

Arvi Kurik

**GEOSÜNTEETIDE
KASUTAMINE NÕRKADELE
ALUSPINNASTELE
MULDKEHADE RAJAMISEL**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond
Teedehituse eriala

Tallinn 2015

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS.....	6
2. ÜLDIST.....	7
2.1. Definitsioonid.....	7
2.2. Rakendused	8
2.2.1. Autoteed ja muud liiklusalad.....	8
2.2.2. Raudteed.....	9
2.3. Projekteerimise ja konstrueerimise kaalutlused	9
2.3.1. Üldist	9
2.3.2. Täiendavad konstrueerimise kaalutlused	11
2.3.3. Projekti muudatused.....	12
2.3.4. Koormused ja arvutusolukorrad	12
2.3.5. Kestvus	15
2.3.6. Ehitise purunemisolukorrad	15
3. PROJEKTEERIMINE.....	17
3.1. Kandepiirseisund.....	17
3.1.1. Üldist	17
3.1.2. Kandepiirseisundi järgi projekteerimine	19
3.1.3. Üldstabiilsus.....	20
3.1.4. Stabiilsus pinnase välja pressimisele	25
3.1.5. Kandevõime	28
3.2. Kasutuspiirseisund	32
3.2.2. Vajumid ja vajumite erimid.....	32
4. EHTUSMATERJALID.....	34
4.1. Nõuded geosüntetidele	34
4.1.1. Konkreetsetes kasutustingimustes olulised omadused.....	34
4.1.2. Omaduste esitamine	37
4.1.3. Märgistamine.....	37

4.2. Nõuded täitematerjalidele	38
4.2.1. Põhinõuded muldkehas kasutatavatele täitematerjalidele	38
5. EHITUSLIKUD NÕUDED JA SOOVITUSED	44
5.1. Ehituslikud meetodid.....	44
5.1.1. Muldkeha ehitamise üldnõuded	44
5.1.2. Käsitlemine ja hoiustamine.....	45
5.1.3. Ehitusplatsi ja aluspinnase ettevalmistus	45
5.1.4. Geosünteedide paigaldamine	46
5.1.5. Täite paigaldamine ja tihendamine	46
5.2. Inspekteerimine	48
5.2.1. Järelevalve kava	48
5.2.2. Inspeksioon ja kontroll.....	48
5.2.3. Projekti hindamine	49
5.2.4. Pinnasetingimuste kontroll.....	49
5.2.5. Ehitustööde kontrollimine	50
5.2.6. Seire.....	50
5.3. Hälbed	52
5.3.1. Geosünteedide lubatud hälbed	52
5.4. Kvaliteedi tagamine.....	54
5.4.1. Hooldus	54
6. KOKKUVÕTE.....	55
7. SUMMARY	56
VIIDATUD ALLIKAD.....	57
LISAD	59
Lisa 1. Pehmele pinnasel asuva muldkeha arvutamise näide.....	60

1. SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks on autor valinud „Geosünteedide kasutamine nõrkadele aluspinnastele muldkehade rajamisel“.

Teede ja raudteede muldkehade projekteerimine ja rajamine nõrkadele pinnastele, liigniisketele aladele või pehmele savisele pinnasele on traditsioonilisi meetodeid kasutades, milleks on üldiselt taoliste pinnaste välja kaevamine ja asendamine kõrgemakvaliteedilise materjaliga, loodusressursse raiskav ja koormaks keskkonnale, sest välja kaevatava materjaliga pole tihti peale midagi muud teha, kui viia vastavatesse ladustuskohadesse ning ehituseks sobivaid kõrgemakvaliteedilisi materjale jääb Eestis järjest vähemaks. Samuti on sellisel viisil ehitamine üldiselt ka majanduslikult ebaõkonoomne, sest välja kaevatud materjali ja kõrgemakvaliteedilise materjali transport võib vastavalt ladustuskoha ja maardla kaugusest sõltuvalt olla väga kulukas ning muudab seetõttu kulukaks ka kogu rajatise ehitamise.

Seetõttu on kerkinud üles vajadus alternatiivseid pinnaste parendusmeetodite kasutamiseks, mis oleks vähem loodusressursse raiskavad, seeläbi keskkonda hoidvamad ning ka kuluefektiivsemad. Üheks selliseks alternatiivseks pinnase parendusmeetodiks on kasutada muldkehade rajamisel geosünteele.

Geosünteedide kasvanud kasutamine muldkehade rajamisel on tinginud vajaduse paremini mõista geosünteedide omadusi nende kasutamiseks projekteerimisel, ehitamisel ning kvaliteedi kontrollil. Käesoleva lõputöö eesmärgiks on käsitleda geotekstiilide ja analoogsete funktsiooniga toodete kasutamist muldkehade rajamisel nõrkadele aluspinnastele ning esitada sellekohased arvutus alused.

Töös tuuakse välja, kuidas toimub nõrkadele aluspinnastele rajatavate muldkehade, milles kasutatakse geosünteede, projekteerimine, millised on nõuded kasutatavatele geosünteedidele ja muldkeha täitematerjalidele, milliseid ehituslikke meetodeid ja materjale tuleks kasutada ning kuidas peaks toimuma kvaliteedi tagamine.

2. ÜLDIST

Muldkehade konstrueerimine nõrkadele aluspinnastele on väljakutse geotehnilistele inseneridele. Tavapärasel ehitusmeetodil, pehme pinnas vahetatakse sobiva pinnasega või seda parendatakse (eelkoormustatakse, dünaamiline konsolidatsioon, segatakse või immutatakse lubja/tsemendiga) enne muldkeha paigutamist. Teised lahendused nagu etapiline konstrueerimine koos liivadreenidega, stabiliseerivate bermide kasutamine ja vaivundamendid on samuti rakendatavad. Need lahendused võivad olla, kas aega nõudvad, kallid või mõlemat. Alternatiivne lahendus on asetada geosünteedi (geotekstiili, geovõrgu või geokomposiidi) kiht pehmele aluspinnasele ja rajada muldkeha otse sellele. Vajalik võib olla rohkem kui üks geosünteeutiline kiht, kui aluspinnasel esineb tühimikke või nõrkasid piirkondi, mis on põhjustatud karstilehtrite, sulava jää, vanade ojade või nõrkade savi või turba taskute poolt. Sellistes olukordades kutsutakse tihti geosünteeutilist kihti alus geosünteeutiliseks kihiks. Mõnedel juhtudel võib kõige efektiivsem ja ergonoomilisem lahendus olla mõni tavapärase maaparanduse ja/või alternatiivse ehituse kombinatsioon koos geosünteeutilise kihiga. Näiteks võttes arvesse tugevuse suurenemist, mis ilmneb etapilisel muldkeha konstrueerimisel, saab kasutada madalama tugevuse ja seetõttu madalama maksumusega geosünteedi. [1]

2.1. Definitsioonid

Geosünteed (ing. *geosynthetic*) - üldnimetus toote kirjeldamiseks, mille vähemalt üks lehe-, riba- või kolmemõõtmelise tarindi kujuline koostisosa on valmistatud sünteetilisest või looduslikust polümeerist, ning mida kasutatakse kokkupuutes pinnase ja/või muude materjalidega geotehnilistel ja üldehituslikel rakendustel. [2]

Geotekstiil (ing. *geotextile*) - vedelikke läbi laskev tasapinnaline (sünteeutilisest või looduslikust) polümeerist tekstiilmaterjal, mis võib olla mittekoatud, punutud või koatud ning mida kasutatakse kokkupuutes pinnase ja/või muude materjalidega geotehnilistel ja üldehituslikel rakendustel. [2]

Geotehniline koormus (ing. *geotechnical action*) - pinnase, täite, vaba vee või pinnasevee põhjustatud koormus. [3]

Pinnas (ing. *ground*) - muld, kalju ja täide ehituskohas enne ehitustööde algust. [3]

Kandekonstruksioon (ing. *structure*) - organiseeritud kogum ühendatud elemente, kaasaarvatud ehituse ajal paigaldatud täide, mis on projekteeritud koormuse kandmiseks ja piisava jäikuse tagamiseks. [3]

Kandevõime (ing. *resistance*) - konstruktsioonelemendi või selle ristlõike võime ilma purunemata taluda koormust, näiteks aluse kandevõime, paindekandevõime, nõtkekandevõime, tõmbekandevõime. [3]

Sarrustamine (tugevdamine) (ing. *reinforcement*) - geotekstiili või geotekstiilipõhise toote pingedeformatsiooniomaduste kasutamine pinnase või muude ehitusmaterjalide mehaaniliste parendamiseks. [2]

Spetsifikatsioon (ing. *spetsification*) - mis tahes dokument, milles kirjeldatakse toote toimet, funktsioone ja kasutamise eritingimusi. [4]

Tarnija (ing. *supplier*) - isik või organisatsioon, kellelt geotekstiili ja/või geotekstiilipõhine toode on ostetud või muul moel saadud. [5]

2.2. Rakendused

2.2.1. Autoteed ja muud liiklusalad

2.2.1.1. Katteta teed

Geosüntee, eriti geotekstiile ja geovõrke on ulatuslikult kasutatud katteta teedes, et muuta nende konstruktsioon ökonoomsemaks vähendades teralise materjali kihi paksust, samuti parandades nende konstruktsiooni jõudlust ja pikendades nende kasutusiga. Geosünteeiline kiht paigaldatakse üldiselt teralise materjali ja aluspinnase kokkupuutekohta. [1]

Kui aluspinnas on pehme on peamiseks funktsiooniks sarrustamine piisava tõmbetugevuse mobiliseerimise tõttu geosünteeidis läbi suurte deformatsioonide aluspinnases. [1]

Nähes ette geosünteeetilise kihi on kõvakatteta tee jõudluse paranemine üldiselt täheldatav järgnevalt: [1]

1) kindla paksusega terastikulisest materjalist kihil saab liiklust suurendada;

2) sama liikluse korral saab vähendada teralisest materjalist kihi paksust võrreldes vajaliku paksusega, kui geosünteeiti ei kasutatud.“

Kõvakattega teede jõudluse paranemist saab täheldada ka püsivate deformatsioonide vähenemisega geosünteedide kasutamise korral. [1]

2.2.1.2. Kattega teed

Geosünteeetilisi kihte kasutatakse kattega teedel üldiselt teralise materjali ja pehme aluspinnase kokkupuutekohal nende ehitamise algstaadiumis, seda võidakse kutsuda katteta ajaks, stabiliseeriva kihina, et võimaldada ehitusseadmetel pääseda ligi nõrga aluspinnaga ehitusplatsidele ja muuta võimalikuks esimese paari teralise materjali kihi korralik tihendamine. Paksemate teralisest materjalist aluste korral, võib geosünteeit olla paigutatud teralisest materjalist kihti, eelistatult keskosasse, et saavutada optimaalne efekt. Geosünteedi olemasolu teralisest materjalist kandva kihi ja pehme aluspinnase kokkupuutekohas parandab üleüldist kattega teede jõudlust koos nende pika kasutusega selle lahutamise, filtrimise, drenimise ja sarrustamise funktsioonide tõttu. [1]

2.2.2. Raudteed

Geosünteedid mängivad tänapäevastes raudteede konstruktsioonides olulist rolli saavutamaks kõrgemat efektiivsust ja paremat jõudlust. Tänapäeval kasutatakse neid parandamiseks mõningaid raudtee toetuse probleeme. Geotekstiile kasutatakse ka kõrge hooldustasemega paikades nagu pöörangutel, rööbaste ristumistel, ümberlülititel ja raudtee ülesõidukohtades. Üks kõige olulisemaid geotekstiilide poolt teenindatavaid kohti on rööbastee all stabiliseerimaks piiripealset või kehva aluspinnast, mis võib kannatada tõsise muda-pumpamise ja vajumite all. [1]

2.3. Projekteerimise ja konstrueerimise kaalutlused

2.3.1. Üldist

Projekt peab looma lepingu dokumendid, et võimaldada ehitustöid, mis täidavad määratletud nõuded, mis käsitlevad ohutust, kasutuskõlblikkust, ökonoomsust ja kestvust, võttes arvesse eeldatavat kasutust. [6]

„Enne igasuguse pinnase parendamise või armeerimise meetodi valikut või kasutamist tuleb läbi viia pinnasetingimuste geotehniline uuring.“ [3]

„Pinnase parendamise meetodi valikul peab igal konkreetsel juhul vastavalt vajadusele võtma arvesse järgmisi tegureid [3]:

- looduslike pinnasekihtide või täite paksust ja omadusi;
- veerõhu suurust erinevates kihtides;
- pinnasele toetuva ehitise iseloomu, suurust ja asendit;
- läheduses asuvate ehitiste ja muude objektide kahjustamise vältimist;
- parendamise ajutisust või alalisust;
- parendamise teostamise ja ehitise püstitamise tähtaegade kooskõla, arvesse võttes prognoositavaid deformatsioone;
- mõju keskkonnale, sealhulgas reostust toksiliste ainetega või pinnasevee taseme muutusi;
- materjalide lagunemist aja mõjul.“

