmbetugevus	katketõmbetugevus	katketõmbetugevus	katketõmbetugevus	katketõmbetugevus	katketõmbetugevus
	venivus	venivus	venivus	venivus	venivus	venivus
	punkttugevus	punkttugevus	punkttugevus	punkttugevus	punkttugevus	punkttugevus
	rebenemistugevus	rebenemistugevus	rebenemistugevus	rebenemistugevus	rebenemistugevus	
Funktsioneerimine	mass	läbitavus	suure laiuse tõmbetugevus	paksus	mass	bituumeni peetus
	hõõre	näiv avamõõt	õmblustugevus	läbijuhtimisvõime	paksus	
		hõõre	hõõre	hõõre	suure laiuse tõmbetugevus	
					hõõre	
Vastupidavus	kulumiskindlus	kulumiskindlus	roomavus	keemiline vastupidavus	keemiline vastupidavus	
	keemiline vastupidavus	bioummistumiskindlus	keemiline vastupidavus			
		ummistumiskindlus				
		keemiline vastupidavus				

Tabel 3

Geosünteedide funktsioonid, karakteristikud ja katsemeetodid [4]

Nr	Omadus	Katsemeetod	Funktsioon		
			Filtratsioon	Eraldamine	Tugevdamine
1	Tõmbetugevus	EN ISO 10319	H	H	H
2	Venivus maksimumkoormusel	EN ISO 10319	A	A	H
3	Õmblustugevus	EN ISO 10321	S	S	S
4	Punkttugevus staatiline	EN ISO12236	S	H	H
5	Punkttugevus dünaamiline	EN 918	H	A	H
6	Hõõre	prEN ISO 12957-1:1997 ja prEN ISO 12957- 2:1997	S	S	A
7	Roomavus	EN ISO 13431	-	-	S
8	Paigalduse käigus tekkivad kahjustused	ENV ISO 10722-1	A	A	A
9	Iseloomulik pooriava suurus	EN ISO 12956	H	A	-
10	Vee läbilaskvus pinnaga risti suunal	EN ISO 11058	H	A	A
11	Vastupidavus		H	H	H
11.1	Vastupidavus ilmastikule	EN 12224	A	A	A
11.2	Vastupidavus keemilisele lagunemisele	ENV ISO 12960 või ENV ISO 13438, ENV 12447	S	S	S
11.3	Vastupidavus mikrobioloogilisele lagunemisele	EN 12225	S	S	S

- Hõõrde karakteristikud on vajalikud, kui geotekstiili kasutamisel toimuvad tema ja teda ümbritseva materjali (pinnas) vahel erisuunalised liikumised.
- Roomavuse andmed tuuakse välja tugevdamise funktsiooni täitva geotekstiili kohta, et osutada antud materjali vastupidavusele pideva koormuse korral.

2. GEOSÜNTEEDI VALIK JA KASUTAMINE

Järgnevas peatükis käsitletakse sobiva geosünteedi valimist, lähtudes paigalduspingetest ning arvutuslikest tugevus- ja veejuhtivusnõuetest, ning geosünteedide kasutamist mulde ehitamisel.

2.1. Muldesse sobiva geotekstiili valik eraldamiseks ja filtreerimiseks spetsifikatsiooni-profili alusel

Teekonstruktsioonide ehitamisel kasutatakse geosünteede eraldamise eesmärgil erinevate pinnaste omavahelise segunemise vältimiseks, mille tulemusena säilivad teekonstruktsiooni tugevuse seiskohalt sellised olulised näitajad nagu kandva kihi paksus, terastikuline koostis ning tema struktuurne püsivus. Jämedad ja peeneteralised pinnased segunevad muldes

ehitamise ja eksploatatsiooni käigus koormuste liikumise tulemusel tekkiva „pumba efekti” tõttu, kus koormuse liikumisel tõusevad aluspinnase peenosised jämedama terakoostisega täitepinnase pooriavadesse. Geosünteedide kasutamine muldkeha ehitamisel nõrkadele pinnastele võimaldab vältida nn „pumba efekti” tekkimist ning ühtlasi võimaldab vähendada täitematerjali kogust ruutmeetritele [6].

Geosünteedide kasutamisel muldkeha ehitamisel täidab sünteetiline vahekiht konstruktsioonis lisaks eraldamisele pea alati ka filtreerivat funktsiooni. Sellisel juhul tõkestab geosünteet mehaanilist osakeste segunemist ja aluspinnase peenosiste liikumise koos veega, peatades tahked materjaliosakesed, samas lubades vedelikel liikuda vabalt.

Erinevate maade spetsialistid on välja töötanud geosünteedide klassifikatsioonisüsteemid, et konkreetse ehitussituatsiooni sobiva geosünteedi valimisel ei tuleks alati teostada kohapealseid katsetusi. Nende klassifikatsioonisüsteemide järgi saab valida, teades rajatava konstruktsiooni aluspinnaste ja täitematerjalide omadusi ning ehitus- ja eksploatatsioonikoormuseid, paigaldatavale geosünteedile sobivat spetsifikatsiooniprofiili. Tabelist leitud spetsifikatsiooniprofiilile vastavate omaduste väärtuste võrdlemisel toodetava materjali omadustega on võimalik leida konkreetse olukorda sobivaim geosünteet.

2.1.1. Põhjamaade klassifikatsioonisüsteem

Põhjamaade Tööstusfond on välja töötanud Põhjamaade süsteemi maanteedel kasutatavatele geotekstiilidele nõuete määramiseks ja kontrolliks NorGeoSpec 2002 [13]. Antud dokumendis kirjeldatud spetsifikatsiooniprofiilidest saab aluspinnase ja täitematerjali omaduste, ehitustingimuste ning teele esitatavate kvaliteedinõuete kombinatsiooni alusel valida konkreetsele situatsiooni sobiva pinnaste eraldamiseks ja filtreerimiseks mõeldud geosünteedi.

Kõik kasutatavad geosünteedid peavad vastama EN 13249 „Geotekstiilid ja geotekstiilidega seotud tooted - teede ja muude liiklusalade ehitamisel kasutamiseks vajalikud karakteristikud” [4] esitatud nõuetele. Tabelis 4 on toodud geosünteedide omadusnäitajate väärtused spetsifikatsiooniprofiilidesse jaotamisel ja vastava näitaja väärtuse hälbe lubatavad maksimumväärtused. Hälve määratakse tootja poolt. Kõik tabelis esitatud väärtused on vastavad 95%-lisele tõenäosusele.

Geotekstiili valimiseks spetsifikatsiooniprofiili alusel jagab NorGeoSpec aluspinnased, ehitus- ja eksploatatsioonitingimused järgmiselt:

- Aluspinnase tüüp:
 - *pehme* – pehmed savid nihketugevusega ≤ 25 kPa ning turvas;
 - *kõva* – keskmine ja jäik savi nihketugevusega > 25 kPa ning liiv ja kruus.
- Ehitustingimused:
 - *tavalised* – juhul kui tingimustes on kaks või enam järgnevat olukorda: raske ehitusaegne liiklus, nurgeline ja terav purustatud täitematerjal, rasketehnikaga vibrotihendamine, ehitustranspordi liikumine täitekihtidel paksusega vähem kui 300 mm;
 - *soodsad* – täitematerjalid maksimaalse terasuurusega < 200 mm ja kihipaksusega $> 1,5$ maksimaalse tera läbimõõtu.
- Liiklussagedus:

- *kõrge* – keskmise ja kõrge liiklusedusega teed (rohkem kui 500 sõidukit ööpäevas);
- *madal* – madala liiklusedusega teed (vähem kui 500 sõidukit ööpäevas)

Lähtudes eeltoodud tingimustest saab valida sobiva geotekstiili spetsifikatsiooniprofiili (tabel 5).

Tabel 4

Geosünteedide omadusnäitajate väärtused spetsifikatsiooniprofiilidesse jaotamisel [13]

Omadus	Maksimaalne hälve	95%-lisele tõenäosusele vastavad nõutavad väärtused				
		Spetsifikatsiooniprofiilid				
		1	2	3	4	5
Minimaalne tõmbetugevus (kN/m)	-10%	6	10	15	20	26
Minimaalne venivus maksimumkoormusel (%)	-20%	15	20	25	30	35
Maksimaalne diameeter koonuse langemiskatses (mm)	20%	42	36	27	21	12
Minimaalne deformatsioonienergia indeks (kN/m)		1,2	2,1	3,2	4,5	6,5
Minimaalne kiiruse indeks (10^{-3} m/s)	-30%	3	3	3	3	3
Maksimaalne iseloomulik pooriava suurus (mm)	$\pm 30\%$	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15
Maksimaalne massihälve pinnatühikule		$\pm 12\%$	$\pm 12\%$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
Maksimaalne tugevus staatilisel punktugevuskatsel		-10%				

Tabel 5

Spetsifikatsiooniprofiili valik [13]

Aluspinnas	Ehitus-tingimused	Liiklusedus	Maksimaalne täitematerjali terasuurus D_{max} (mm)			
			$D_{max} < 60$	$60 < D_{max} < 200$	$200 < D_{max} < 500$	$D_{max} > 500$
Pehme	Tavaline	Kõrge	3	4	3	5
		Madal	3	4	3	5
	Soodne	Kõrge	3	3	4	5
		Madal	2	3	4	4
Kõva	Tavaline	Kõrge	2	3	3	4
		Madal	2	2	3	3
	Soodne	Kõrge	2	2	3	3
		Madal	2 (I^*)	2	2	3

* Spetsifikatsiooniprofiili 1 võib kasutada ajutise liiklusega teedel, juurdepääsuteedel või teistel sarnase liikluseiselooga teedel

2.1.2. Saksa geotekstiilide klassifikatsioonisüsteem

Alates 1980. aastast on Saksamaal kasutusel geotekstiili tugevusklassifikatsioon Geotextilrobustheitsklasse GRK [16].

GRK puhul on tegemist geotekstiili omadustest sõltuva spetsifikatsiooniprofiiliga, mis jaotas geotekstiilid nende mehaanilisele deformatsioonile vastupidavuse järgi algselt nelja erinevasse klassi, hiljem (1994) muudeti see seoses Põhjamaade ettepanekul viieklassiliseks. GRK põhineb staatilise punktugevuse näitajale (EN 12236) mittekoatud geotekstiilide ja tõmbetugevuse näitajale (EN 10319) kootud geotekstiilide puhul. [19]

Erinevat tüüpi geotekstiilide tugevusklasside nõutud punktugevuse, tõmbetugevuse ja pinnaühiku massi väärtused (95%-line tõenäosus) on esitatud tabelis 6.

Tabel 6

Geotekstiilide tugevusklassidesse jaotamine [16]

Geotekstiili tugevusklassid	Geotekstiilid					
	Mittekoatud		Lõigatud kileribadest (slitfilm) kootud		Mitmeniidiline (multifilament) kootud	
	Punktugevus (kN)	Pinnaühiku mass (g/m ²)	Tõmbetugevus ⁽¹⁾ (kN)	Pinnaühiku mass (g/m ²)	Tõmbetugevus ⁽²⁾ (kN)	Pinnaühiku mass (g/m ²)
GRK 1	≥0,5	≥80	≥20	≥100	≥60	≥230
GRK 2	≥1,0	≥100	≥30	≥160	≥90	≥280
GRK 3	≥1,5	≥150	≥35	≥180	≥150	≥320
GRK 4	≥2,5	≥250	≥45	≥220	≥180	≥400
GRK 5	≥3,5	≥300	≥50	≥250	≥250	≥550

⁽¹⁾ märgitakse katse väiksem väärtus masina suunal / risti masina suunal

⁽²⁾ tõmbetugevus masina suunal toote puhul, millel on suured tugevusomadused masina suunal ja väga väikesed risti masina suunal

2.1.2.1. Paigalduspingete klassifitseerimine

Konkreetsesse tingimustesse sobiva geotekstiili valikul kasutatakse geotekstiili tugevusklasse, hinnates kasutatavaid täitematerjale ja geotekstiili koormatust.

Täitematerjalide hindamisel jagatakse need viieks eri tüübiks, lähtudes täitematerjali terasuurusest, -karedusest ja –teravusest.

Tabelis 7 on esitatud geotekstiilide katmiseks kasutatava täitematerjali klassifikatsioon.

Tabel 7

Täitematerjali klassifikatsioon [16]

Klassid	Täitematerjali tüübid
AS1	täitematerjal, mis ei mõjuta tekstiili valikut
AS2	ümarakujuline jämedateraline või segatud terastikulise kooslusega täitematerjalid, ei sisalda purustatud kive
AS3	AS2 kus on ≤40% purustatud kive
AS4	AS2 kus on ≥40% purustatud kive
AS5	AS4 100% purustatud teravaservalised suured kivid

Praktikas esinevad kõrvalekalded tabelis 7 antud klassifikatsioonist:

- teravanurkseid teri sisaldava purustatud täitematerjali kasutamisel tuleb antud klassifikatsioonist valida ühe võrra kõrgem klass;
- jämedateralise aluspinnase korral tuleb valida ühe võrra kõrgem klass;
- kasutades täites kivimaterjale jämedateralise materjali peal, puudub vajadus kasutada eraldi geotekstiilist vahekihti;
- kui täitematerjal on rohkem kui 40% teravaservalisi kive, on soovitatav teostada vastavad katsetused ehitusplatsil [19].

Koormuste hindamisel vaadeldakse geotekstiilile paigaldamisel ja ehitustööde käigus mõjuvaid koormuseid. Tabelis 8 on esitatud geotekstiilile mõjuvate koormuste neli alaliiki [16].

Tabel 8

Koormuste klassifikatsioon [16]

Klassid	Geotekstiilie mõjuvate koormuste liigid
AB1	käsitsi paigaldamine ja katmine ilma märkimisväärsete täiteaine tihenemisel geotekstiilile mõjuvate pingeteta
AB2	masinatega paigaldamine ning tihendamine ilma märkimisväärsete ehitusmasinate liikumisest tingitud geotekstiilile mõjuvate pingeteta
AB3	masinatega paigaldamine ning tihendamine koos ehitusmasinate liikumisel tekkivate lubatud 5 kuni 15 cm roobaste tõttu kasvava pingega geotekstiilis
AB4	masinatega paigaldamine koos ehitusmasinate liikumisest tingitud lubatud üle 15 cm roobaste tekkimisel äärmuslikuks kasvavate pingetega geotekstiilis

2.1.2.2. Täitematerjali ja koormuste klasside kombinatsioonil sobiva geotekstiili spetsifikatsiooniprofiili leidmine

Konkreetsesse situatsiooni sobiva geotekstiili valimiseks ehitusobjektile kasutatakse tugevusklassidele vastavaid spetsifikatsiooniprofiile (tabel 6). Teades konstruktsioonis kasutatavat täitematerjali ning ehitamise käigus tekkivaid koormusi, leitakse täitematerjali tüübi (tabel 7) ja koormuste liigi (tabel 8) klass. Nende alusel määratakse tabelist 9 sobiv geotekstiili tugevusklass GRK.

Tabelis 9 esitatud täitematerjali (AS) ja koormuste (AB) klasside kombinatsioonidele vastavad geotekstiilide stabiilsusklassid.

Tabel 9

Geotekstiili stabiilsusklassi määramine [16]

Täitematerjalide klassid	Koormuste klassid			
	AB1	AB2	AB3	AB4
AS1	GRK1			
AS2	GRK2	GRK2	GRK3	GRK4
AS3	GRK3	GRK3	GRK4	GRK5
AS4	GRK4	GRK4	GRK5	(1)
AS5	GRK5	GRK5	(1)	(1)

(1)- nõutud ehitusplatsil kohapealsed katsetused või täitematerjali kihipaksuse suurendamine

2.2. Geosünteedide kasutamine tugevdamiseks

Ehitades teemullet üle nõrkade aluspinnaste, ei piisa vaid üldlevinud ehitustavade järgimisest, kuna need võivad osutada tehniliselt teostumatuteks või liiga kallisteks. Sellises olukorras, kus aluspinnased ei suuda vastu võtta mulde omakaalust või ekspluaterimisest tingitud pingeid, tuleb kasutada lisatugevdamist. Vältimaks ebaühtlasest vajumisest põhjustatud pragude tekkimist katendisse või kogu konstruktsiooni purunemist seoses muldes toimuvate lihetega, tuleks kehvade omadustega aluspinnastele ehitavas muldkehas kasutada geosünteedidega tugevdamist ehk mulde armeerimist.

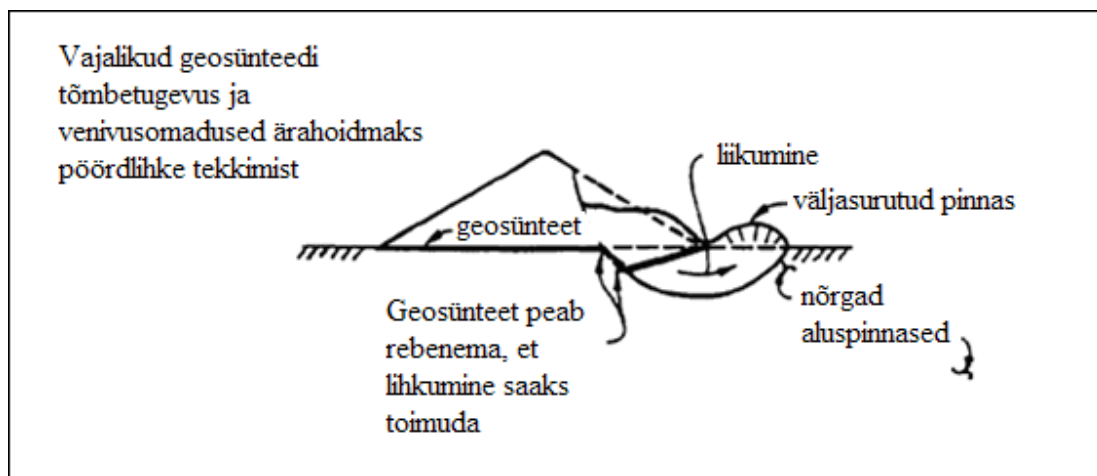
Savikatele ja teistele nõrkadele aluspinnastele ehitatud muldes kahjustuste tekkimine ja purunemine on peamiselt põhjustatud kolmest erinevast sündmusest [3]:

- muldkeha ja aluspinnase purunemine mööda silindrilist lihkepinda;
- muldkeha tasapinnaline (horisontaalne) libisemine ja laialivajumine;
- muldkeha aluse vertikaalne nihkumine.

Vältimaks antud sündmuste tekkimist peab tugevdamise funktsiooni täitev geosünteet tasakaalustama konstruktsioonis tekkivaid jõudusid. Pinged kantakse geosünteedile üle hõõrde- ja nakkejõudude mõjul.

Purunemine mööda silindrilist lihkepinda tekib, kui muldele kantud koormustest ja ta omakaalust tingitud pöördemoment on suurem kui aluspinnaste ja ehitamiseks kasutatud materjalide omadustest (nidusus ja sisehõõrdenurk) sõltuv vastumoment. Nõrkadele aluspinnastele ehitatud kindla kõrguse ja nõlvakaldega armeeritud mulle suudab ära hoida lihe tekke, omades vajaliku vastumomendi tekitamiseks piisavat tugevust. Vastumoment on seotud aluspinnaste ja mulde nihketugevus ning geotekstiili tõmbetugevus omadustega.