„Pinnase parendamise efektiivsust peab kontrollima vajalike pinnase omaduste muutuse määramise ja projektis ettenähtuga võrdlemise teel.“ [3]

Tugevdatud täite tehnoloogia peab olema kooskõlas ehitusmeetodiga ja tuleb valida projekteerimisstaadiumis. Projekt peab võimaldama ehituse teostamist realistlike kõrvalekallete piires. Üldiselt tugevdatud täitega rajatised, kui sellised, on elastsed ja võivad deformeeruda ehituse kestel ja pärast ehitust. Projekt peaks seetõttu arvesse võtma mõistlike ehituslike hälbeid arvestades vertikaal- ja horisontaalpaigutisi, kõrgusi ja asetust. Erikaalutlused tuleks teha, et võimaldada vajalike deformatsioone, kui tugevdatud pinnasekonstruktsioone kombineeritakse koos või paigutatakse jäiga konstruktsiooni kõrvale. [6]

Tuleks koostada projekti seletuskiri, mis kirjeldab rajatavaid ehitisi, projektis ellu viidavate tööde ulatust, nõutavat kasutust ja tööde läbi viimisega seotud ohtusid. Kui kasutatavate materjalide või meetodite osas on jäänud veel mõningast valikuvabadust peaks projekti seletuskiri rõhutama projekti erinõudeid, mis peaks mõjutama lõpliku valiku otsust. [6]

Projekti algstaadiumis tuleks arvesse võtta võimalike purunemise tagajärgi eluohtlikkuse, võimaliku majandusliku kahju, ebamugavuse, kaasa arvatud teenuste katkestuste, seisukohalt, vastavalt EN 1997-1 esitatud kategooriatele. [6]

„Mulded peab projekteerima arvestades kogemust samasugustel pinnastel ja samasugustest täitest ehitatud mulletega.“ [3]

„Mulde aluspinna sügavuse valikul tuleb olenevalt tingimustest arvestada järgmist [3]:

- ulatumine piisava kandevõimega kihini või kui see ei ole võimalik siis tugevusabinõude ettenägemine;
- piisava kaitse kavandamine pinnase kandevõimele ebasoodsalt mõjuvate kliimaatiliste tegurite vastu;
- pinnasevee tase arvestades drenaaži muldes;
- lähedal asuvate ehitiste ja seadmete ebasoodsa mõju vältimine;
- ulatumine piisavalt väikse veejuhtivusega kihtideni.“

„Mulde projekt peab tagama, et [3]:

- aluse kandevõime oleks piisav;
- mitmesuguste täitekihtide drenaaž oleks piisav;
- filtri või geosünteedid oleksid määratletud kohtades, kus on vajalik filtreerimisnõuete täitmine;
- täitematerjali oleks määratud vastavalt jaotises 4.2.1.1 esitatud tingimustele.“

„Mulde nõlva projekteerimisel peaks arvestama, et külmumise ja sulamise käigus võivad tekkida roomest tingitud liikumised vaatamata nõlva püsivusele kuivas olekus. See on eriti tähtis üleminekutsoonides, näiteks silla kaldasammaste kõrval.“ [3]

2.3.2. Täiendavad konstrueerimise kaalutlused

Koormustingimusi, kaasa arvatud juhuslike koormuseid ja mööduvaid koormuseid, kliima mõju ja hüdrauililisi tingimusi tuleb arvesse võtta nii alaliste, kui ka ajutiste tugevdatud täitega rajatiste korral. Alaliste ja ajutiste tugevdatud täitega rajatiste mõju kõrval asuvatele rajatistele tuleb arvesse võtta. [6]

Hüdrauililised tingimused peavad sisaldama hüdrauililise koormamise mõju ning vee ja saasteainetega kokkupuutumisest tulenevat mõju kestvusele. [6]

Tähelepanu tuleb pöörata tugevdatud täitega rajatise võimele taluda eeldatavaid kogu ja ebaühtlaste vajumite, külmakergete, deformatsioonide ja liikumiste suurus. Selliseid tugevdatud täitega rajatiste vajumeid, deformatsioone ja liikumisi tuleb vajaduse korral ehituse edenedes jälgida, et võrrelda eeldustega. [6]

Vajaduse korral tuleb ehituse ajaks ette näha erikaalutlused drenaažile. [6]

Mistahes piirangutele ehitamisel nagu keskkonnatingimused, kaasa arvatud müra ja vibratsioon, tõusuveega töötamine, kliimaatilised tingimused ning mistahes järkjärguline ehitamine, tuleks ette näha erikaalutlused. [6]

Kui konstrueerimise staadiumis pole teada, kust kasutatavad materjalid pärinevad ja nende omadused tuleb projektsed eeldused märkida projektdokumentatsioonis. [6]

Taimestikuga kaetud pealistisega tugevdatud täitega rajatiste puhul tuleb arvestada pealistissüsteemi tarnija ehituslikke erijuhiseid, et tagada püsiv taimestik. [6]

2.3.3. Projekti muudatused

Muudatused võivad olla vajalikud, kas ettenägematute tingimuste ilmnemisel või planeeritud paranduste korral tulenevalt vaatlusmeetodi kasutamisest. Vajalikest muudatustest ettenägematute tingimuste ilmnemise tõttu nagu muutused pinnases või hüdraulilised tingimused tuleb koheselt teatada. Kui ehitustegevus nõuab projektdokumentatsioonis määratletud konstruktsioonile muudatusi, siis tohib selle täide viia peale seda, kui projekt on üle kontrollitud ja vastavalt parandatud. [6]

2.3.4. Koormused ja arvutusolukorrad

2.3.4.1. Koormused

„Geotehniliste koormuste arväärtused tuleb valida enne arvutust; need võivad muutuda arvutuse käigus. Sellisel juhul kasutatakse arvutuse alustamisel esimese lahendusena tuntud väärtusi. Arvutustes kasutatavate koormuste määramisel peab arvestama kõiki ehitise ja pinnase koostöö võimalusi.“ [3]

„Koormuste valikul piirseisundite arvutuseks peaks arvestama järgmist loetelu [3]:

- pinnase, kalju ja vee omakaal;
- pinnase pingeseisund;
- pinnasesurve;
- vabavee surve koos laine koormusega;
- pinnaseveerõhk;
- hüdrodünaamiline pinnaseveerõhk;
- ehitise omakaalu- ja kasuskoormused;
- manukoormus (ehitise läheduses pinnasele mõjuv koormus);

- laevade kinnitusjõud;
- mõjuva jõu eemaldamine või pinge vähenemine pinnases kaevetööde tõttu;
- liikluskoormus;
- maapinna vajumine kaevanduste, muude kaevete või tunnelite rajamise tõttu;
- pinnase pundumine või mahukahanemine taimestiku, temperatuuri või niiskuse muutuse tõttu;
- pinnasemassiivi roomest või lihkest põhjustatud paigutised;
- erosioonist, dispersioonist, lagundamisest, isetihenemisest või keemilisest lahustamisest põhjustatud paigutised;
- maavärinaist, löiketöödest, vibratsioonidest ja dünaamilisest koormustest tingitud paigutised ja kiirendused;
- temperatuurimõjud, sealhulgas külmakerked;
- jääsurvest tingitud jõud;
- pinnaseankrute ja tõmbide eelpingutusjõud;
- allapoole suunatud mõju (näiteks vaia negatiivne külghõõre).“

„Muutuvkoormuste korral peab silmas pidama, et need võivad mõjuda üksteisest eraldi või üheaegselt.“ [3]

„Koormuse mõjumise kestust peab arvestama kooskõlas pinnase ajalist käitumist mõjutavate teguritega, eeskätt peeneteralise pinnase veejuhtivuse ja kokkusurutavusega.“ [3]

„Korduvaid või muutuva intensiivsusega koormusi peab käsitlema eraldi juhul, kui nad võivad põhjustada pinnase püsiliikumist, veeldumist või jäikuse ning tugevuse muutumist.“ [3]

„Erilist tähelepanu tuleb pöörata konstruktsioonile ja pinnasele mõjuvatele dünaamilistele koormustele.“ [3]

„Juhul kui domineerivaks koormuseks on pinnasesurve ja vabavee surve, tuleb selle mõjule pöörata erilist tähelepanu arvestades pinnase deformeerumist, pragunemist ja veeldumist ning erosiooni.“ [3]

„Mulde poolt naaberkonstruktsioonidele või igasugustele armeeritud pinnase osadele avaldavate koormuste tuletamisel peaks arvestama jäikuste erinevust.“ [3]

2.3.4.2. Arvutusolukorrad

„Arvestama peab nii lühiajalisi kui pikaajalisi arvutusolukordi.“ [3]

„Geotehnilisel projekteerimisel peaks arvutusolukordade üksikasjalik kirjeldus sisaldama järgmist, kui on antud tingimustes kohane [3]:

- koormused, nende kombinatsioonid ja jõudude jaotus;
- ehitise aluse üldine sobivus üldstabiilsuse ja pinnase liikumiste seisukohast;
- arvutusmudelisse kuuluvate pinnase, kalju ja konstruktsioonelementide asend ning liigitus;
- kaldsed pinnasekihid;
- kaevandused, allmaaehtised ja õõned;
- ehituskoha keskkonnaga seotud:
 - maapinna reljeefi muutvad uhtumise, erosiooni ja kaevandamise mõjud;
 - keemilise korrosiooni mõju;
 - pinnase murenemise mõju
 - külmumise mõju;
 - pikaajalise põua mõju;
 - pinnase- ja põhjavee taseme muutused, sealhulgas tehniliku veealanduse, võimaliku üleujutuse, drenaažisüsteemi rikke ja veetarbimise mõju;
 - pinnasest eralduvate gaaside mõju;
 - muud ajast ja keskkonnast tingitud mõjud materjali tugevusele ning teistele omadustele, näiteks loomade tekitatud urud;
- maavärinad;
- kaevanduste või muude tegevustega põhjustatud langustega seotud maapinna liikumised;
- ehitiste tundlikkus deformatsioonide suhtes;
- uute ehitiste mõju olemasolevatele ehitistele, kommunikatsioonidele ja keskkonnale.“

„Lisaks peab vajadusel arvesse võtma järgmisi spetsiaalseid arvutusolukordi [3]:

- ehitusprotsessi mõjud nagu kaevandamine mulde lähedal ja lõhkimiste, vaiade rammimise või raskete seadmete põhjustatud vibratsioonid;
- mulde peale või lähedale kaevandatud ehitise rajamise mõju;
- vee ülevoolamise, jää, lainete ja vihma põhjustatud erosiooni mõju nõlvale ja harjale;
- temperatuuri mõju nagu mahukahanemine.“

„Arvutuslik vabavee tase mulde kuivnõlval ja arvutuslik pinnasevee või nende kombinatsioon peab põhinema hüdrooloogilistel andmetel andmaks ebasoodsamaid tingimused vaadeldavas arvutusolukorras. Arvestama peab drenide, filtrite ja isolatsioonikihtide rikkeid.“ [3]

„Poorivee rõhu arvutusliku jaotuse tuletamisel peab arvestama veejuhtivuse anisotroopsuse võimalikku ulatust ja pinnase ebaühtlust.“ [3]

„Mulde vajumite arvutamisel peab arvestama kuivamiskooriku või täitepinnase uputamisest tingitud efektiivpinge vähenemist.“ [3]

2.3.5. Kestvus

„Geotehnilisel projekteerimisel peab arvestama keskkonnatingimusi, et hinnata nende võimalikku mõju ehitise ajalisele vastupidavusele ja materjalide vastupanuvõimet nendele tingimustele ning vajadusel ette näha kaitseabinõusid.“ [3]

Pinnases asuvate sünteetiliste materjalide ajalise vastupidavuse arvestamisel peab silmas pidama vananemist ultraviolettkiirguse ja osooni või temperatuuri ja pinge kombineeritud mõjul ja keemilise lagunemise sekundaarset mõju. [3]

„Viidata tuleks vastavate konstruktsioonimaterjalide kestvust käsitlevatele nõuetele.“ [3]

2.3.6. Ehitise purunemisolukorrad

2.3.6.1. Piirseisundid

„Projekteerimisel kontrollitavate mulde piirseisundite kohta peab koostama loetelu.“ [3]

„Kontrollima peaks järgmisi piirseisundeid [3]:

- üldstabiilsuse kaotus;
- mulde nõlva või harja purunemine
- purunemine seesmise erosiooni tõttu;
- purunemine pindmise erosiooni või uhtumise tõttu;
- kasutuskõlblikkuse kaotus mulde deformatsioonide tõttu, näiteks ülemäärane vajumine või pragunemine;
- vajumid ja roomepaigutised, mis põhjustavad lähedal asuvate ehitiste või tehnovõrkude kahjustust või kasutuskõlblikkuse kaotust;
- üleminekutsoonide, näiteks sillasamba juurdepääsu mulle, ülemäärased deformatsioonid;
- liiklusalade kasutuskõlblikkuse kaotus kliimatiliste mõjude, näiteks külmumise ja sulamise või ekstreemse kuivamise, tõttu;
- nõlvade roome külmumise ja sulamise perioodidel;

- rasketest liikluskoormustest põhjustatud jämedast materjalidest aluskihtide kahjustus;
- hüdraulilistest mõjudest põhjustatud deformatsioonid;
- keskkonnatingimuste muutused nagu pinna- või põhjavee reostus, müra või vibratsioonid.“

„Piir seisund võib olla põhjustatud aluse või konstruktsiooni purunemise või aluse ja konstruktsiooni kombineeritud purunemise tõttu.“ [3]

3. PROJEKTEERIMINE

Muldkehade stabiilsust nõrkadel pinnastel saab tõhustada kasutades muldkeha kokkupuutetsooni paigaldatud geosünteesilist tugevdust. See ei hoia ära vajumist, kuid üldiselt muudab selle ühtlasemaks. [7]

Kui analüüsitakse ja projekteeritakse tugevdust uuritakse esialgset stabiilsust, igat ehitusjärku ja lõpliku stabiilsust. Kui arvutuslik stabiilsus on puudulik, siis tugevdus annab tasakaalu tingimustes täiendava vastupanu. [7]

Kui stabiilsus lõplikus seisundis on ilma tugevdusteta piisav, siis tugevduse eksploatatsiooniline eluiga vastab konsolideerumise kestvusele. Kui tugevdatud muldkeha arvutusliku stabiilsust ei saa tagada lõplikus seisundis, peab tugevdus olema projekteeritud muldkeha eksploatatsioonilisele elueale. [7]

Kõiki võimalike purunemisolukordi peab arvesse võtma nõrkadel aluspinnastel muldkehade stabiilsuse uurimisel. Need põhinevad üldisel purunemisel, kus uuritakse mõlemaid, nii silindrilisi kui ka lineaarselt piiritletud purunemisviise. Üleminekutsoonid pinnase ja ülemiste ning alumiste geosünteesilise tugevduse pindade vahel vastavalt, kummal muldkeha konstruktsioon võib lihkuda, kirjeldatud purunemistasapinnad vajavad spetsiaalseid uuringuid. [7]

3.1. Kandepiirseisund

3.1.1. Üldist

„Kui kohane, peab kontrollima, et järgmised piirseisundid ei ole ületatud [3]:

- jäiga kehana vaadeldava ehitise või pinnase tasakaalu kaotus, kusjuures konstruktsioonimaterjali või pinnase tugevus on tähtsusetu kandevõime tagamiseks (EQU);
- konstruktsiooni või konstruktsiooni osa purunemine või ülemäärane deformatsioon, kusjuures konstruktsioonimaterjali tugevus on oluline kandevõime tagamiseks (STR);
- aluse purunemine või ülemäärane deformatsioon, kusjuures pinnase või kalju tugevus on oluline kandevõime tagamiseks (GEO);

- ehitise või aluse tasakaalu kaotus tõusva veerõhu või teiste vertikaalkoormuste tõttu (UPL);
- hüdraulilisest gradiendist põhjustatud hüdrauliline kerkimine, seesmine erosioon või voolukanalite teke pinnases (HYD).“

„Kasutama peab alalise ja ajutise arvutusolukorra kohta määratletud osavarutegureid.“ [3]

„Konstruktsiooni (STR) või geotehnilise (GEO) piir seisundi kontrollimiseks peab kasutama koormuste või koormustulemite osavarutegureid komplektist A1 või A2 (Tabel 1) [3]:

- γ_G ebasoodsale või soodsale alaliskoormisele;
- γ_Q ebasoodsale või soodsale muutuvkoormisele.“

Tabel 1

Koormuste või koormustulemite osavarutegurid [3]

Koormus		Tähis	Komplekt	
			A1	A2
Alaline	Ebasoodus	γ_G	1,35	1,0
	Soodus		1,0	1,0
Muutuv	Ebasoodus	γ_Q	1,5	1,3
	Soodus		0	0

„Konstruktsiooni (STR) või geotehnilise (GEO) piir seisundi kontrollimiseks peab kasutama järgmisi pinnase parameetrite osavarutegureid komplektist M1 või M2 (Tabel 2) [3]:

- $\gamma_{\phi'}$ ebasoodsale või soodsale alaliskoormisele;
- γ_{cu} ebasoodsale või soodsale muutuvkoormisele;
- γ_{qu} ebasoodsale või soodsale alaliskoormisele.“

Tabel 2

Pinnase parameetrite osavarutegurid [3]

Pinnase parameeter	Tähis	Väärtus
Sisehõõrdenurk ^{a)}	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Dreenimata nihketugevus	γ_{cu}	1,4
Ühetelgne tugevus	γ_{qu}	1,4
^{a)} Tegur rakendatakse $\tan\phi'$ kohta		

„Koormuse ja koormustulemi osavarutegurid erakordse arvutusolukorra puhul tuleks tavaliselt võtta võrdseks 1,0-ga. Sel juhul kõik kandevõime osavarutegurid tuleks valida vastavalt erakordse olukorra eritingimustele.“ [3]

„Erakordse riski, ebahariliku või erakordselt keerulise aluse või koormustingimuste puhul peaks kasutama soovitatutest kõrgemaid väärtusi.“ [3]

„Juhul kui tõenäolised tagajärjed seda õigustavad, võib ajutiste ehitiste ja ajutiste projekteerimisolukordade puhul kasutada soovitatutest madalamaid väärtusi.“ [3]

„Kandevõime (R_d) või koormustulemi (E_d) arvutusväärtuste määramisel võib kasutada arvutusmudeli ebatäpsust arvestavaid osavarutegureid tagamaks, et arvutusmodel oleks täpne või veaga tagavara kasuks.“ [3]

„Kui teatud piirseisundi kontrollimiseks puudub usaldusväärne arvutusmodel, peab projekteerimisel lähtuma teistest piirseisunditest. Seejuures peab kasutama osavarutegureid, mis lubaksid piirseisundi, mille jaoks puudub arvutusmodel, tekkimist piisavalt väikese tõenäosusega. Alternatiivina saab kasutada projekteerimist konstruktiivsete eeskirjade, mudel- ja koormuskatsete ja vaatlusmeetodi abil.“ [3]

Geosünteedide materjali ja osavarutegurid „Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7“ kohaselt on järgmised [8]:

- Tugevduse materjalitegur $\gamma_{re} = 1,0$;
- Osavarutegur liikumisele mööda tugevduse pinda $\gamma_s = 1,1$ (NCCI 7: $\gamma_s = \gamma_{R,h}$ tabelist, A.5(FI), Sarja R2);
- Tugevduse vatupanu väljatõmbele (ankurduse) osavarutegur $\gamma_p = 1,1$ (NCCI 7: $\gamma_p = \gamma_{R,h}$ tabelist, A.5(FI), Sarja R2).

3.1.2. Kandepiirseisundi järgi projekteerimine

„Stabiilsuse, piirdeformatsioonide ja lähedal asuvate ehitiste ning kommunikatsioonide paigutiste põhinoüete täitmiseks peab arvestama konkreetsetes pinnasetingimustes kõiki võimalikke piirseisundeid.“ [3]

„Mõned võimalikud piirseisundid on järgmised [3]:

- pinnase ja sellega seotud konstruktsioonide üldstabiilsuse kaotus;
- ülemäärased paigutised nihkedeformatsioonide, vajumite, vibratsioonide või tõusmise tõttu;

- naaberehitiste, teede või tehnovõrkude kahjustus või kasutuskõlblikkuse kaotus liikumiste tõttu pinnases“

„Kuna muldeid ehitatakse sageli järkude kaupa erinevate koormustingimuste juures, peaks arvutused olema tehtud järk järgu järel jälgides geotehnilise projekti aruande tingimusi.“ [3]

„Kui kasutatakse kergeid täitematerjale nagu vahtpolüstüreeni, keramsiiti või vahtbetooni, peab arvestama vee üleslükkejõudu.“ [3]

„Igasuguste erinevaid täitematerjale sisaldavate mullete arvutamisel peab kohandama tugevuste väärtusi, mis määratakse suhteliste deformatsioonide võrdsuse tingimusest.“ [3]

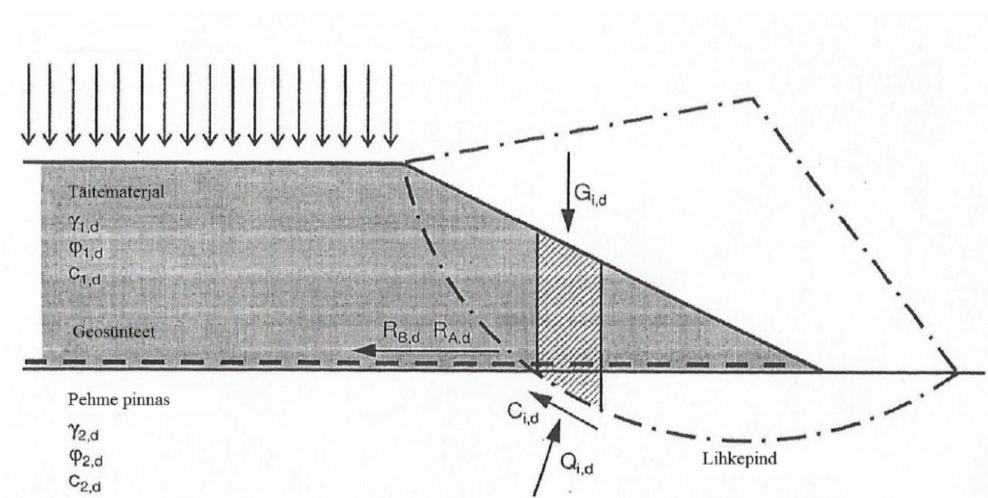
„Kohtades, kus muldega lõikuvad teed või vooluveekogud peaks erilist tähelepanu pöörama erinevate konstruktsioonialementide ruumilisele koostööle.“ [3]

„Parendatud pinnase püsivuse arvutusel peaks arvestama parendamise protsessi mõju, näiteks pehme tundliku savi struktuuri rikkumist. Kui parendamise efekt on ajast sõltuv, ei peaks seda arvestama olukorras enne statsionaarset lõpliku seisundit.“ [3]

3.1.3. Üldstabiilsus

Muldkeha ehitamisel pehmele pinnasele on vajalik uurida üldstabiilsust lihkepindadel, mis [7]:

- jääb muldkeha konstruktsiooni ja ei lõiku armeeritud kihtidega;
- jääb muldkeha konstruktsiooni ja lõikuvad armeeritud kihtidega;
- on muldkeha konstruktsioonis ja pinnases ning lõikuvad armeeritud kihtidega (Joonis 1).



Joonis 1. Üldstabiilsuse analüüs koos lõigatud tugevdusega [7, p. 44]

Tugevduse vastupanu võetakse vastu takistava jõuna, kus järgmistest väärtustest väikseim on vastu võetud [7]:

- armeeritud kihi arvutuslik jäikus $R_{B,d}$ (STR);
- vastavast lihejoonest „vasakul“ ($R_{AL,d}$) või „paremal“ ($R_{AR,d}$) asuva ümbritseva täitematerjali armeeritud kihi väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus (GEO)
- vastavast lihkumisjoonest „paremal“ asuva hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus ($R_{O,d}$) geosünteedi peal.