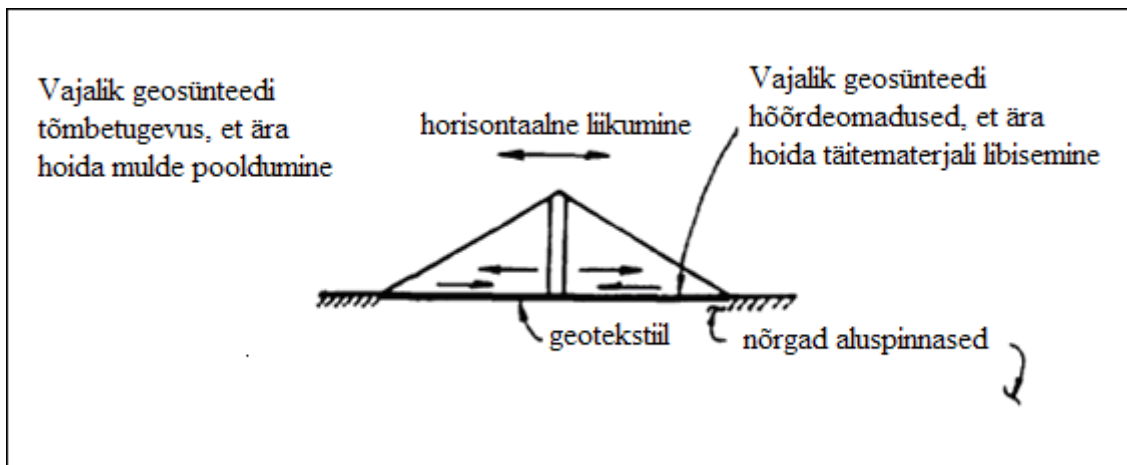
Ehitades mullet puistematerjalidest, millel puudub nidusus (c), ja projekteerides nõlvad laugemad kui puistematerjali sisehõõrdenurk (ϕ), saab armeeritud muldkehas tekkida silindriline lihe vaid läbi aluspinnase ja geosünteedi, seega peavad kasutataval geotekstiilil olema küllaldased tõmbetugevusomadused. Kuna geosünteedidel puudub paindetugevus, siis tuleb ta projekteerida konstruktsiooni nii, et kriitiline kaar läbiks tema pinda (joonis 17) [3].



Joonis 17 Armeeritud mulde ja aluspinnase purunemine mööda silindrilist lihkepinda [3]

Kõige kriitilisemaks osutub olukord peale muldkeha ehitamist, sest aluspinnaste kiire ülekoormamise tulemusel on märkimisväärselt kasvanud nendes poorivee rõhk. Seoses kasvanud poorivee rõhuga ei suuda aluspinnased vastu võtta neile ülekantavaid nihkepingeid, mis võib viia konstruktsiooni jõudude tasakaalu kadumiseni ning mulde purunemiseni [14]. Peale poorivee rõhu taseme normaliseerumist taastuvad aluspinnaste tugevusomadused ja võivad koormuse tõttu, osakeste vahel oleva *molekulaarvee* väljasurumisel tekkiva konsolidatsiooniprotsessi käigus, isegi paraneda. Seega tuleb enne projekteerimist põhjalikult uurida aluspinnaste omadusi ja käitumist ning tekitada soodsad tingimused liigse poorivee rõhu kiireks väljumiseks konstruktsioonist.

Muldkeha horisontaalset libisemist ning selle tulemusena tema laialivajumist põhjustavad jõud on tingitud mulde kõrgusest, oma mõju avaldavad ka nõlvakalded ning täitematerjali omadused. Seda tüüpi purunemine tekib muldkeha taldmikuosas seal indutseeritud horisontaaljõudude mõjul, kus seoses aluspinnase nõrkade omadustega ei teki tasakaaluks piisavaid mulde-aluse vahelisi hõõrdejõude. Kasutades muldetaldmiku ja aluspinnaste vahel geosünteeite, suurendatakse laialisuruvate horisontaaljõudude vastu mõjuvaid jõude (joonis 18).



Joonis 18 Mulde purunemine seoses horisontaalsete jõududega tema taldmikus [3]

Antud olukorras võib geosünteedidega armeeritud muldkeha stabiilsusele kriitiliseks osutada:

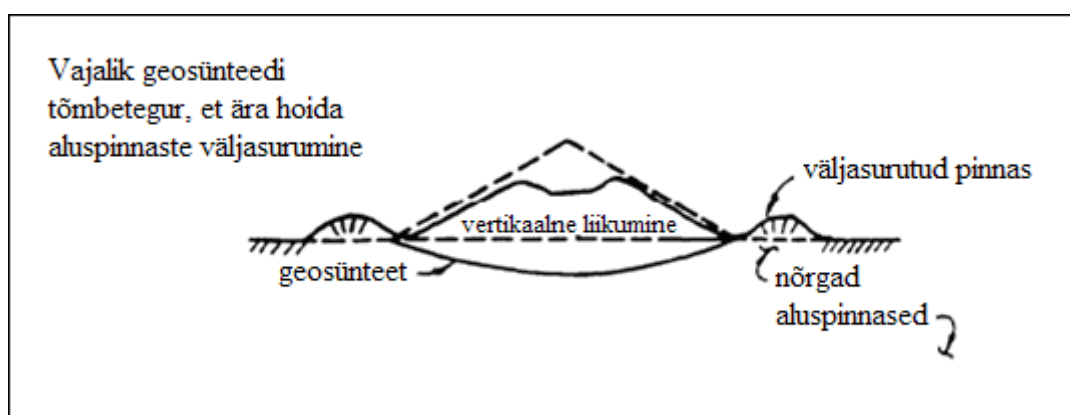
- sünteedi ja täitematerjali vahelistest vähestest hõõrde- ja nakkeomadustest tingitud täitematerjali libisemine mööda tekstiili pinda;
- geosünteedi nõrkadest tugevusomadustest tingitud purunemine;
- liigsed geosünteedi venivusomadused.

Et vältida eeltoetatud tingimustest tulenevat armeeritud muldkeha purunemist, peab projekteerima vastavasse alus- ja täitepinnaste situatsiooni sobiva geosünteedi, millel oleks piisav tõmbetugevus ning venivus- ja hõõrdeomadused.

Armeeritud mulde aluse vertikaalse nihkumise tekkimisel on kaks põhjust:

- mulle ehitatakse kõrge ning liiga järskude nõlvadega (geotekstiilil ei ole piisavalt hõõrdepinda täitematerjaliga vajalike koormuste vastuvõtmiseks);
- tugevdamiseks kasutatava geotekstiili servad pole tekkiva koormuste jaoks piisavalt ankurdatud.

Ehitades muldkeha savikatele pinnastele, kasutades klassikalisi meetodeid, toimub aluspinnastele kanduva koormuse tulemusel neis konsolidatsiooniprotsess, kus pinnasekihtidest väljuva molekulaarvee tõttu nad tihenevad ning muutuvad tugevamaks. Samasugune protsess toimub ka geosünteedidega armeeritud mulde ehitamisel, kuigi siinkohal on tekkivad vajumid ühtlasemad. Projekteerimise käigus tuleb arvestada, et pehmetele aluspinnastele ehitatav mulle võib puruneda seoses aluspinnaste väljasurumisega kaasneva kogu mulde ristlõike vajumisega (joonis 19). Viimane on tingitud asjaolust, et konsolidatsiooni protsess pole jõudnud veel alata ning aluspinnastele kantava koormuse tulemusel neis kasvava poorivee rõhu tõttu, on nad muutunud üliplastseteks. Siinkohal osutub vajalikuks piisavate tugevusomadustega geosünteedi kasutamine, armeeritud muldkeha on ühtne ja seega ei lase purunemisel tekkida [3].



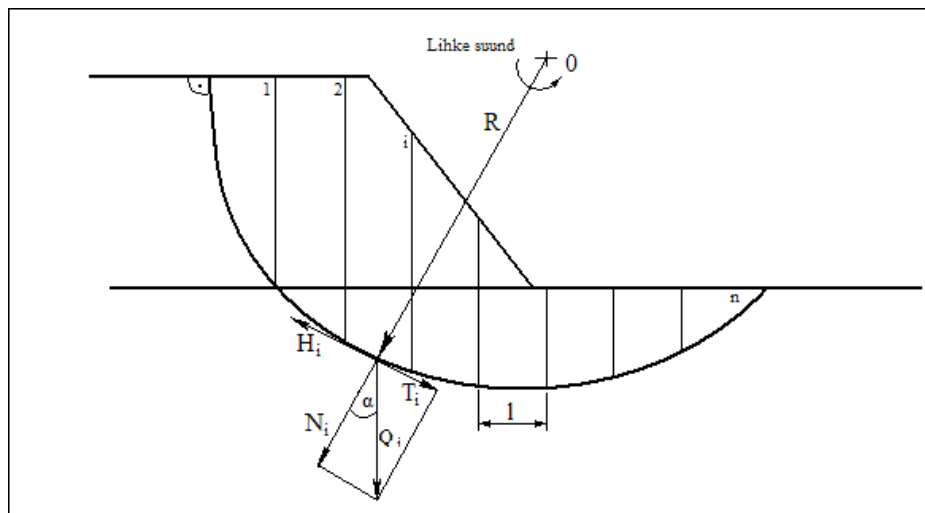
Joonis 19 Armeeritud mulde aluse vertikaalne nihkumine [3]

Geosünteed hakkab konstruktsioonis töötama hetkest, kui mulde ehitamisel tekkivate koormustega ületatakse aluspinnaste kandevõime, kangas venib kuni saavutab vajaliku pinget, kandmaks muldelt temale ülekantavaid koormusi. Kasutades armeerimiseks suure venivusega geosünteede, võib tekkida olukord, kus mulle kaotab oma püsivuse enne, kui geotekstiil suudab hakata vastu võtma temale kantavaid koormusi.

Suured aluspinnaste nihkumised võivad tekkida valede ehitusmeetodite kasutamisest. Näiteks, kui geosünteedidega armeeritud muldkeha ehitamise käigus toimub kogu töödeks vajaliku raskeveokite liikumine mööda mulde telge, aga samas on veel teostamata mulde servade täitetööd. Sellises olukorras on geosünteed ebapiisavalt ankurdatud ning ta ei suuda vastu võtta projekteeritud pingeid [3].