See vastupanu võetakse rakendamisel vastu ettevaatlikult deformeerumata olekus. [7]

Eristatakse esialgset seisundit, mistahes ehitusjärgkusid ja lõpliku seisundit. [7]

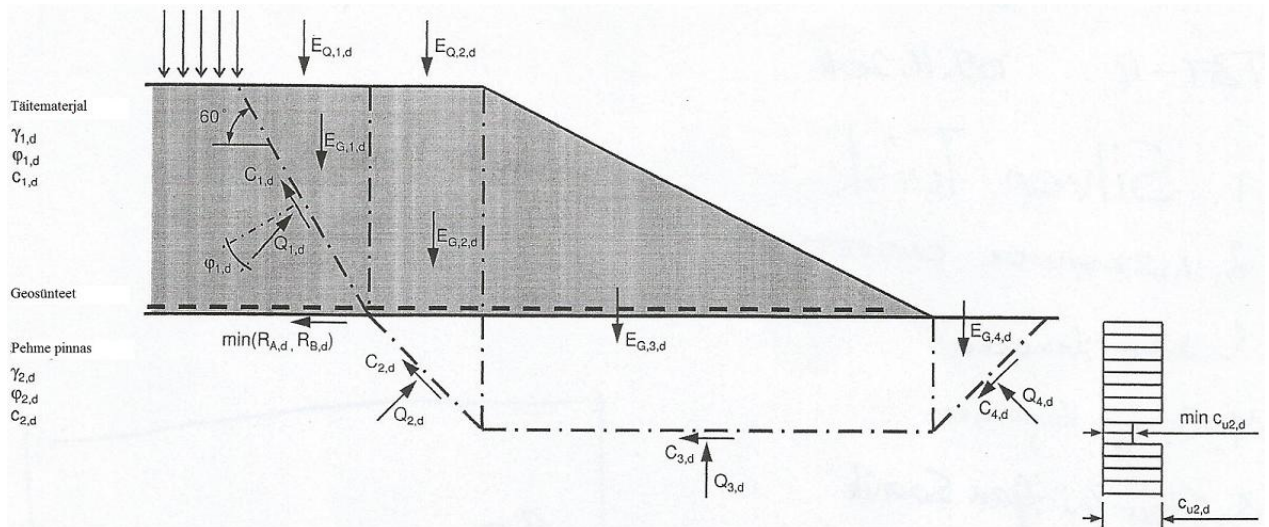
Töökindlus üldise purunemise vastu on piisav, kui järgnev tingimus on täidetud kõigi võimalike purunemisolukordade koormuste ja vastupanude väärtuste poolt (1) [7]:

$$E_d \leq R_d + \min(R_{B,d}; R_{AL,d}; R_{AR,d}; R_{O,d}), \quad (1)$$

kus	E_d	– arvutuslik koormustulem;
	R_d	– arvutuslik kandevõime;
	$R_{B,d}$	– armeeritud kihi arvutuslik jäikus;
	$R_{AL,d}$	– vastavast lihejoonest vasakul asuva väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus (GEO) ;
	$R_{AR,d}$	– vastavast lihejoonest paremal asuva väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus (GEO) ;
	$R_{O,d}$	– hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus geosünteedi peal (STR), vastavast lihkepinnast paremal.

3.1.3.1. Määratletud lihkepind pehmes pinnases

Konstruksiooniliselt ja/või geoloogiliselt määratletud lihkepindadele (näiteks väga madalate haardumis- või hõõrdumisteguritega elastsetele membraanidele muldkeha all ja/või sügavamatele, õhukestele väga madala nihketugevusega kihtidele) tuleks üldstabiilsust analüüsida kasutades liitpurunemismehhanisme (Joonis 2.). [7]



Joonis 2. Üldstabiilsuse analüüs defineeritud lihkepindadele [7, p. 46]

3.1.3.2. Lihkepind geosünteedi ja täitematerjali vahel või geosünteedi ja pehme pinnase vahel

Piirpinnad muldkeha täitematerjali/geosünteedi ja geosünteedi/pinnase vahel esindab eelistatud lihkepindasid (Joonis 3). Piisav lihkumise stabiilsus esineb kui järgnevad tingimused on täidetud (1) (3) [7]:

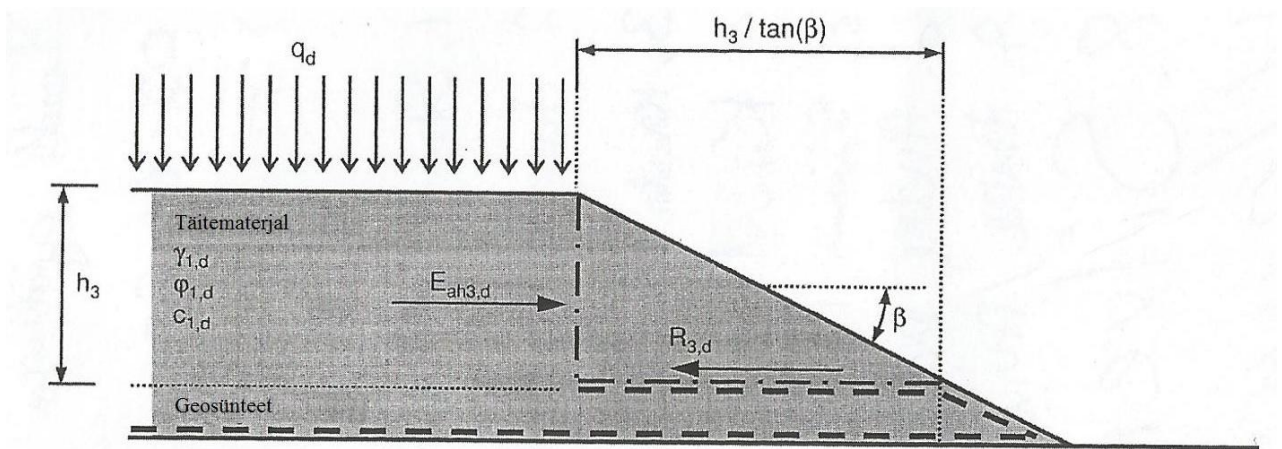
$$E_{ah,d} \leq R_{O,d}, \quad (2)$$

$$E_{ah,d} \leq R_{U,d} + \min(R_{B,d}; R_{A,d}), \quad (3)$$

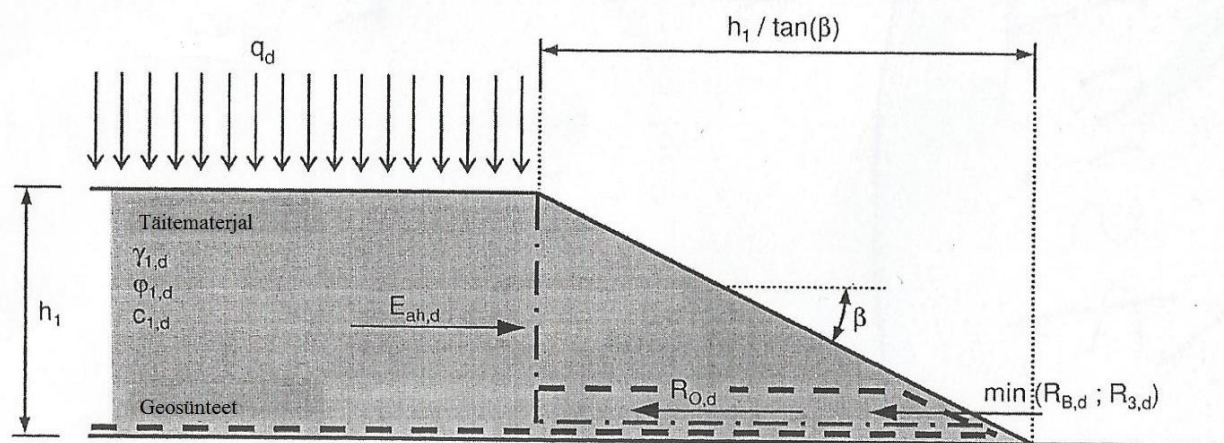
- kus
- $E_{ah,d}$ – aktiivsurve horisontaalkomponendi arvutuslik väärtus;
 - $R_{O,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi pealispinna vahel;
 - $R_{U,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus geosünteedi aluspinna ja aluspinnase vahel;
 - $R_{B,d}$ – tugevduskihi arvutuslik vastupanu (STR) ;
 - $R_{A,d}$ – ümbritseva pinnasest põhjustatud väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus (GEO) ;

Väiksem väärtustest, kas $R_{B,d}$ või $R_{A,d}$, on määratlev väärtus.

Lihkumise stabiilsuse analüüs tugevduse all viiakse läbi kasutades tagasikeeratud tugevdusega konstruktsioonidele mõeldud valemit (3). [7]



a) Muldkeha lihkumine tagasikeeratud koha peal



b) Muldkeha lihkumine tugevduskihi peal

Joonis 4. Muldkeha lihkumise stabiilsuse analüüs koos tagasikeeratud geotekstiilist tugevdusega muldkeha servas [7, p. 48]

Lõike tuleb uurida ka muldkeha külgede lihkumise vastu tagasikeeratud koha peal (Joonis 4 a) ja muldkeha lihkumise vastu tugevduse kohal (Joonis 4 b). Järgnevad tingimused peavad olema täidetud (4) (5) [7]:

$$E_{ah3,d} \leq R_{3,d}, \quad (4)$$

$$E_{ah,d} \leq R_{O,d} + \min(R_{3,d}; R_{B,d}), \quad (5)$$

- kus $E_{ah,d}$ – aktiivsurve horisontaalkomponendi arvutuslik väärtus (muldkeha kõrguse h suhtes);
- $R_{O,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi pealispinna vahel;
- $R_{3,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi pealispinna vahel (pikkuse $h_3/\tan\beta$ suhtes);
- $R_{B,d}$ – tugevduskihi arvutuslik vastupanu (STR);
- Väiksem väärtustest, kas $R_{B,d}$ või $R_{3,d}$, on määratlev väärtus.

3.1.3.4. Koormused

Pinnase omakaalust ja muutuvkoormusest tulenevad pinnasesurved muldkeha harjal on vastu võetavad koormustena (6) [7]:

$$E_{ah,d} = \gamma_G * (\gamma_{1,k} * 0,5 * h_1 * h_1 * K_{agh}) + \gamma_Q * (p_k * h_1 * K_{aph}), \quad (6)$$

- kus $E_{ah,d}$ – pinnasesurve arvutuslik väärtus kogu kõrgusele;
- h_1 – muldkeha kogukõrgus;
- γ_G – alaliskoormuse osavarutegur GEO piir seisundis;
- $\gamma_{1,k}$ – muldkeha täitematerjali mahukaalu osavaruteguri normväärtus;
- K_{agh} – horisontaalse pinnasesurve tegur omakaalukoormusest;
- γ_Q – muutuvkoormuse osavarutegur GEO piir seisundis;
- p_k – muutuvkoormuse karakteristik;
- K_{aph} – horisontaalse pinnasesurve tegur kasuskoormustest.

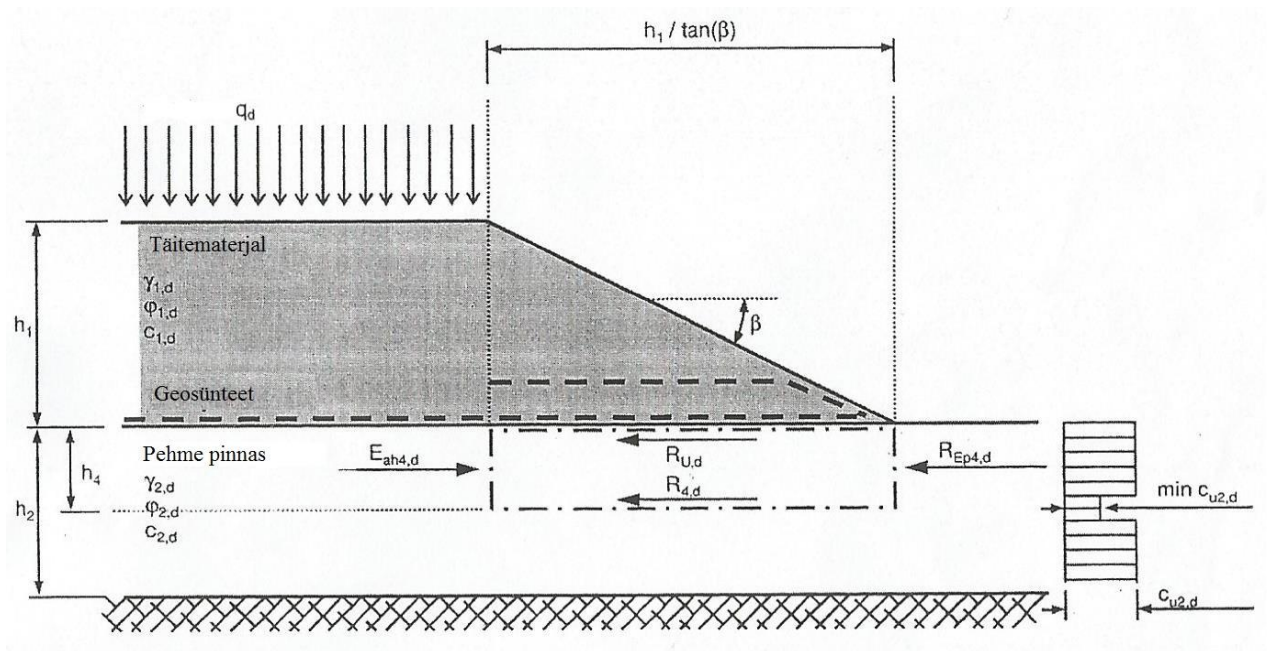
3.1.4. Stabiilsus pinnase välja pressimisele

Pinnase välja pressimine on eriti laialt levinud, kui paigaldatakse muldkeha kandekonstruktsiooni, eriti esialgses seisundis, kui pinnas on väga nõrk ja pehme pinnase paksus on piiratud (Joonis 5). Analüüsitakse (GEO) piir seisundit. [7]

Pinnase dreanimata nihketugevuse vastuvõtmisel peab pinnase monoliidile, mis kõnesolevalt tuleneb muldkeha ladestamisest, arvestama järgnevat koormust (7) [7]:

$$E_{ah4,d} = \gamma_G * (\gamma_{1,k} * h_1 * h_4 + 0,5 * \gamma_{2,k} * h_4^2 - 2 * c_{u2,k} * h_4), \quad (7)$$

- kus $E_{ah4,d}$ – pinnasesurve arvutuslik väärtus, määratud kasutades dreenimata pinnase nihketugevust;
- γ_G – alaliskoormuste osavarutegur GEO piirseisundis;
- $\gamma_{1,k}$ – muldkeha täitematerjali mahukaalu osavaruteguri normväärtus;
- h_1 – muldkeha kogukõrgus;
- h_4 – pinnasemonoliidi kõrgus ($h_4 \leq h_2$);
- $\gamma_{2,k}$ – pinnase mahukaalu osavaruteguri normväärtus;
- $c_{u2,k}$ – dreenimata pinnase nihketugevuse osavaruteguri normväärtus.



Joonis 5. Pinnase välja pressimine [7, p. 51]

Võetakse vastu järgnevaid vastupanusi [7]:

- passiivne pinnasesurve pinnase monoliidi ees (passiivne pinnase surve dreenimata olekus) (8);

$$R_{Ep4,d} = 0,5 * \gamma_{2,d} * h_4^2 + 2 * c_{u2,d} * h_4, \quad (8)$$

- hõõrdevastupanu normväärtus geosünteedi all $R_{U,d}$ (vaata jaotist 3.1.5.3);
- hõõrdevastupanu normväärtus pinnases pinnasemonoliidi all (9)

$$R_{4,d} = c_{u2,d} * L = c_{u2,d} * \frac{h_1}{\tan \beta}, \quad (9)$$

- kus $R_{Ep4,d}$ – passiivse pinnasesurve arvutuslik väärtus pinnase monoliidi ees;
- $R_{4,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus pinnases pinnasemonoliidi all;

- $\gamma_{1,d}$ – muldkeha täitematerjali mahukaalu arvutuslik väärtus ($\gamma_{1,d} = \gamma_{1,k}$);
- $\gamma_{2,d}$ – pinnase mahukaalu arvutuslik väärtus ($\gamma_{2,d} = \gamma_{2,k}$);
- h_4 – pinnasemonoliidi kõrgus ($h_4 \leq h_2$);
- $c_{u2,d}$ – dreanimata pinnase nihketugevuse arvutusväärtus ($c_{u2,d} = c_{u2,k}/\gamma_{cu}$);
- L – pikkus;
- h_1 – muldkeha kogukõrgus;
- β – nõlva kalle ($\tan \beta = 1 : n$).

Homogeenses pinnases kõrgus h_4 vastab kõrgusele h_2 . Mistahes eriliste pinnase nõrkade tsoonide kõrgus (vaata ka Joonis 2) on vastu võetud h_4 jaoks. [7]

Piisav pinnase väljapressimise stabiilsus eksisteerib, kui järgnevad tingimused on täidetud (10) (11) [7]:

$$E_{ah4,d} \leq R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d}, \quad (10)$$

- kus
- $E_{ah4,d}$ – pinnasesurve arvutuslik väärtus, määratud kasutades dreanimata pinnase nihketugevust;
 - $R_{Ep4,d}$ – passiivse pinnasesurve arvutuslik väärtus pinnase monoliidi ees;
 - $R_{U,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus geosünteedi aluspinna ja aluspinnase vahel;
 - $R_{4,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus pinnases pinnasemonoliidi all;

ja

$$R_{U,d} \leq \min(R_{B,d}; R_{A,d}), \quad (11)$$

- kus
- $R_{U,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus pinnases pinnasemonoliidi all;
 - $R_{B,d}$ – tugevduskihi arvutuslik vastupanu (STR);
 - $R_{A,d}$ – ümbritseva pinnasest põhjustatud väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus (GEO);

Väiksem väärtustest, kas $R_{B,d}$ või $R_{A,d}$, on määratlev väärtus.

3.1.5. Kandevõime

3.1.5.1. Kandevõime analüüs

Kandevõimet analüüsitakse ka muldkehadel ja täidetel madala nihketugevusega pinnasel. Muldkeha võib pidada peaaegu monoliitseks. Armeeritud kihid ei ole lõigatud. Analüüsitakse STR piirseisundit. Peab viima läbi uuringu, kas purunemismudel suudab tegelikult moodustada vormi, eriti kui pehme pinnas pole väga paks. Tavaliselt on üldstabiilsuse analüüs määrav, mitte kandevõime. [7]

Maapinna kandevõime analüüs tagamaks, et see pole ületatud, teostatakse täpselt samamoodi nagu teiste ehitusmaterjalide puhul. Piirseisundi tingimus on alati määravaks tingimuseks (12) (13) [7]:

$$E_d = E_k * \gamma_F \leq R_d, \quad (12)$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}, \quad (13)$$

- kus
- E_d – arvutuslik koormustulem;
 - R_d – arvutuslik kandevõime;
 - E_k – normkoormus;
 - R_k – kandevõime normväärtus;
 - γ_F – koormuse osavarutegur;
 - γ_R – kandevõime osavarutegur.

3.1.5.2. Mulde täitematerjali vastupanu hõõrdele (geosünteedi peal)

Hõõrdevastupanu $R_{O,d}$ muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel on (14) [7]:

$$R_{O,d} = \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * \left(\frac{h_1}{\tan \beta} \right) * h_1 * f_{lg,d}, \quad (14)$$

- kus
- $R_{O,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi pealispinna vahel;
 - $\gamma_{1,d}$ – muldkeha täitematerjali mahukaalu arvutuslik väärtus ($\gamma_{1,d} = \gamma_{1,k}$);
 - h_1 – muldkeha kogukõrgus;
 - β – nõlva kalle ($\tan \beta = 1 : n$);

$f_{1g,d}$ – hõõrdeteguri arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel ($\varphi_d = \tan \varphi_k / \gamma_\varphi$).

Hõõrdevastupanu $R_{3,d}$ muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel on (15) [7]:

$$R_{3,d} = \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * \left(\frac{h_3}{\tan \beta} \right) * h_3 * f_{1g,d}, \quad (15)$$

kus $R_{3,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi pealispinna vahel;

$\gamma_{1,d}$ – muldkeha täitematerjali mahukaalu arvutuslik väärtus ($\gamma_{1,d} = \gamma_{1,k}$);

h_3 – kõrgus nagu näidatud joonisel (Joonis 4);

β – nõlva kalle ($\tan \beta = 1 : n$);

$f_{1g,d}$ – hõõrdeteguri arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel ($\varphi_d = \varphi_k / \gamma_\varphi$).

3.1.5.3. Pinnase vastupanu nihkepingetele (geosünteedi all)

Nihkepinge kindlaks määramisel geosünteedi ja pinnase vahel eristatakse esialgset ja lõpliku seisundit. [7]

Esialgses seisundis (16) [7]:

$$R_{U,d} = c_{u2,d} * \frac{h_1}{\tan \beta}, \quad (16)$$

kus $R_{U,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus geosünteedi aluspinna ja aluspinnase vahel;

$c_{u2,d}$ – drenimata pinnase nihketugevuse arvutusväärtus ($c_{u2,d} = c_{u2,k} / \gamma_{cu}$);

h_1 – muldkeha kogukõrgus;

β – nõlva kalle ($\tan \beta = 1 : n$).

Lõplikus seisundis (17) [7]:

$$R_{U,d} = c'_{2,d} * \frac{h_1}{\tan \beta} + \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * \left(\frac{h_1}{\tan \beta} \right) * h_1 * f_{2g,d}, \quad (17)$$

- kus $R_{U,d}$ – hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus geosünteedi aluspinna ja aluspinnase vahel;
- $c'_{2,d}$ – drenitud pinnase nihketugevuse arvutusväärtus ($c'_{2,d} = c'_{2,k}/\gamma_c$);
- h_1 – muldkeha kogukõrgus;
- β – nõlva kalle ($\tan \beta = 1 : n$);
- $\gamma_{1,d}$ – muldkeha täitematerjali mahukaalu arvutuslik väärtus ($\gamma_{1,d} = \gamma_{1,k}$);
- $f_{2g,d}$ – hõõrdeteguri arvutuslik väärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel ($\varphi_d = \varphi_k/\gamma_\varphi$).

3.1.5.4. Geosünteedi vastupanu purunemisele

Geosünteedi arvutuslik vastupanu $R_{B,d}$ arvutatakse järgnevalt (18) [7]:

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k}}{\gamma_M}, \quad (18)$$

- kus $R_{B,d}$ – geosünteedilise tugevduse arvutuslik vastupanu;
- $R_{B,k}$ – geosünteedi pikaajalise tugevuse normväärtus;
- γ_M – elastse tugevduse struktuurse vastupanu osavarutegur.

Geosünteedi pikaajalise tugevuse normväärtus leitakse järgnevalt (19) [7]:

$$R_{B,k} = \frac{R_{B,k0}}{A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5}, \quad (19)$$

- kus $R_{B,k}$ – geosünteedi pikaajalise tugevuse normväärtus;
- $R_{B,k0}$ – geosünteedi lühiajalise tugevuse normväärtus (5% kvantiilil);
- A_1 – roome deformatsiooni või roome rebenemist arvestav vähendustegur;
- A_2 – paigaldamise, transpordi ja tihendamise käigus tekkinud kahjustusi arvestav vähendustegur;
- A_3 – töötlemist (õmblusi, ühendusi ja liiteid) arvestav vähendustegur;
- A_4 – keskkonna mõjusid (ilmastiku mõjudele vastupanu, vastupanu kemikaalidele, mikroorganismidele, loomadele) arvestav vähendustegur;
- A_5 – dünaamiliste koormuste mõju arvestav vähendustegur;

3.1.5.5. Geosünteedi vastupanu väljatõmbele

Vastupanu väljatõmbele normväärtus on tugevduse tasapinda koondatud nihkepingete integraal. Piirteisundis on iseloomulik vastupanu väljatõmbele (20) [7]:

$$R_{A,k} = \sigma_{v,k} * L_A * f_{sg,k} * n, \quad (20)$$

- kus $R_{A,k}$ – 1 m laiuse tugevduse väljatõmbele vastupanu normväärtus;
 $\sigma_{v,k}$ – normaalpinge normväärtus armeeritud tasapinnas;
 L_A – vaatlusaluse purunemispinna taha jääva tugevduse ankurduspikkus;
 $f_{sg,k}$ – keskmise hõõrdeteguri normväärtus täitepinnase ning geosünteedi ja vahepealse pinnase poolt moodustatud tasapind;
 n – arvesse võetavate hõõrdepindade arv.

Väljatõmbe vastupanu GEO piirteisundi lõikunud tugevduste stabiilsuse analüüsid on kindlaks määratav vastupanu väljatõmbele normväärtuse jagamisel elastsete tugevduselementide väljatõmbe vastupanu osavaruteguriga γ_B . Väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus $R_{A,d}$ on (21) [7]:

$$R_{A,d} = \frac{R_{A,k}}{\gamma_B}, \quad (21)$$

- kus $R_{A,d}$ – tugevduse väljatõmbele vastupanu arvutuslik väärtus;
 $R_{A,k}$ – 1 m laiuse tugevduse väljatõmbele vastupanu normväärtus;
 γ_B – tugevduse väljatõmbele vastupanu osavarutegur.

Väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus vajaliku tugevduse ülekatte (tugevduse ühenduskohtades) analüüsiks STR piirteisundis on kindlaks määratav vastupanu väljatõmbele normväärtuse jagamisel osavaruteguriga γ_{Gl} , põhinedes lihkumise vastupanule. Väljatõmbe vastupanu arvutuslik väärtus $R_{A,d}$ on (22) [7]:

$$R_{A,d} = \frac{R_{A,k}}{\gamma_{Gl}}, \quad (22)$$

- kus $R_{A,d}$ – tugevduse väljatõmbele vastupanu arvutuslik väärtus;
 $R_{A,k}$ – 1 m laiuse tugevduse väljatõmbele vastupanu normväärtus;
 γ_{Gl} – lihkele vastupanu osavarutegur.

3.2. Kasutuspiirseisund

Kasutuspiirseisund kirjeldab konstruktsiooni või konstruktsiooni elemendi seisundit, millel selle kasutamiseks ettenähtud tingimused ei ole enam täidetud, aga ilma kandevõime kaotuseta. [7]

3.2.1. Kasutuspiirseisundi järgi projekteerimine

Kasutuspiirseisundi korral tuleb arvestada erinevat tüüpi probleemidega, mis on järgnevad: [9]

- aluspinnase vajumine;
- liigne pinge tugevduses.