1.2.2.1. Geosünteedi arvutus silindrilisele lihkele

Alustades uue muldkeha projekteerimist tuleb teostada mitmeid eelmainitud tasakaaluanalüüse, milledest üheks on ka mulde stabiilsuse kontroll tema purunemisele mööda silindrilist lihkepinda. See meetod kaasab endas kriitilise lihkepinna leidmist ja läbi tasakaalutingimuste mulde alusesse sobiva tugevusega geosünteedi valimist, tagamaks vajalikku vastupanu ja ärahoidmaks mulde püsivuse kadu mööda lihkepinda (joonis 20).



Joonis 20 Ringsilindrilise lihkepinna arvutamiseks vajalike parameetrite skeem.

Pöördelise lihkepinna leidmiseks kasutatakse pinnasemehaanikas üldlevinud nõlva ringsilindrilise lihke arvutamise meetodit. Et arvutused oleksid võimalikud teostada ka geosünteedidega armeeritud mulde korral, tuleb arvestada mõningate üldistustega [3]:

- pinnaste nihke tugevus ja geosünteedi tõmbetugevus rakenduvad konstruktsioonis koheselt;
- seoses pragude tekkimise võimalusega muldes, peab lihkele vastutöötava momendi arvutamisel jätma arvestamata täitematerjalide nihketugevus ja sisehõrde omadused;
- kriitiline ringsilindriline lihkepind on sama nii geosünteediga armeeritud kui ka mittearmeeritud mulde puhul, olgugi et teoreetiliselt võivad nad vähesel määral erineda.

Nõrkadele aluspinnastele rajatava mulde kriitilise ringsilindrilise lihkepinna leidmisel lähtutakse sellest, et kõik kasutatavad pinnased on füüsikaliste omaduste poolest homogeensed.

Arvutuskäigu alguses valitakse suvaline silindriline pind (raadiusega R), mis läbib mulde taldmiku, eeldades, et mulde rajamiseks kasutatakse täitematerjali, mille nidusus c on null, sisehõrenurk φ väiksem mulde nõlvusest ning valitud silindrilise pinna telg läbib punkti O (joonis 20). Saadud ringjoonega eraldatud pinnaosa jagatakse vertikaalribadeks ja arvutatakse iga riba kaal Q_i arvestades erinevate kihtide mahukaale.

Arvutuskäigu tasakaalutingimuseks on, et lihet põhjustavate T_i ja lihkele vastu töötavate H_i jõudude momendid ümber punkti O oleksid võrdsed.

Lihet põhjustav jõud T_i :

$$T_i = Q_i \sin \alpha_i \quad [kN] \quad (1)$$

Lihke tekkimist valitud pinnal takistavad hõrde- ja kohesioonijõud, seega lihkele vastutöötav jõud H_i :

$$H_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad [kN] \quad (2)$$

$$N_i = Q_i \cos \alpha_i \quad [kN] \quad (3)$$

$$H_i = Q_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad [kN] \quad (4)$$

Arvutades momenti punkti 0 suhetes, tuleb võtta jõuõlaks vahekaugus R. Seega lihet mööda ringsilindrilist pinda tekitav moment M_{lihe} saadakse:

$$M_{lihe} = R \sum_1^n T_i \quad [kNm] \quad (5)$$

$$M_{lihe} = R \sum_1^n Q_i \sin \alpha_i \quad [kNm] \quad (6)$$

Ja lihkele vastutöötav moment M_{vastu} vastavalt:

$$M_{vastu} = R \sum_1^n H_i \quad [kNm] \quad (7)$$

$$M_{vastu} = R \sum_1^n (Q_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i) \quad [kNm] \quad (8)$$

Lihe mööda silindrilist pinda tekib juhul, kui momentide suhe on väiksem kui üks. Arvestades piisava reserviga peaks mulde püsivuse tagamiseks jääma lihkevarutegur k_{lihe} väärtus 1,2 ja 1,4 vahele:

$$k_{lihe} = \frac{M_{vastu}}{M_{lihe}} = \frac{R \sum_1^n (Q_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + c_i l_i)}{R \sum_1^n Q_i \sin \alpha_i} \geq 1,2 \dots 1,4 \quad (9)$$

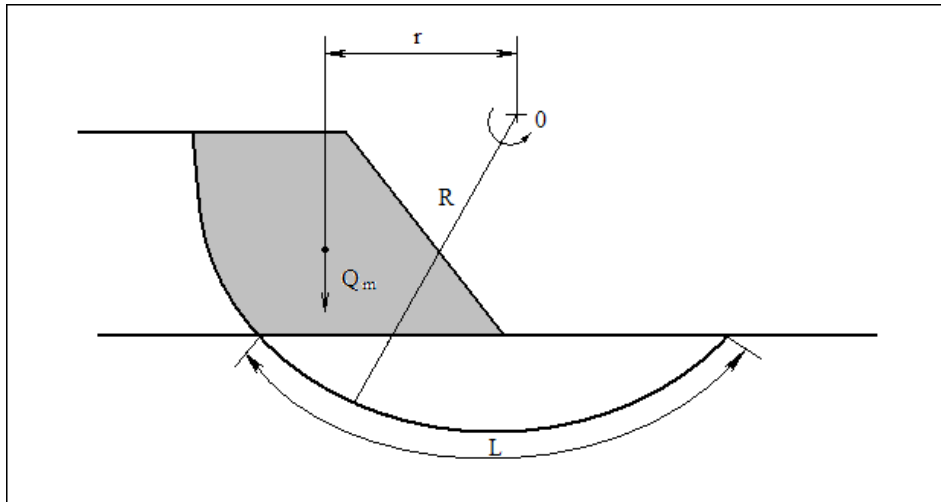
Kuna arvutuskäigu alguses valitakse suvaline silindriline pind, siis esialgne valitud pind ei pruugi olla võimalikes variantidest kõige ohtlikum. Seega tuleb kriitilise ringsilindrilise lihkepinna leidmiseks korrata sama arvutuskäiku valides erinevaid raadiuse R ja punkti 0 asukohti. Edaspidistes sobiva geosünteedi arvutamise valemitega tuleb kasutada kõige väiksema varuteguriga varianti [2].

Kui kriitilise ringsilindrilise lihkepinna leidmisel osutus lihkevarutegur k_{lihe} väiksemaks kui 1,2, siis tuleb samades tingimustes rajatava mulde püsivuse säilitamiseks võtta kasutusele vastavad tugevdamise abinõud. Üheks võimalikuks variandiks on geosünteedidega armeerimine.

Geosünteedidega armeeritud mulde arvutamisel kasutatakse samuti tekkivate momentide tasakaalutingimust. Erinevus tasakaalutingimustes seisneb selles, et vastumomendi moodustab lisaks pinnaseomadustest olenevale momendile ka geosünteedi tõmbetugevusest sõltuv moment.

Vastavate momentide arvutamiseks kasutatakse lihtsustatud valemiteid. Lihet põhjustavad jõud tulenevad muldes kasutatava täitepinna kaalust Q_m , mis mulde stabiilsuse kadumise korral liiguvad mööda kriitilist kaart. Tekitav moment M_{lihe}' saadakse korrutades eelmainitud pinnase kaal Q_m jõuõlaga r, mis antud juhul on ringsilindrilise lihkepinna keskpunkti ja lihkva pinnasemassi raskuskeskme horisontaalne vahekaugus (joonis 21):

$$M_{lihe}' = Q_m \cdot r \quad [kNm] \quad (10)$$



Joonis 21 Geosünteedi tõmbetugevuse arvutamiseks vajalikud parameetrid [14]

Lihke tekkimist takistavad vastujõud on tingitud nõrkade (savikate) aluspinnaste nihketugevusomadustest. Seoses lihkumise eel mulde pinnas tekkivate pragude nõrgendavale mõjule, jäetakse ohutuse mõttes geosünteedi projekteerimisel arvestamata täitematerjalide enda omaduste poolt tekitatavad vastujõud. Seega vastumoment $M_{vastu'}$ on võrdeline aluspinnase nihketugevuse τ ja aluspinnaseid läbiva silindrilise lihkepinna kaare pikkuse L (joonis 21) korrutisega:

$$M_{vastu'} = \tau \cdot L \cdot R \quad [kNm] \quad (11)$$

Kuna eeldatavasti on tegu savikate aluspinnastega, mille sisehõordenurk φ on võrdne nulliga ja nidusus c on nullist erinev suurus, siis antud juhul nihketugevus võrdub:

$$\begin{aligned} \varphi &= 0 \text{ ja } c \neq 0 \\ \tau &= \sigma_{\alpha} \tan \varphi + c = c \quad [kN/m^2 \text{ ehk } kPa] \end{aligned} \quad (12)$$

Seega lihke teket takistav moment on savikate aluspinnaste puhul arvutatav järgneva valemi kaudu:

$$M_{vastu'} = c \cdot L \cdot R \quad [kNm] \quad (13)$$

Lisamoment M_{text} , mille tekitab muldesse paigaldatud geosünteed arvutatakse korrutades jõuõla, milleks antud juhul on ringsilindrilise lihkepinna raadius R , geosünteedi tõmbetugevusega T_{text} ning seega arvutusvalemiks on:

$$M_{text} = T_{text} \cdot R \quad [kNm] \quad (14)$$

Eeltoodud momentide $M_{lihe'}$, $M_{vastu'}$ ja M_{text} väärtused on tuletatud ühe meetri laiuse mulderiba nõlvastabiilsuse kohta.

Geosünteedidega armeeritud mulde ühe meetri laiuse riba tasakaalutingimus tekkivate momentide järgi on:

$$M_{vastu'} + M_{text} = M_{lihe'} \quad (15)$$

Saadud tasakaalutingimuses (15) on geosünteedi tõmbetugevus tundmatuks suuruseks, lisades võrrandile varutegurit k_t , avaldub tõmbetugevus järgmiselt:

$$M_{\text{vastu}} + M_{\text{text}} = k_t \cdot M_{\text{lihe}} \quad (16)$$

$$\tau \cdot L \cdot R + T_{\text{text}} \cdot R = k_t \cdot Q_m \cdot r \quad (17)$$

$$T_{\text{text}} = k_t \frac{Q_m \cdot r}{R} - \tau \cdot L \quad [kN] \quad (18)$$

Võttes varuteguriks 1,3 ja arvestades, et aluspinnaste puhul on tegemist savikate materjalidega, mille sisehõordenurk on võrdne nulliga, saab valemist (18) avaldada geosünteedi tõmbetugevuse:

$$T_{\text{text}} = 1,3 \cdot \frac{Q_m \cdot r}{R} - c \cdot L \quad [kN] \quad (19)$$

Muldkeha tugevdamiseks valitava geosünteedi tõmbetugevus peaks olema arvutuslikust tõmbetugevusest T_{text} mõnevõrra suurem, et vältida materjali kiiret roomamispurunemist [14].