„Projektis peab näitama, et mulde deformatsioonid ei põhjusta mulde või selle peal, sees või lähedal asuvate ehitiste, teede või tehnovõrkude kasutuspiirseisundit.“ [3]

„Juhtudel kui vajumeid on raske prognoosida, tuleks kaaluda eelkoormamise või katsemulde kasutamist. Seda eriti juhtudel, kui peab vältima kasutuspiirseisundi tekkimist.“ [3]

„Osavarutegurite väärtuseks kasutuspiirseisundi puhul peaks võtma tavaliselt 1,0.“ [3]

3.2.2. Vajumid ja vajumite erimid

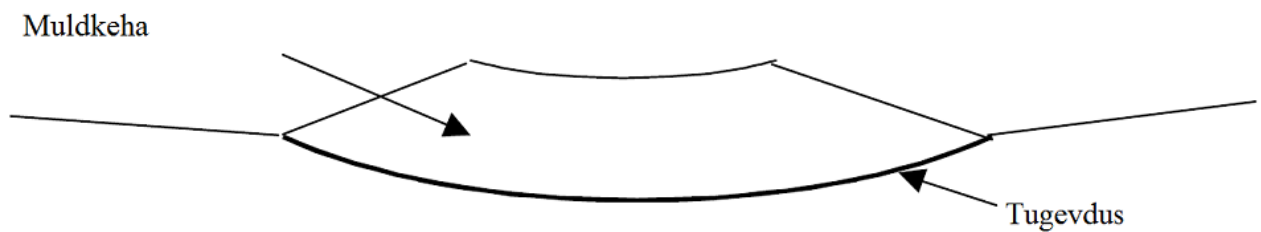
3.2.2.1. Aluspinnase vajumine

Tugevdus üksi ei avalda märkimisväärset mõju muldkeha vajumitele. Vajumite analüüsid saab seetõttu teostada kasutades tavapäraseid menetlusi, mis põhinevad efektiivse pinge tasemel ja konsolideerumise moodulil. [9]

Aluspinnase vajumid võivad mõjutada pingeid, seega ka koormusi tugevduses. [9]

3.2.2.2. Tugevduse venimine

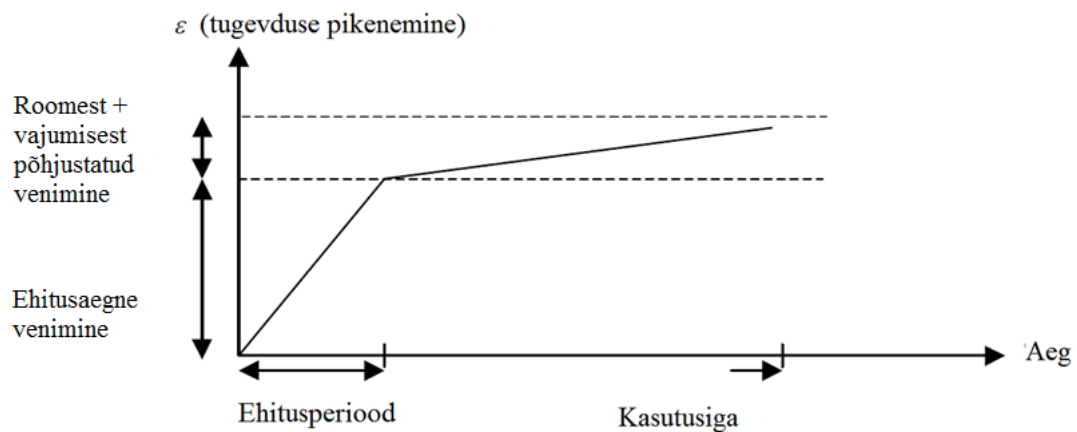
Venimised tugevduses määratakse rakendatud koormuste kaudu (Joonis 6). Aluspinnase vajumid ja ehitustööd võivad samuti mõjutada venimist tugevduses, aga need venimisi on keeruline mõõta. Saab kasutada arvukaid analüüse, et paremini hinnata muldkeha tegeliku käitumist. [9]



Joonis 6. Tugevduse venivus, kasutuspiirseisund [9, p. 75]

Tekkinud venimine ei tohiks ületada kasutuspiirseisundite kaalutlustest tuletatud väärtusi (Joonis 7). Tavaliselt ei ole see kriitiline, kui koguvenimine, kaasa arvatud roomest põhjustatud venimine, on pikaajaliselt kuni 10 protsenti. Sellegipoolest ei tohiks koguvenimine, ehitusjärgne venimine nagu roomest põhjustatud venimine ja aluspinnase vajumisest tekkinud venimine, kasutusea jooksul ületada 70 protsenti kasutatava tugevduse venimisest purunemisel. [9]

Kui aluspinnas on rabe (vesisavi), peaks tugevduse pinge purunemisel (kaasa arvatud roome pinged) olema piiratud maksimaalselt nelja protsendini, et tagada kokkusobivus külgneva pinnasega. [9]



Joonis 7. Ehitusaegsed pinged ja roomepinged [9, p. 75]

4. EHITUSMATERJALID

Kõik materjalid ja tooted peavad vastama projekti spetsifikatsioonile ning tarnija tehnilistele nõuetele, kui kasutatakse patenteeritud meetodit. Kõik materjalid peavad olema omavahel kokkusobivad. [6]

4.1. Nõuded geosüntetidele

Geosüntetilist tugevdust tohib kasuta ainult siis, kui selle sobivus, kaasaarvatud kestvus, on tõestatud uuringute või kogemusega ning tunnustatud testidega, mis on läbi viidud toote peal või samasse materjaliklassi kuuluva sarnase toote peal ning mille omadused on teadaolevalt samaväärsed, et kindlaks teha, kas nõutavad tugevduse omadused on tõenäoliselt täidetud määratletud projektse kasutusaja lõpus konkreetsetel kasutustingimustel. [6]

Kõik pinnasetäite tugevdustoodet peavad vastama spetsifikatsioonile projekti poolt nõutud tööde jaoks. Teede ja muude liiklusalade muldkehade ehitamisel kasutatavad geosüntetilised tugevdused peavad vastama EN 13249 nõuetele ja raudteede muldkehade ehitamisel kasutatavad geosüntetilised tugevdused peavad vastama EN 13250 nõuetele, kui katsed ja katsetamise protseduurid on olulised konkreetse tugevdamise meetodi korral. [6]

4.1.1. Konkreetsetes kasutustingimustes olulised omadused

„Omadused, nende vastavus kasutustingimustele ja nõutavad katsemeetodid on tabelites 3 ja 4. Tabelite 3 ja 4 nimekiri hõlmab omadusi, mida on vaja ühtlustamiseks (H), neid, mis on asjakohased kõikides kasutustingimustes (A), ning neid, mida on asjakohased konkreetsetes kasutustingimustes (S). Märges „-“, tähendab, et omadus ei ole selleks otstarbeks asjakohane.“ [4]

„Kui sama omaduse suhtes tuleb esitada andmed enam kui ühe funktsiooni kohta, peab järgima järgnevat pingerida: H tühistab A, A tühistab S ning S tühistab „-“.“ [4]

Tabel 3

Teede ja muude liiklusalade (v.a raudteed ja asfaldikihid) ehitamisel kasutatavate geotekstiilide ja geotekstiilipõhiste toodete funktsioonid, funktsiooniga seotud omadused ning nõutavad katsemeetodid [4]

Omadus	Katsemeetod	Funktsioon		
		Filtrimine	Lahutamine	Sarrustamine
(1) Tõmbetugevus ^{b)}	EN ISO 10319	H	H	H
(2) Pikenemine maksimumkoormusel	EN ISO 10319	H	H	H
(3) Jäikus 2%, 5% ja 10% juures	EN ISO 10319	-	-	S
(4) Õmbluste ja liidete tõmbetugevus ^{c) d)}	EN ISO 10321	S	S	S
(5) Staatiline torkekindlus (CBR-katse) ^{a) b)}	EN ISO 12236	S	H	H
(6) Dünaamiline torkekindlus (langekoonuskatse) ^{a)}	EN ISO 13433	H	A	H
(7) Hõõrdeomadused	EN ISO 12957-1; EN ISO 12957-2	S	S	S
(8) Tõmberoome	EN ISO 13431	-	-	S
(9) Kahjustus paigaldamisel	EN ISO 10722	A	A	A
(10) Ava normsuurus	EN ISO 12956	H	H	-
(11) Filtratsioonimoodul risti pinda	EN ISO 11058	H	H	S
(12) Kestvus	Vastavalt EN 13250 lisale B	H	H	H

^{a)} Tuleb arvestada, et seda katset ei saa mõne tootetüübi, nt georesti, puhul rakendada.

^{b)} Kui mehaanilised omadused (tõmbetugevus ja staatiline torkekindlus) on selles tabelis märgitud tähega „H“, peab tootja esitama andmed mõlema kohta. Spetsifikatsioonis piisab ühest, kas tõmbetugevusest või staatilisest torkekindlusest.

^{c)} Geokärgede seesmiste ühenduskohtade tugevust tuleb testida vastavalt EN ISO 13426-1

^{d)} Geokomposiitide seesmiste ühenduskohtade tugevust tuleb testida vastavalt EN ISO 13426-2

Tabel 4

Raudteede ehitamisel kasutatavate geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga toodete - funktsioonid, funktsiooniga seotud omadused ning nõutavad katsemeetodid [10]

Omadus	Katsemeetod	Funktsioon		
		Filtrimine	Lahutamine	Sarrustamine
(1) Tõmbetugevus ^{b)}	EN ISO 10319	H	H	H
(2) Pikenemine maksimumkoormusel	EN ISO 10319	H	H	H
(3) Jäikus 2%, 5% ja 10% juures	EN ISO 10319	-	-	S
(4) Õmbluste ja liidete tõmbetugevus ^{c) d)}	EN ISO 10321	S	S	S
(5) Staatiline torkekindlus (CBR-katse) ^{a) b)}	EN ISO 12236	S	H	H
(6) Dünaamiline torkekindlus (langekoonuskatse) ^{a)}	EN ISO 13433	H	A	H
(7) Hõõrdeomadused	EN ISO 12957-1; EN ISO 12957-2	S	S	S
(8) Tõmberoome	EN ISO 13431	-	-	S
(9) Hõõrdekahjustus	EN ISO 13427	S	S	S
(10) Kahjustus paigaldamisel	EN ISO 10722	A	A	A
(11) Ava normsuurus	EN ISO 12956	H	H	-
(12) Filtratsioonimoodul risti pinda	EN ISO 11058	H	H	S
(13) Kestvus	Vastavalt EN 13250 lisale B	H	H	H

^a Tuleb arvestada, et seda katset ei saa mõne tootetüübi, nt georesti, puhul rakendada.

^b Kui mehaanilised omadused (tõmbetugevus ja staatiline torkekindlus) on selles tabelis märgitud tähega „H“, peab tootja esitama andmed mõlema kohta. Spetsifikatsioonis piisab ühest, kas tõmbetugevusest või staatilisest torkekindlusest.