Rajades uut mullet nõrkadele aluspinnastele ning kasutades tugevdamise otstarbel konstruktsioonis geosünteede, tuleb arvestada, et geosünteedide tugevusomadused paigaldatuna mulde taldmikusse rakendatakse alles peale seda, kui mulle hakkab kaotama oma stabiilsust. Sellises olukorras tõmmatakse geosünteed pingule ning ta venib niipalju, et tagada mulde stabiilsuse säilitamiseks vajamineva vastumomendi tekitamiseks piisav tõmbetugevus. Seega võib tekkida uues muldes mõningane deformeerumine.

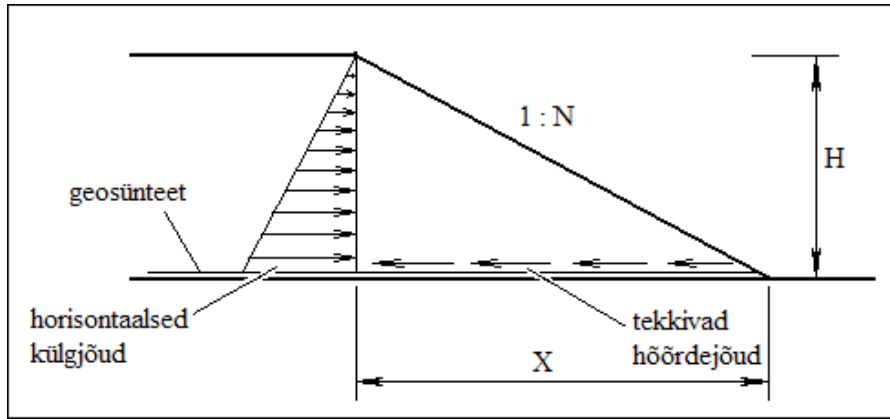
Deformeerumine tekib ka uue muldkeha ehitamisel aluspinnaste koormamisest tuleneva konsolidatsiooni ehk tihenemise protsessi käigus.

Nendest deformeerumise põhjustest tulenevalt, ei tohiks rajada uuele muldele koheselt püsikatet. Vaid kui vähegi võimalik, peaks kuus kuud kuni aasta hoidma püsikatteta muldkeha eksploatatsioonis, et saaks vähese täitematerjali lisamisega ja uuesti profileerimisega kõrvaldada tekkinud vajumised ning nii vältida hilisemaid kalleid pealiskattekihtide remonttöid.

2.2.2. Armeeritud muldkeha kontroll täitematerjali libisemisele

Mulde püsivuse säilitamiseks on üheks tähtsaks kriteeriumiks ka täitematerjali ja aluspinnase vaheline haare. Püsivus on tagatud, kui mulde omakaalust taldmikku indutseeritud horisontaalsed külj jõud on tasakaalus täitematerjali ja aluspinnase vahel olevate hõorde- ja nakkejõududega (joonis 22).

Projekteerides geosünteedidega armeeritud muldkeha, tuleb seoses aluspinnaste halbade omadustega (märjad, kohesiivsed ehk savikad materjalid), jätta arvestamata geosünteedi ja aluspinnase vahelised libisemist takistavad jõud. Seega peab geosünteed oma tõmbetugevusega suutma vastu võtta, täitematerjali ja sünteedi vaheliste hõordejõudude kaudu, kõik mulde taldmikusse indutseeritavad horisontaaljõud [14].



Joonis 22 Mulde taldmikku indutseeritud jõudude tasakaalu skeem [3]

Külgjõudude väärtused on suurimad mulde taldmikus. Maksimaalne resultantjõud muldes, mille täitematerjali mahukaaluks on γ ja kõrguseks H , arvutatakse valemiga:

$$F_k = 0,5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_H \text{ [kN]} \quad (20)$$

Kus K_H on pinnase efektiivsurvekoefitsient ning on mittekoheesiivsete täitematerjalide korral arvutatav järgneval kujul:

$$K_H = \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (21)$$

Seega on mulde taldmikus tekkivad resultantküljõud:

$$F_k = 0,5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ [kN]} \quad (22)$$

Geosünteedi ja muldes kasutatava täitematerjali hõõrdest tekkiva vastujõu saab leida kasutades valemit:

$$F_v = 0,5 \cdot \gamma \cdot N \cdot H^2 \cdot \tan \varphi_{pg} \text{ [kN]} \quad (23)$$

Valemis (23) on tähistatud N -iga dimensioonitu nõlvaparameter ning φ_{pg} on geosünteedi ja täitematerjali vaheline hõõrdenurk:

$$N = \frac{X}{H} \quad (24)$$

Et taldmikusse indutseeritud küljõudude tulemusel ei kaotaks mulle oma püsivust, peavad tekkivad jõud olema võrdsed. Lähtudes eeltoodud püsivustingimusest (22) ning (23) ja lisades varuteguri k_L , mille väärtus on soovitatavalt suurem kui 1,5, saab välja kirjutada tasakaaluvõrrandi:

$$k_L = \frac{F_v}{F_k} \geq 1,5 \quad (25)$$

Eeltoodud tasakaaluvõrrandist saab avaldada täitepinna ja geosünteedi vahelise hõõrdenurga valemi (kraadides):

$$\varphi_{pg} = \tan^{-1} \left[\frac{k_L}{N} \cdot \tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \quad (26)$$

Kui arvatud geosünteedi ja pinnase vaheline nõutud hõõrdenurk φ_{pg} on suurem, kui looduslik, siis võib osutada vajalikuks mulde nõlvade laugemaks tegemine, samas tuleb üle vaadata kasutatavate täitematerjalide ja geosünteedi hõõrdeomadused. Enamuse üldlevinud geosünteedide ning täitematerjaliks kasutatava liiva vaheline hõõrdenurk φ_{pg} on 30° .

Juhul kui muldes reaalselt kasutatava täitematerjali ja geosünteedi vaheline hõõrdenurk osutub arvutuslikust (φ_{pg}) suuremaks, tuleb kontrollida geosünteedi tõmbetugevuse ja kõrvaljõudude tasakaalu. Vältimaks geosünteedi purunemist seoses kõrvaljõududest talle hõõrde kaudu ülekantavatest pingetest, peab kõrvaljõudude resultandi ja geotekstiili tõmbetugevuse vahel eksisteerima tasakaalutingimus, mis avaldub kujul:

$$T_{text} = k_L \cdot F_k \quad [kN] \quad (27)$$

Seega saab mittekohesiivsete täitematerjalide kasutamisel leida geosünteedi nõutava tõmbetugevuse järgnevalt:

$$T_{text} = 0,5 \cdot k_L \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad [kN] \quad (28)$$

Ka antud valemis tuleb võtta varuteguri k_L väärtuseks vähemalt 1,5 [3].

2.2.3. Muldkeha vertikaalne deformatsioon

Mulde vertikaalne deformatsioon ei ole otseses seoses geosünteedi tugevusomadustega, kui on tagatud geosünteedidega armeeritud mulde eeltoodud tasakaalutingimused. Siiski tuleb teostada ka armeeritud mulde aluspinnaste kandevõime kontroll, vältimaks mulde deformeerumist seoses aluspinnaste kandevõime kadumisega järgmistel põhjustel:

- nõrkade aluspinnaste väljasurumine või roomamine;
- kogu mulde pöördliikumine koos aluspinnastega;
- konsolidatsioonist tingitud ebaühtlane vertikaalne nihkumine.

Eelloetletud vajumite põhjuste kontrollimiseks tuleb põhjalikult uurida aluspinnase omadusi (sh kandevõimet) ning teostada arvutused üldlevinud pinnasemehaanika valemite kohaselt. Siinkohal ei mõjuta geosünteedi kasutamine arvutustulemusi. Kasutades geosünteedi muldkehade armeerimiseks ühtlustuvad mulde tugevusomadused ning pingeaotus taldmikus ja välditakse täitematerjali libisemisest tekkivate vajumite moodustumist, kuid aluspinnaste kandevõimeomadused ei parane [14].

2.3. Geosünteedite kasutamine muldkeha dreenimiseks ja filtreerimiseks

Mulde projekteerimisel tuleb pöörata tähelepanu ka vete liikumisele mulde sees ja aluspinnastes. Et kindlustada eksploatatsioonis oleva mulde pikaajaline säilimine, tagatakse muldesse sattuvate ja aluspinnastes olevate vete normaalne liikumine. Veel tuleb võimaldada muldest ja aluspinnastest vabalt välja voolata, vältimaks pinnaste veega küllastumist. Liigne niiskus põhjustab kandevõime vähenemist ja külmakergete tekkimist.

Mulde ehitamisel kasutatakse geosünteeete drenimise otstarbel peamiselt kolmel põhjusel:

- mulde koormusest tingitud aluspinnastes kasvava poorivee rõhu väljajuhtimine;
- aluspinnastest tuleva kapillaarvee liikumise takistamine muldesse;
- läbi katendikonstruktsiooni muldesse imbuva vee väljajuhtimine.

Ehitades uusi või rekonstrueerides vanu muldeid, tuleb majandusliku tasuvuse kaalutlustel kasutada kohapealseid täitematerjale (ka vana mulde täitematerjali taaskasutamine). Kasutatavate täitematerjalide filtreerimisomadused võivad olla muutlikud ning suure savisisalduse tõttu võib filtratsioonimoodul kohati langeda alla 0,5 m/ööp, mis aga viitab külmakerkeohtlikule pinnasele. Vähendamaks sellistes mulletes külmakergete tekkimise tõenäosust, tuleb võtta kasutusele meetmed, mis takistavad vee sattumist muldesse, seda nii läbi kattekihtide imbudes kui ka kapillaartõusu kaudu. Aluspinnastest tuleva kapillaarvee tõusmise muldesse lõikab läbi mulde taldmikku ehitatud heade veejuhtimisomadustega vahekiht.

Mulde ehitamisel koormatakse aluspinnaseid, mille tulemusel nad hakkavad tihenema. Tihenemise käigus surutakse pinnaseosakesi omavahel kokku, seega vähenevad avaused nende vahel ning kasvab poorides oleva vee rõhk, mistõttu väheneb aluspinnaste kandevõime. Kasutades mulde taldmikus drenivat vahekihti, juhitakse konsolidatsiooni protsessis väljuv vesi muldest turvaliselt välja, nii välditakse mulde servade all suurte nihkepingetega alade veega küllastumist ning säilitatakse aluspinnaste vajalik kandevõime.

Dreenivate vahekihtide ehitamiseks on mitmeid erinevaid variante, nendest enamlevinumaks on hetkel täitematerjalist (filtratsioonimooduliga $> 2,0$ m/ööp) spetsiaalselt rajatud vahekiht, mis on ummistumise vältimiseks ümbritsetud filterkangaga. Sellise vahekihi ehitamine võib osutuda läheduses mittesobiva täitematerjali leidumisel kulukaks. Täitematerjalist dreniva vahekihi ehitamist saab vältida, kasutades mulde taldmiku ja aluspinnase vahel hea tasapinnalise veejuhtimisomadusega geosünteeiti: paks mittekoatud geotekstiil või spetsiaalne dreniv geokomposiit. Pikemaajaliste rakenduste puhul tuleb vältida paksu mittekoatud geotekstiili kasutamist. Paks nõeltöödeldud geotekstiil koosneb tihedalt kokkupakitud peentest kiududest, tal on head tasapinnalise voolu näitajad, aga võrdlemisi tiheda struktuuri tõttu on tal tendents pikemaajalise kasutustsükli korral ummistuda [14].

Dreenimiseks kasutatav geokomposiit koosneb jäigast ning poorsest sünteetilisest tuumast, mis on ümbritsetud ühelt või kahelt poolt filtreerivat rolli täitva geotekstiiliga. Tuum on kokkusurumatu heade tasapinnaliste veejuhtimisomadustega kärg, tema ülesandeks on juhtida vett oma tasapinda mööda konstruktsioonist välja. Geokomposiiti kattev geotekstiil peab tagama vee vaba liikumise drenivasse kihti, vältimaks pinnaseosakeste liikumist koos drenitava veega, seega vältima ummistuste tekkimist. Geokomposiidi valimisel tuleb lähtuda drenitavast vooluhulgast.

Nii täitematerjalist ehitatud dreniva vahekihi kui ka geokomposiidi kasutamisel tuleb pöörata tähelepanu kasutatava filterkanga sobivusele teda ümbritseva pinnasega. Konkreetsetesse pinnasetingimustesse sobiva filterkanga valimine sõltub mitmetest erinevatest teguritest:

- geotekstiili omadused: iseloomulik pooriava suurus, veejuhtimisomadused, kokkusurutavus, struktuur;
- pinnase omadused: terastikuline koostis, ühetaolisus, tihedus, plastsus ja nidusus;
- paigaldustingimused: pinnase veesisaldus paigaldamisel ja mehaaniliste kahjustuste tekkimine paigaldamisel [5].

Sobiv filterkangas peab võimaldama veel vabalt liikuda, tekitamata pinnastes märkimisväärset hüdrostaatilise rõhu kasvu, suutma säilitada seda kuni projekteeritud eluea lõpuni ning takistama veega koos liikuvate pinnasosiste liigset sattumist drenivasse kihti. Seega on filterkanga valimisel kaks peamist sobivus kriteeriumit, mida tuleb konkreetsetes pinnasetingimustes kontrollida: ummistuskindlus ja veejuhtimine.

2.3.1. Geotekstiili ummistuskindlus

Uurimustöödega on tõestatud, et mida suurem on pinnase mahukaal, seda väiksema tõenäosusega pääsevad peenosised pinnastes liikuma ning seda väiksem on filterkanga ummistumise tõenäosus. Pinnastel, mille mahukaal on suurem kui $1,7 \text{ g/cm}^3$, ei ole eelsoodumust osakeste liikumisele. Kuna antud juhul on tegu seesmiselt stabiilsete pinnastega, siis puudub geotekstiili ummistumise oht. Mahukaalu kahanedes kasvab pinnases olevate pooride hulk, seega tekivad avaused, mida mööda saavad peenemad osakesed koos veega liikuda ning seega kasvab ka geotekstiili ummistumise tõenäosus [14].

Filtreerimise funktsiooni täitva geotekstiili valimine algab filtreeritavate pinnaste terastikulise koostise määramisega ehk sõelkõvera leidmisega. Saadud andmete järgi saab hiljem leida kasutamiseks sobiliku geotekstiili pooriava suuruse tingimused.

Mittekohesiivsetesse pinnastesse paigaldatava filterkanga valimisel tuleb ummistumise vältimiseks lähtuda järgmistest kriteeriumitest:

- Kootud geotekstiili korral $\frac{O_{90}}{D_{90}} \leq 2,5$
- Mittekootud geotekstiil korral $\frac{O_{90}}{D_{90}} \leq 5,0$

O_{90} on geotekstiili pooriava läbimõõt (mm), millest 90 protsenti on väiksemad.

D_{90} on pinnaseosakese läbimõõt (mm), millest 90 protsenti on väiksemad.

Suhte O_{90}/D_{90} väärtus peaks olema vastavalt 2,5 ja 5 nii lähedal, kui võimalik, et tagada maksimaalset veeläbilaskvust, aga säilitada ka võime pinnaseosakesi kinni pidada [14].

Seoses savika pinnase osakeste väga väikeste läbimõõtudega ei ole võimalik konkreetselt määratleda suhte O_{90}/D_{90} väärtust. Seega väga peente ja nidusust omavate pinnaste puhul, mille terastikuline koostis vastab tingimustele $D_{85} < 0,06$ ja $D_{10} < 0,002$, tuleb valida filtreerimise funktsiooni täitvaks geotekstiiliks materjal, mille pooriava suurus $O_{90} < 0,2 \text{ mm}$ [5].

2.3.2. Geotekstiili veeläbilaskvus (filtratsioonimoodul)

Lähtudes eelmainitud üldlevinud arusaamast peab geosünteedi veeläbilaskvus olema suurem kui teda ümbritsevatel pinnastel. Pinnastesse filtreerimiseks paigaldatava geosünteedi valikul soovitab Dr Jean Pierre Giroud, võrdväärse vooluhulga tagamiseks, kasutada geosünteedi, mille veeläbilaskvus oleks kümme korda suurem kui teda ümbritsevate pinnaste filtratsioonimoodul [5].

Sobiva geotekstiili valimisel määratletakse laboratoorsel teel filtreeritava pinnase filtratsioonimoodul K_p . Juhul kui ei ole võimalik teostada täpset laboratoorset pinnase uuringut, tuleb lähtuda järgnevast üldistusest:

$$K_p = (D_{10})^2 \cdot 0,01 \text{ [m/s]} \quad (29)$$

Võttes aluseks filtreeritava pinnase filtratsioonimooduli, saab sobiva geotekstiili leidmiseks vajamineva veeläbilaskvuse parameetri arvutada kasutades valemit:

$$K_{\text{ext}} \geq M \cdot K_p \quad \text{[m/s]} \quad (30)$$

Paksude nõeltöödeldud või teiste mittekootud geotekstiilide, mille paksus on 2 kN/m rõhu juures suurem kui 2 mm, tuleb valida koefitsiendi M väärtuseks 10. Kootud ja õhukeste mittekootud geotekstiilide korral M on võrdne 5.

1.2.4. Geosünteedide paigaldamine mulde ehitamisel

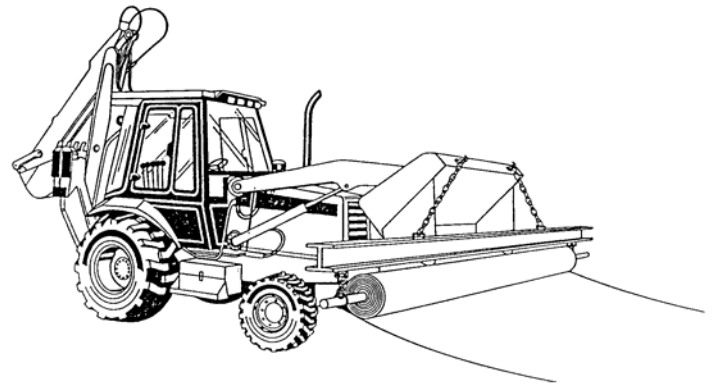
Tootmisel rullitakse geosünteedid enamasti tugevate poolide ümber rullideks ja pakitakse kile sisse, vältimaks transportimise, päiksevalguse ning vee kahjustuste tekkimist. Kui kattekile puruneb, vahetatakse see välja või parandatakse. Iga rull peab olema identifitseeritav, seega peab iga rulli küljes olema tooteinfot sisaldav silt [12].

Geosünteedi rullide mahalaadimisel tuleb jälgida, et kattekile ei saaks vigastada. Mahalaadimine on soovitatav teostada kahveltõstukiga, mille latid peavad olema võimelised kandma rulli raskust. Soovituslikult peab lati pikkus olema vähemalt kaks kolmandikku rulli laiusest, et vältida rulli keskmises oleva pooli purunemist. Lubatud on ka troppide kasutamine tõstukiga mahalaadimisel. Keelatud on rullide lohistamine ja libistamine.

Geosünteedi rullid ladustatakse kuiva, kuid otsese päiksevalguse eest varjatud kohta. Lisaks tuleb jälgida, et ladustatud materjal ei puutuks kokku kemikaalidega, otsese tule ega ka sädemetega. Temperatuur peaks jääma 70°C ja -25°C vahele. Juhul kui materjal on eelnevalt kokku puutunud veega, ei tohiks temperatuur langeda alla 0°C [12].