^c Geokärgede seesmiste ühenduskohtade tugevust tuleb testida vastavalt EN ISO 13426-1

^d Geokomposiitide seesmiste ühenduskohtade tugevust tuleb testida vastavalt EN ISO 13426-2

„Spetsifikatsioon peab määrama, millised funktsioonid ja kasutustingimused on olulised (vt tabeleid 3 ja 4). Toote valmistaja peab esitama standardites EN 13249 ja EN 13250 kirjeldatud katsemeetoditel ja nõuetel põhinevad vajalikud andmed.“ [4]

„Tabelite 3 ja 4 nimekiri hõlmab omadusi, mida on vaja ühtlustamiseks (H), neid, mis on asjakohased kõikides kasutustingimustes (A), ning neid, mis on asjakohased konkreetsetes kasutustingimustes (S).“ [4]

4.1.2. Omaduste esitamine

„Tootja peab andma tabelis 5 kirjeldatud omadused, kestvus välja arvatud, sisemise kvaliteedikontrolli mõõtmiste statistilisel tõlgendamisel tuginevate keskväärtuste ja lubatud kõrvalekalletena 95%-i usaldusnivool. Teavet kestvuse kohta tuleb väljendada vastavalt EN 13249 ja EN 13250 lisa B juhisteile.“ [4]

Tabel 5

Esmaseks tüübi katsetuseks ja vastavuse hindamiseks nõutavad omadused [4]

Omadus	Funktsioonid
Tõmbetugevus	Filtrimine, lahutamine, sarrustamine
Pikenemine maksimumkoormusel	Sarrustamine
Staatiline torkekindlus (CBR-katse)	Lahutamine, sarrustamine
Dünaamiline torkekindlus (langekoonuskatse)	Filtrimine, sarrustamine
Ava normsuurus	Filtrimine
Filtratsioonimoodul risti pinda	Filtrimine
Kestvus	Filtrimine, lahutamine, sarrustamine

4.1.3. Märgistamine

Igal geotekstiili- ja geotekstiilipõhise toote ühiku küljes peab olema järgmine teave [5]:

- a) tootja ja/või tarnija;
- b) toote nimetus;
- c) toote tüüp;
- d) ühiku identifitseerimistähis;
- e) ühiku nimibrutomass kilogrammides;
- f) ühiku mõõtmed (materjali, mitte pakendi);
 - rullmaterjalid: pikkus × laius (mõlemad meetrites);

- muud tooted: lehtede arv $\times$ pikkus $\times$ laius (mõlemad meetrites) või tootega kaetav pindala;
- g) pinnaühiku nimimass grammides ruutmeetri kohta, määratuna EN 965 kohaselt;
- h) peamine (-sed) polümeeri tüüp (-tüübid) (iga koostisosa kohta);
- i) toote liigitus, kasutades standardis ISO 10318 määratletud termineid.“

„Peale selle peab olema võimalik toodet paigaldamise ajal kindlalt identifitseerida isegi siis, kui ta ei ole enam originaalpakendis.“ [5]

4.2. Nõuded täitematerjalidele

4.2.1. Põhinõuded muldkehas kasutatavatele täitematerjalidele

„Muldkeha projekteerimisel, remondil ja ehitamisel võib kasutada lisaks pinnastele nii looduslikke kui ka toodetud (tehislike või taaskasutatavate materjalide töötlemise teel saadud) EVS-EN 13242 tootestandardile vastavaid (jäme, peen ja fraktsioneerimata) täitematerjale (sh ka paekivi tootmisjääkidest pesemise teel toodetud karbonaatsest settekivimist peentäitematerjal ehk paekiviliiv).“ [11]

„Juhul, kui mulde ehitamisel või remondil kasutatakse täitematerjali, peab olema see toodetud ja tõendatud vastavalt kehtivale seadusandlusele ehitustoote standardi EVS-EN 13242 kohaselt.“ [11]

„Muldkeha projekteerimisel ja ehitamisel täitematerjalidest kehtivad neile sõltuvalt kasutuskohast muldes järgnevad nõuded [11]:

- 1) Muldkeha töötsoonist allpool, ehk sügavamal kui 1,5 m võib kasutada täitematerjale, millel on täidetud tootestandardi EVS-EN 13242 minimaalsed nõuded.
- 2) Muldkeha töötsooni alumises kihis, ehk sügavusel 1,0 kuni 1,5 m võib kasutada täitematerjale, kui lisaks standardi EVS-EN 13242 minimaalsetele nõuetele on neil täidetud järgmised tingimused:
 - a) veeimavuse kategooria standardi EVS-EN 13242 järgi on vähemalt WA_{242} ;
 - b) filtratsioonimoodul standardi EVS 901-20 järgi on peale muldesse paigaldamist ja tihendamist vähemalt 1 m/ööp.
- 3) Muldkeha töötsoonis sügavusel 0,75 kuni 1,5 m võib kasutada täitematerjale ainult juhul, kui tee perspektiivne liiklussagedus AKÖL20 on alla 1500 auto/ööpäevas ja täidetud on lõikes 2) toodud nõuded veeimavusele ja filtratsioonimoodulile.
- 4) Muldkeha töötsooni ülemises kihis, ehk sügavuseni kuni 1 m võib kasutada täitematerjale, kui lisaks standardi EVS-EN 13242 minimaalsetele nõuetele on täidetud järgmised tingimused:

- a) veeimavuse kategooria standardi EVS-EN 13242 järgi on vähemalt WA_{241} ;
 - b) filtratsioonimoodul standardi EVS 901-20 järgi on peale muldesse paigaldamist ja tihendamist vähemalt 2 m/ööp.
- 5) Karbonaatsetest settekivimitest valmistatud täitematerjali kasutamisel peab mulde veerežiim olema projekteeritud ehitatud selliselt, et tee eluea jooksul ei tekiks muldes oleva materjali üleniiskumist. Nõutav on, et muldkeha veesisaldus jääks tee eluea jooksul allapoole optimaalset veesisaldust, st. $w < w_0$, kus w_0 on optimaalne veesisaldus standardsel Proctorteimil;
- 6) Juhul, kui karbonaatsetest settekivimitest valmistatud täitematerjal ei vasta ülaltoodud nõuetele, võib seda kasutada segatult lõigetes 2) ja 4) toodud nõuetele vastavate täitematerjalidega või samadele tingimustele vastavate pinnastega vastavates samades lõigetes 2) ja 4) viidatud muldkeha kihtides tingimusel, et karbonaatsetest settekivimitest valmistatud mittevastava täitematerjali mahumass segus on segu summaarsest mahumassist väiksem kui 50%.

„Muldkeha projekteerimisel, remondil ja ehitamisel võib kasutada aherainest toodetud täitematerjali, kui sellel on lisaks standardi EVS-EN 13242 minimaalsetele nõuetele täidetud ka eelnevas loetelus sätestatud nõuded.“ [11]

„Kahtluse korral võivad tellija ja insener kontrollida, kas materjalid vastavad antud peatükis kehtestatud nõuetele.“ [11]

„Täide ja kuivendatud, parendatud või armeeritud pinnas peab olema vastupidav pinnase funktsioonist ja ümbritsevast keskkonnast tulenevatele mõjudele.“ [3]

„Need põhinõuded peab rahuldama ka täite alla jääv pinnas.“ [3]

„Täite kavandamisel tuleb arvesse võtta, et täite kvaliteet põhineb alljärgneval [3]:

- head materjali töödeldavuse omadused,
- eesmärgile vastavad tehnilised omadused pärast tihendamist.

„Täite transport ja paigaldamine peaksid olema käsitletud projekteerimisel.“ [3]

4.2.1.1. Täitematerjali valik

„Kriteeriumid täiteks sobiva materjali valikuks peavad põhinema võimalusel saada tihendamise järel vastuvõetav tugevus, jäikus, kestvus ja veejuhtivus. Kriteeriumid peavad võtma arvesse täite rajamise eesmärki ja nõudeid täitele rajatavale igale ehitisele.“ [3]

„Sobivateks täitematerjalideks on ebaühtlase koostisega looduslikud teralised materjalid ja teatud jäätmematerjalid nagu sorteeritud kaevandusjäätmek ja lendtuhk. Mõningaid tehismaterjale nagu kerged täiteained võib samuti teatud asjaoludel kasutada. Mõned nidusad materjalid võivad sobida, kuid nõuavad erilist ettevaatust. Täitematerjali valikul tuleb arvestada järgmist [3]:

- terastikulist koostist; vastupanu purunemisele;
- tihendatavust;
- veejuhtivust;
- plastsust;
- allasuva pinnase tugevust;
- orgaanilise aine sisaldust;
- keemilist agressiivsust;
- keskkonna reostuse võimalust;
- lahustuvust;
- tundlikust mahumuutustele (punduvad savid ja äkkvajuvad pinnased);
- madalat temperatuuri ja külmatundlikust;
- vastupanu murenemisele;
- kaevandamise, transpordi ja paigaldamise mõju;
- tsementeerumise mõju pärast paigaldamist (nt kõrgahju räbu).“

Eelnevast loetelust tulenevalt tuleb täite materjali valikul arvesse võtta järgnevaid tegureid, millest sõltub tugevdatud täite materjali sobivus [6]:

- täite töödeldavust;
- funktsiooni ja rajatise keskkonda ja pikaajalist käitumist;
- täite kihi paksust ja maksimaalne teraosakeste suurust;
- pealistise tehnoloogiat;
- taimestikku;
- drenimis omadusi;
- täite agressiivsust;
- täite ja tugevduse koostoimet;
- täite sisehõõret ja kohesiooni;
- külmatundlikust.

Tugevdatud tsoonis kasutatud täide tuleb valida vastavalt projektis ja projekti spetsifikatsioonis nõutud omadustele. [6]

4.2.1.2. Täite töödeldavus

Täite töödeldavus peab olema selline, et seda saab paigalda ja tihendada tagades projektis nõutavad omadused. Täite valik peab arvesse võtma kliimaatilisi tingimusi, kuhu see paigaldatakse, tihendusseadmeid ja kohalikku praktikat ja kogemust. Mistahes olulist kohalikku kogemust tugevdamata muldkehade rajamisel tuleb arvesse võtta täite valikul tugevdatud rajatistele. [6]

„Kui kohalikud materjalid oma looduslikus olekus ei ole sobivad täitena kasutamiseks võib olla vajalik kasutada ühte järgmistest menetlustest [3]:

- veesisalduse muutmist;
- segamist tsemendi, lubja või teiste materjalidega;
- purustamist, sõelumist või pesemist;
- kaitsmist sobivate materjalidega;
- drenivaid vahekihte.“

Mõnede täitematerjalide töödeldavuse parandamiseks kasutatavaid mistahes lisandeid, nt lubi, tsement, peab arvesse võtma koos rajamist piiravate asjaoludega. Näiteks tugevduskihi olemasolu täites, keemiline vastupidavus. [6]

Täitematerjal peab olema lume- ja jäävaba. Külmatundlike materjale ei tohi paigaldada alla külmumispiiri tingimustel. [6]

„Külmunud, paisuvaid või lahustuvaid pinnaseid ei peaks kasutama täite materjalina.“ [3]

4.2.1.3. Täite kihi paksus ja maksimaalne teraosakese suurus

Maksimaalne teraosakese suurus peab võimaldama vastuvõetavalt ühtlase pinna vormimiseks ja peab olema kokkusobiv tihendatud kihi paksusega. Maksimaalne teraosakese suurus võib ka toimida tugevduskihtide eraldajana ja vajaduse korral pealistise osade suuruselt. Maksimaalne teraosakeste suurus määratakse ka tugevduse valikuga, et hoida ehituskahjustused määratletud piirmäärades. [6]

Rajatise pealistise sulgemiseks kasutatavad tihendusseadmed peavad üldiselt olema kergemad, kui täite osas (kui pole teisiti määratletud tugevdussüsteemi poolt). See võib kaasa tuua õhemad tihendatavad kihid, et saavutada nõutav täite tihedus. [6]

Mittesobivad täiteid nagu orgaanilisi pinnaseid, lahustuvaid materjale ja tugevalt paisuvaid materjale ei kasutata. [6]

4.2.1.4. Pealistise tehnoloogia

Tihendamisest tingitud vajumise ja ehitusjärgse vajumise kokkusobivust kasutatava pealistissüsteemiga peab arvesse võtma, kui täide on valitud. [6]

4.2.1.5. Taimestik

Kui pealistisele planeeritakse vegetatiivset kindlustust (taimestikuga kate), peab ehituse esikülje lähedale paigaldatav täitematerjal täitma vegetatiivsele kindlustusele määratletud nõudeid. [6]

4.2.1.6. Dreenimis omadused

Kasutades filtreerivaid geosünteepeavad geosünteedi dreenimis ja filtratsiooni omadused kokku sobima valitud täitega. [6]

4.2.1.7. Täite agressiivsus

Täite materjalide elektrokeemilist, keemilist ja bioloogilist agressiivsust tuleb arvesse võtta tagamaks, et nendel omadustel ei ole kahjulikku mõju tugevduse toimimisele või pealistisele. Hinnang valitud täite elektrokeemilisele, keemilisele või bioloogilisele sobivusele tugevduse suhtes peab baseeruma eelneval asjakohasel kogemusel, nt loodud seosed pinnase omaduste ja tugevduse pikaajaliste tugevuse kao vahel. [6]

Täite materjalide mehaanilist agressiivsust tugevduse või pealistise suhtes tuleb arvesse võtta, et hinnata kokkusobivust projekteerimise eeldustega. Hinnang tugevdustele või nende katetele valitud tagasitäite poolt ehituse ajal põhjustatud mehaanilisele kahjustusele peab baseeruma eelnevatel asjakohastel kogemustel, kus võimalik või konkreetses kohas katsetades, kus vajalik. See on eriti oluline kohtades, kus kasutatakse purustatud, nurgelist täidet. [6]

„Kui valitud materjal sisaldab potentsiaalselt agressiivseid või reostavaid kemikaale, tuleb kasutada sobivaid abinõusid vältimaks nende mõju ehitusele või tehnoseadmetele või pinnasevee reostumist.