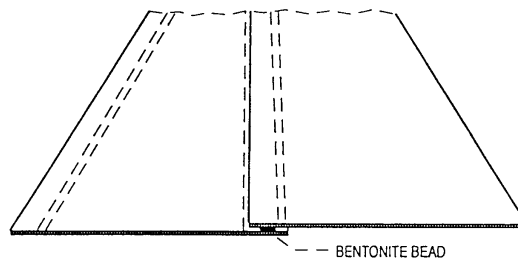
Enne geosünteedide paigaldamist kontrollitakse paigalduskoha vastavust projektis toodud tingimustele. Projekti spetsifikatsioonis konkreetsete nõuete puudumisel lähtutakse vastava materjali tootja poolt välja töötatud paigaldusjuhendist.

Kattekiile eemaldatakse vahetult enne materjali kohale asetamist. Eelnevalt planeeritakse paigalduskoht, eemaldatakse kõik teravad või suured kivid, vältida tuleb geosünteedi mehaanilist vigastamist ja aluspinnase segipööramist. Paigaldamine toimub käsitsi või ehitusmehhanisme kasutades (joonis 23). Geosünteed laotatakse sirgelt (ilma voltideta) ning fikseeritakse, et vältida tuulest tingitud või täitematerjali paigaldamisel tekkivat nihkumist. Kinnitamiseks kasutatakse pinnasenaelu, täitepinnast või liivakotte.



Joonis 23 Geosünteedi paigaldamine mehhanismidega

Geosünteedi paanid tuleb laotada omavahelise ülekattega (joonis 24). Normaalses pinnasetingimustes on nõutavaks ülekatteks 30 cm. Kohtades, kus aluspinnas on väga pehme, tuleb kasutada suuremat ülekattet, mis on 50-100 cm, et tagada kõikjal nõutav ülekate ka peale täitematerjali paigaldamist. Vajadusel tuleb jälgida tootja antud juhiseid. Ülekate tuleb teostada vee voolamise või täitematerjali paigaldamise suunas. Juhul kui paigaldamise käigus on vigastatud geosünteedi, see parandatakse, kasutades samast materjalist tehtud lappi. Paranduslapp peab ületama kahjustatud kohta igas suunas vähemalt 30 cm võrra [10, 12].



Joonis 24 Geosünteedi paigaldamine ülekattega

Enne täitepinna katmist, tuleb paigaldatud materjal järelvalveametniku või vastava spetsialisti poolt üle vaadata. Ta peab kontrollima ülekatteid ja kindlaks tegema kahjustused, mis vajavad parandamist ja koostama kaetud tööde akti.

Täitematerjaliga katmisel välditakse mehhanismide liikumist otseselt geosünteedi peal. Täitematerjali planeerimisel ja tihendamisel ei tohi vigastada geosünteedi, seetõttu on soovitatav kasutada väikse erisurvega ehitusmasinaid. Minimaalne paigaldatav kihipaksus on 20-30 cm ja soovituslik maksimaalne terasuurus on väiksem 1/3 kihi paksusest. Esmase kihi tihendamisel ei ole lubatud kasutada vibrotihendamist [10] (Joonis 25).



Joonis 25 Mineraalmaterjali laotamine geovõrgule

Kui tootja või tarnija on ette näinud oma poolt pakutava geosünteedi paigaldustehnoloogia või -juhised, siis tuleb järgida neid.

3. AASHTO KATENDI ARVUTUSMEETOD [24, 25]

AASHTO projekteerimismeetod kasutab kolme parameetrite gruppi:

I Projektsuurused

Analüüsiperiood on aeg, mille jooksul võetakse arvesse kõik remondid ja antakse majanduslik hinnang. Analüüsiperiood oli varem tavaliselt 20 aastat, viimasel ajal soovitatakse märksa pikemat (tabel 10).

Tabel 10

Analüüsiperioodi pikkus sõltuvalt liiklussagedusest

Tee	Analüüsiperiood, aastat
Suure liiklussagedusega tänavad	30...50
Suure liiklussagedusega maanteed	20...50
Väikse liiklusega kattega teed	15-25
Väikse liiklusega kruus- ja killustikteed	10-20

Kasutusperiood on aeg ehitamise ja taastamise või taastamiste vahel. Kasutusperioodi pikkuse määrab projekteerija ja see võib olla ehituse (taastamise) hetkest kuni teatud minimaalselt nõutud tarvituskõlblikkuse taseme saabumiseni või kuni tee täieliku amortiseerumiseni.

Kumulatiivne liikluskoormus määratakse 8-tonnisest normkoormusest. Kui kasutusperiood on võrdne analüüsiperioodiga, siis on vaja ainult kumulatiivset liikluskoormust. Kui kasutusperiood on analüüsiperioodist lühem, siis on vaja määrata kumulatiivse liikluskoormuse sõltuvus ajast.

Usaldusväärsus (reliability level) on tõenäosus, et liikluskoormus ei ületa vähima tarvituskõlblikkuse taseme arvutamisel eeldatud koormussagedust. Usaldusväärsuse taseme määrab projekteerija kogemuslikult (tabelid 11 ja 12).

Tabel 11

Soovitav usaldusväärsuse tase

Tee kasutusala	Soovitav usaldusväärsuse tase R	
	linnad	maakoht
Linnadevaheline ja muud kiirteed	85...99,9	80...99,9
Peateed	80...90	75...95
Kogujateed	80...95	75...95
Kohalikud ja kõrvalteed	50...80	50...80

Tabel 1.12

Usaldusväärsuse ja standardhälbe normi vaheline seos

Usaldusväärsus R	50	60	70	75	80	85	90	91	92
Standardhälbe norm Z_R	-0,0	-0,253	-0,524	-0,674	-0,841	-1,037	-1,282	-1,340	-1,405
Usaldusväärsus R	93	94	95	96	97	98	99	99,9	99,99
Standardhälbe norm Z_R	-1,476	-1,555	-1,646	-1,751	-1,881	-2,054	-2,327	-3,090	-3,750

AASHTO andmeil on elastsetel katenditel standardhälve $S_0=0,45$.

II Teenindustaseme indeks

Seisundi kriteeriumiks on teenindustaseme indeks PSI (serviceability index), mille suurus määratakse vahemikus 1...5. Suurus 2,5 vastab katendi kriitilisele seisundile ja selline katend vajab lähiajal taastamist (näiteks ülekated). Elastsete katendite teenindustaseme indeksi lähtesuurus (P_0) on AASHTO andmeil 4,2. Vähim teenindustaseme indeks (P_t) on põhiteedel 2,5 ja vähese liiklusega teedel 2,0.

Elastsetel katenditel arvutatakse teenindustaseme indeks valemiga

$$PSI=5,03-1,91\log(1+SV)-1,38RD-0,01\sqrt{(C+P)}, \quad (31)$$

kus RD - keskmine roopa sügavus mõõdetud 4 jala (1,2 m) pikkuse lati all, tolli;
 SV - roopa sügavuse hälve $\times 10^6$;
 C - võrk- või muude pragude pindala ft^2 1000 ft^2 kohta;
 P - lappide pindala ft^2 1000 ft^2 kohta.

Roopa sügavus ja sügavuse hälve on põhilised teenindustaseme indeksit mõjutavad suurused.

III Materjalide ja pinnase omadused

Aluspinnase elastsusmoodul (M_R) muutub aja jooksul sõltuvalt ilmastikuoludest ja arvutuses kasutatakse keskmist. Elastsusmoodul määratakse laboratoorselt või arvutatakse mõõdetud CBR alusel.

Asfaltbetoonkatte elastsusmoodul (E_{AC}) määratakse laboratooriumis, arvutatakse Marshalli stabiilsusest lähtudes või mõõdetakse teel.

Kihtide tegurid (layer coefficients) on katendikihi kandevõimet iseloomustav tegur ja seda kasutatakse katendi struktuurarvu (structural number) määramiseks. Kihtide tegurid määratakse tavaliselt graafikute alusel. Aluse puhul võib kasutada ka seost

$$a_2 = 0,249 \log(E_{BS}) - 0,977, \quad (32)$$

kus E_{BS} - aluse elastsusmoodul.

Struktuurarv

$$SN = \sum a_i D_i, \quad (33)$$

kus a_i - kihitegur;
 D_i - kihi i paksus.

Niiskuse mõju võetakse arvesse dreanaaži mõjuga (m) (tabel 13).

Tabel 13

Dreanaaži mõju, m

Dreanaaži kvaliteet	Küllastumisele läheneva aja osa, %			
	Kuni 1	1...5	5...25	Üle 25
Suurepärase	1,4...1,35	1,35...1,3	1,3...1,2	1,2
Hea	1,35...1,25	1,25...1,15	1,15...1,0	1,0
Rahuldav	1,25...1,15	1,15...1,05	1,0...0,8	0,8
Halb	1,15...1,05	1,05...0,8	0,8...0,6	0,6
Väga halb	1,05...0,95	0,95...0,75	0,75...0,4	0,4

Vajalik struktuurarv SN sõltub kumulatiivsest liikluskoormusest W_{18} .

$$\log(W_{18}) = Z_R(S_0) + 9,36 \log(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{2,7}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log(M_R) - 8,07 \quad (34)$$

1.3.1. AASHTO projekteerimismeetod geovõrgu kasutamisel

Geovõrgu kasutamise eesmärk on vähendada aluse paksust.

Geovõrguga armeeritud katendi struktuurarv

$$SN_r = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 LCR + a_3 D_3, \quad (35)$$

kus LCR - geovõrgu kihitegur, mis on alati üle ühe;
 m - niiskustingimusi arvestav tegur.

Valemis eeldatakse, et geovõrgu kasutamiseiga vähendatakse teise kihi paksust. Kehtib seos

$$LCR = \frac{SN_r - \sum a_i D_i m_i}{SN_u - \sum a_i D_i m_i}, \quad (36)$$

kus SN_u - geovõrguga armeerimata katendi struktuurarv;
 i - kihi, mille paksust ei korrigeerita, järjekorra number.

Geovõrgu kihitegur sõltub aluspinnase tugevusest ja selle arvutamiseks on graafikud. Näiteks Tenax geovõrgul

$$LCR = 17,138 CBR^{-0,1246} - 29,514 CBR^{-0,0623} + 14,12 \quad (37)$$

kus CBR - aluspinnase kalifornia tugevustegur.

Teades geovõrgu kihiteguri suurust on võimalik arvutada aluse kihi paksus

$$D_2 = \frac{SN_r - \sum a_i D_i m_i}{LCR a_2 m_2} \quad (38)$$

AASHTO arvutusmeetod põhineb 8-tonnise normkoormusel. Meil kasutatav koormussagedus on muudetud AASHTO kohaseks neljanda astme valemi järgi:

$$N_8 = N_{10} \left(\frac{10}{8} \right)^4, \quad (39)$$

kus N_8 ja N_{10} – vastavalt 8 ja 10- tonnise teljekoormusega koormussagedus.

Kumulatiivne koormussagedus 15-le aastale:

$$\sum_1^{15} N_i = 365 N_1 \frac{(q^{15} - 1)}{(q - 1)}, \quad (40)$$

kus N_1 - koormussagedus ehitusaastal;
 q - koormussageduse kasvutegur.

Arvutusnäide geovõrgu esinemise mõjust killustikukihi paksusele:

Koormussagedus, 10 t teljekoormus		2003	150	
		2025	200	
Koormussagedus, 8 t teljekoormus	(1.39)	2003	366	
	(1.39)	2025	488	
Perioodi pikkus, aastat	2025-2003		22	
Liikluse kasvutegur			1,0132	Geomeetriline progressioon
Koormussagedus, 8 t teljekoormus		2007	386	Ehitusaasta
Kasutusperiood	P_t		20	Võib olla ka muu, näiteks 15 a.
Kumulatiivne liikluskoormus	W_{18} (1.40)		3198564	
			6,505	
	$\log(W_{18})$			
Stuktuurarvu määramine				
Usaldusväärsus, %	R		85	Juhendist
Usaldusväärsususele vastav standardhälbe tegur	Z_R		-1,037	
Standardhälve	S_0		0,45	
Teenindustaseme indeksi lähtesuurus	(P_0)		4,2	Uuel teel
Teenindustaseme indeksi lõppsuurus	(P_t)		2	Remondiperioodi lõpus (2,5 või 2)
Aluspinnase elastsusmoodul	M_R	psi	4350	
	M_R	MPa	30	
Struktuurarvule vastav kumulatiivne liikluskoormus	$\log(W_{18})$		6,505	Sihthfunktsiooni abil, muutes SN, võrdsustada kumulatiivse liikluskoormusega
Struktuurarv	SN		4,54	

Katendi dimensioneerimine

Katendikihid	Kihi paksus D		Kihitegur a	aD
	cm	toll		
TAB 12 I	6,5	2,6	0,44	1,13
PAB 16	13	5,2	0,34	1,76
Killustik	20	7,9	0,12	0,94
Jäme liiv	20	7,9	0,09	0,71

Turvas				
Kokku	60			4,54

Katendikihid	Kihid paksus D		Kihitegur a	aD
	cm	toll		
TAB 12 I	3	1,2	0,44	0,52
PAB 16	6	2,4	0,34	0,80
Killustik	15	5,9	0,14	0,83
Jäme liiv	61	24,0	0,11	2,64
Turvas				
Kokku	85			4,79

Geovõrk

Katendikihid	Kihid paksus D		Kihitegur a	aD
	cm	toll		
TAB 12 I	6,5	2,6	0,44	1,13
PAB 16	13	5,1	0,34	1,74
Killustiku paksus ilma geovõrguta	20	7,9	0,12	0,94
Jäme liiv	20	7,9	0,09	0,71
Turvas				
Kokku	59,5			4,52
Geovõrgu kihitegur LCR (n. graafikult)	1,53		Sõltub aluspinnase CBR-ist (1.37)	
Killustiku paksus geovõrgu kasutamisel	13	5,3	$D_3=(SN-a_1D_1-a_2D_2-a_4D_4)/LCR/m_3$ (1.38)	

4. KOKKUVÕTE

Kokkuvõttes võib öelda, et maailmas on kasutusel väga lai valik erinevaid geosünteeete, mis on ette nähtud erinevate funktsioonide täitmiseks erinevates ehituskonstruksioonides ja nende osades, samuti ka teedehituses. Ka samaks otstarbeks kasutatavate geosünteeetide omadused on erinevad. Geosünteeetide tootjaid on maailmas palju.

Lähtudes toodete ja tootjate rohkusest, tuleb märkida, et olemasoleva kirjanduse baasil ei ole võimalik välja töötada ühtset ja kõigisse tingimustesse sobivat juhised geosünteeetide valikuks. Erinevad tootjad on välja töötanud oma tootevaliku, paigaldamistehnoloogia jmt. juhised koos ehitise dimensioneerimiseks vajaliku arvutitarkvara, mida siis pakutakse erinevatele huvigruppidele koos vastava kasutajakoolitusega või ilma. Projekteerija, kes näeb oma projektis ette geosünteeetide kasutamise, peaks olema siis saanud ka vastava ettevalmistuse firmalt, kelle tooteid ta oma projektis kasutab.

Käesolev töö annab vaid üldise ülevaate geosünteeetide liikidest, nende põhiomadustest, kasutusalaadest, valikupõhimõtetest ja paigaldustehnoloogiast, et projekteerija, kes ei ole varem eelnimetatud probleemistikuga kokku puutunud, saaks siit lühikest üldist informatsiooni.

KASUTATUD INFORMATSIOONIALLIKAD

1. Civil Engineering, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG.
2. E. Soonurm, Sillasammaste ja – vundamentide projekteerimise metoodiline juhend, Tallinna Polütehniline Instituut, Ehituskonstruksioonide kateeder, Tallinn, 1972
3. Engineering use of geotextiles, Joint Departments of the Army and the Air Force, TM 5-818-8/AFJMAN 32 1030, Washington USA, 1995, 65 lk
4. Geotekstiilid ja geotekstiilidega seotud tooted. Teede ja muude liiklusalade (v.a. raudteed aj asfaltsuletised) ehitamisel kasutamiseks vajalikud karakteristikud, Eesti Standard EVS-EN 13249:2001, 2001, 29 lk
5. Geotextile Technical Handbook, E.I. du Pont de Nemours and Company, http://www.typargeo.com/pdf/drainage_systems.pdf, 2003, 65 lk
6. Geotextile technical manual, Armtec ltd, Guelph Ontario, 15 lk
7. Geotextiles in road construction, maintenance and erosion control
8. Geotubes - a high tensile strength woven polypropylene geotextile, <http://www.infolink.com.au/articles/f0/0c018ff0.asp>, 2003, 2 lk
9. H. K. Moo-Young, D. A. Gaffney, X. Mo, Testing protsedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes, 19 lk
10. Installation Guidelines, http://www.typargeo.com/en/004/002_3.php?sess_id=34c5e4d9e6c4fd1a6d697b744e468150
11. K. P. von Maubeuge, C. M. Quirk, Geosynthetic Clay Liners and long-term slope stability, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, Manchester, UK
12. Nonwovens Installation Recommendations, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, Germany, 6 lk
13. NorGeoSpec 2002 A Nordic system for specification and control of geotextiles in road and other trafficked areas, Nordic Industrial Fund, 2004, 27 lk
14. Rankilor P. R. , UTF Geosynthetics Manual, Manchester UK: Manstock Geotechnical Consultancy Services Ltd, 1994, 287 lk
15. Reuter E. , Reinforcement with geosynthetics examples of applications and design, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, 2001, 53 lk
16. Technische Lieferbedingungen für Geotextilen und Geogritter für den Erdbau im Straßenbau, TL Geotex E-StB 95, Köln, 1995, 26 lk
17. The Carbofol geomembrane manufacturing process and its advantages over the blown sheet process, Naue Fasertechnik GmbH & Co KG, Germany, 50 lk
18. Use of geogrids in pavement construction, U.S. Army Corps of Engineers, ETL 1110-1-189, Washington USA, 2003, 36 lk
19. W. Wilmers, Geosynthetics in road construction- german regulations, 14 lk
20. <http://www.geofabrics.com/about.cfm>
21. <http://www.naue.com>
22. <http://www.geoterra.ru/geotextiles.htm>
23. Basal Reinforcement Constructing. Embankments over weak ground. <http://www.tensar-international.com>
24. TENAX Design of Flexible Pavements with Tenax Geogrids, Technical Reference Grid-de-2, 2001 <http://www.tenaxus.com/roads/designinformation/designmanual/FlexiblePavement.pdf>
25. AASTHO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. ISBN 1-56051-055-2. Washington DC, 1993.

26. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52. Maanteeamet. Tallinn, 2001. 50 lk.
27. Maanteede projekteerimismid. Eelnõu. TTÜ teedeinstituut, 2005. <http://www.mnt.ee/atp/?id=811>
28. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-83. Минтрансстрой СССР. Moscow, Transport, 1985. 157 p.
29. ГОСТ 25100-82 Грунты. Классификация. Москва, 1981. 9 lk.
30. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация. lk 6, 20-22.
31. Eesti projekteerimismid, EPN-ENV 7.1. Lisa 9, Geotehniline projekteerimine. Eesti Ehitusinformatsioon, ET-1 0113-0237. Juuni 1998. 6 lk.
32. EVS-EN ISO 14688-1:2002. Geotechnical investigation and testing- Identifications and classification of soils. Identification and description.
33. EVS-EN ISO 14688-2:2004. Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of soils. Principles for a classification.
34. EVS-EN ISO 14689:2004. Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of rock. Identification and description.
35. Teekonstruktsiooni kandevõimest mnt nr 18 Niitvälja-Kulna. AS Teede Tehnokeskus, PMS grupp, Tallinn 2006. 17 lk.
36. Priit Paabo. Teekatendite tugevuse hindamine dünaamilise koormusseadmega. Magistritöö, TTÜ teedeinstituut, Tallinn 2006. 77 lk.