Selliste materjalide ulatuslik kasutamine on lubatav ainult pideva seirega ehituskohtades. Kahtluse korral tuleb täite sobivust kontrollida katsetega kaevamiskohal. Katsete liigi, hulga ja sageduse peab valima olenevalt materjali liigist ja selle ebaühtlusest ning ehitise iseloomust.“ [3]

4.2.1.8. Täite ja tugevduse koostoime

Täite ja tugevduse vahelist koostoimet tuleb arvesse võtta, et hinnata kokkusobivust projekteerimise eeldustega. Täite ja tugevduse koostoime hinnang peab baseeruma katsetustel ja/või eelneval asjakohasel kogemusel, kus võimalik. [6]

4.2.1.9. Täite sisehõõre ja kohesioon

Valitud täite sisehõõrde ja kohesiooni kokkusobivus projekteerimise eeldustega tuleb arvesse võtta. Täite sisehõõrde ja kohesiooni hinnang peab olema esinduslik tingimustes, milles seda kasutatakse (nt tihedus, niiskusesisaldus, koormuse tase). Vabalt drenivate või teraliste täitematerjalide sisehõõrde omaduste hinnang võib baseeruda eelnevale asjakohastele kogemustele ja on seotud materjali lõimisega. [6]

4.2.1.10. Külmatundlikust

Vajaduse korral tuleb kasutada kuni külmumissügavuse paksuselt, mistahes miinuskraadidega kokkupuutuvast pinnast, mitte-külmatundlike materjale, kui ei kasutata isolatsioonikihti. [6]

„Materjal, mida kasutatakse täites spetsiaalselt rangete nõuetega kandevõime, vajumi ja stabiilsuse kohta, ei tohi sisaldada lisandeid nagu lumi, jää ja turvas. Täidetes, mille kohta ei esitata spetsiaalseid nõudeid kandevõime, vajumi või stabiilsuse osas, kasutatav materjal võib sisaldada väikestes kogustes lund, jääd või turvast.“ [3]

5. EHITUSLIKUD NÕUDED JA SOOVITUSED

5.1. Ehituslikud meetodid

5.1.1. Muldkeha ehitamise üldnõuded

„Muldkeha ehitamisel tuleb järgida „Tee ja teetööde kvaliteedinõudeid“ ning projektis ja lepingus sätestatud täiendavaid nõudeid.“ [11]

„Mulle ja süvend tuleb ehitada vastavuses hanke ajal kehtinud „Teetööde tehnilistele kirjeldustega“.“ [11]

„Ehitamine peab lähtuma projektist. Projektis ettenähtud muldes kasutatavat pinnast või materjali võib ehitamise käigus asendada vähemalt samaväärse tootega, st katendiarvutuse järgne elastsusmoodul, sisehõõrdenurk ja nidusus ning filtratsioon jm näitajad on vähemalt samaväärsed.“ [11]

„Projektis ettenähtud nõuetele vastamiseks peab vajadusel mulde ehitamiseks kasutatavaid pinnaseid vääristama sõelumise, pesemise, purustamise, segamise, stabiliseerimise jms teel. Segamine peab toimuma spetsiaalses segusõlmes, tellija kirjalikul loal võib põhjendatud erijuhul segada stabiliseerimisfreesia.“ [11]

„Muldkeha pinnaste tihendamisel tuleb juhinduda „Muldkeha tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised“ 2006-41 (kinnitatud Maanteeameti peadirektori 29.12.2006 käskkirjaga nr 264) nõuetest.“ [11]

„Geosünteedidega kasutamisel tuleb kasutada NorGeoSpec 2012 kvaliteedisertifikaati omavaid tooteid ning ehitaja peab lubama NorGeoSpec 2012 kvaliteedisertifikaadi väljaandja volitatud isikuid ehitusobjektile tegemaks NorGeoSpec 2012 ettenähtud kvaliteedikatseid ning tagama dokumentide olemasolu, mis tõestavad geosüsteetide ostmist. Nende kaudu saab vajadusel kindlaks teha nende müüja, vahendaja ja tootja seosed.“ [11]

„Tööde vastavuse kontroll toimub vastavalt „Tee ja teetööde kvaliteedinõudeid“ ja hanke ajal kehtinud „Tee ja teetööde vastuvõtu eeskirjale“.“ [11]

„Teostatud tööde vastavuse ja kontrollimise eest vastutab töövõtja (ehitaja) koos omanikujärelevalvega. Mõõtmis- ja katsetulemustelemused fikseeritakse, allkirjastatakse ja lisatakse objekti täitedokumentatsiooni juurde. Tellijal on õigus teostatud tööde või materjalide vastavust jooksvalt kontrollida.“ [11]

„Mullete ehitamise järelevalve ja seire peab toimuma lähtuvalt EN-EVS 1997-1 p.12.7.“ [11]

5.1.2. Käsitsemine ja hoiustamine

Tuleb ette valmistada sobilik piisavate mõõtmetega hoiustusala, et võimaldada kõikide ehitusplatsile toodavate tugevdavate geosüntetiliste materjalide ja muu juurdekuuluva mahalaadimist ja laadimis, hoiustamist ja liigutamist, ilma kahjustusi põhjustamata. [6]

Tugevdavate geosüntetiliste ja pealistis materjalide käsitlemist ja hoiustamist tuleb teostada hoolikalt ja vastavalt projekti spetsifikatsioonidele. Asjakohaseid tarnija või tootja soovitusi tuleks samuti järgida. [6]

Erineva suuruse ja füüsiliste omadustega esemeid tuleks virnastada eraldi. [6]

Geosüntetilise tugevduse ja pealistise tooted võivad esineda eri vormidena. Kui ülalmainitud nõuded ei kehti konkreetsele tootele, võib täiendavaid nõuandeid otsida tunnustusasutusest, tarnijalt või tootjalt. [6]

5.1.3. Ehitusplatsi ja aluspinnase ettevalmistus

Ettevalmistus tuleb läbi viia vastavalt projektile ja konkreetsele rajatise keskkonnale ja kui on nõutud, sisaldab ehitusele juurdepääsu seadmetele ja masinatele, ala puhastamiseks vajalikku kaevandamist ning koristamist, tasandamist ja aluspinnase töötlemist. Aluspinnas tuleb rajada profileerida vastavalt projekti nõuetele. Kui ettevalmistustööde käigus esinevad pinnased ei vasta projektile, tuleb sellest kohe teatada. [6]

Kohtades kuhu paigaldatakse vertikaalsed drenid, mõnest keskmisest täitekihist, mistahes liiki tugevdatud rajatise alla, tuleb olla hoolikas tagamaks, et paigaldatava kihi paksus on piisav ohutult kandma ehitusseadmete poolt rakendatavaid koormusi. Lisaks ei tohiks vertikaalsete drenide paigaldamine tekitada projektis lubatust suuremaid kahjustusi all olevale geosünteedile. [6]

5.1.4. Geosünteeside paigaldamine

Tugevdused geosünteesiliste võrkude või lehtede kujul, millel võivad olla eri suundades erinevad tõmbetugevused ja tõmbejäikused, tuleb paigaldada ettenähtud suunaga. [6]

Geosüntees peaks olema valitud projekteerimisstaadiumis pakkudes nõutavat vastupidavust ehitamise poolt põhjustatud kahjustustele ja ei tohiks olla avatud ehitusmasinate otsesele liiklemisele. [6]

Peab olema tagatud, et geosünteesid on pingul ja mistahes lõtvused oleks eemaldatud, selleks et minimeerida mistahes deformatsioone tugevduses tõmbejõudude koondumise ajal. Selle võib saavutada tõmmates geosünteesi pingule ja hoides seda asendit sel ajal, kui seda kaetakse täitega. [6]

Geosünteesilised tugevdused võivad olla vastuvõtlikud lagunemisele päikesevalguse käes ja seetõttu peaks olema kaetud täitega määratud paigaldamise ajaga. Kus pole sellist aega määratletud tuleb katmata tugevdus paigaldada 24 tunni jooksul. [6]

Geosünteesilise tugevduse tooted tarnitakse piiritletud laiuse ja pikkusega ribade või rullidena. Kus tugevdatava ala mõõtmed ületavad rulli mõõtmeid, siis on nõutavad määratud liited või ülekatted. [6]

Kus on ettenähtud liited, võib neid valmistada kohapeal või ettevalmistada mujal enne lõpliku paigaldamist. Lisaks omandatavatele ettenähtud projektsetele tugevustele, peavad liidete tugevused olema piisavad, et vastu panna pingutatavate käsitlemis tehnikate poolt põhjustatud koormustele nagu köiega vedamine. [6]

Üldiselt võib lehtmaterjali paigaldamine olla häiritud tuule tõstmise poolt. Kus see on tõenäoline tuleks materjalile lokaalselt lisaraskus asetada. [6]

5.1.5. Täite paigaldamine ja tihendamine

„Tihendamise kriteeriumid peab määrama kindlaks täite iga tsooni ja kihi kohta olenevalt täite rajamise eesmärgist ja töö tootlikkuse tingimustest.“ [3]

„Täite paigaldamise ja tihendamise meetodid tuleb valida sellised, et täite stabiilsus oleks tagatud kogu ehitusperioodil ja ei kahjustaks loodusliku aluspinnast.“ [3]

„Täite tihendamise meetodi valik sõltub tihendamise kriteeriumist ja järgnevatest teguritest [3]:

- materjali päritolu ja iseloom;
- paigaldamise meetod;
- veesisaldus paigaldamisel ja selle muutumise võimalused;
- tihendatava kihi alg- ja lõpp-paksus;
- kohalikud kliimaatilised tingimused;
- tihendamise ühtlus;
- aluspinnase iseloom.“

„Otstarbekohase tihendamismeetodi valikuks peaks tegema välikatsed kasutades valitud materjali ja tihendamise seadmeid. Katsete alusel saab määrata tihendamise meetodi (paigaldamise meetodi, tihendamise seadmed, kihi paksuse, löökide või ülesõitude arvu, sobiva teisaldamisviisi ja lisatava veehulga). Tihendamise katset võib samuti kasutada määramaks tihendamise kontrolli kriteeriumid.“ [3]

„Savikast materjalist täite paigaldamisel peaks vihmajärgu võimalusel profileerima täite pealispinna kogu tihendamise vältel selliselt, et oleks tagatud sadevete äravool.“ [3]

„Täite paigaldamisel negatiivse temperatuuri juures võib olla vajalik selle soojendamine enne paigaldamist ja täite pinna kaitsmine külma eest. Nende meetmete vajadust tuleks hinnata eraldi igal „konkreetsel juhul, võttes arvesse täitematerjali kvaliteeti ja nõutavat tihendamise astet.“ [3]

Pehme või väga pehme pinnase tihendamise järjekord peaks olema määratletud projektis. Kui ei ole määratletud tuleks olla hoolikas tagamaks, et täitmise järjekord, kaasaarvatud mistahes ehitusmasinate liiklemine ei ületaks mitte kunagi aluspinnase kandevõimet. [6]

Kus täide paigutatakse kalluritega tuleks olla hoolikas tagamaks, et aluspinnasesse vormuvad kaarlained ei nihutaks paigast või rebestaks geosünteti. [6]

Kus täite paigaldamine on edenenud muldkeha pikitelje suunas võib vähendada soovimatut kaarlainete tekkimist vähendada edenedes täitmisega keskosas eespool täitmisest piki muldkeha servasid. [6]

Kaarlainete tekkimist võib täiendavalt vähendada piirates täite esimeste kihtide paksust minimaalseni, mis on vajalik liiklemiseks kergetele madala pinnasesurvega ehitusmasinatele. [6]

Laiadele muldkehade korral võib kaaluda esmalt täite paigaldamist piki kahte muldkeha serva moodustades vallid, kust järjest täites võib liikuda muldkeha keskme suunas. [6]

5.2. Inspekterimine

5.2.1. Järelevalve kava

„Geotehnilise projekti aruandes sisalduv järelevalve kava peab kindlaks määrama järelevalvega saadavate tulemuste piirid. Järelevalve plaan peab määratlema järelevalve iseloomu, kvaliteedi ja sageduse, mis peaks vastama [3]:

- projekteerimisel kasutatud eelduste ebamäärasusele;
- pinnase ja koormuse tingimuste keerukusele;
- ehitusaegse avariiohu võimalikkusele;
- projekti võimalike muudatuste või korrigeerivate abinõude teostatavusele ehitamise ajal.“

5.2.2. Inspektsioon ja kontroll

„Ehitustöid tuleb inspekterida pidevalt ja inspekterimise tulemused peab dokumenteerima.“ [3]

„Muldkeha ehitus ja remonditöid tuleb kontrollida kvaliteedinõuete ning nendele täiendavalt lepinguga kehtestatud nõuete järgi ning järgides kõiki teetööde tegemist, kontrollimist, dokumenteerimist ning vastuvõtmist reguleerivaid kehtivaid õigusakte.“ [11]

„Vastuvõtmisel tuleb täiendavalt juhendada hanke ajal kehtinud „Riigimaanteede ehitus- ja remonttööde vastuvõtu eeskirjast“.“ [11]

„Aruanded peavad sisaldama vastavalt vajadusele [3]:

- pinnase ja pinnasevee olulisi iseärasusi;
- tööde järjekorda;
- materjalide kvaliteeti;
- kõrvalekaldeid projektist;
- täitejooniseid;
- mõõtmistulemusi ja nende tõlgendusi;
- keskkonnatingimuste vaatluse tulemusi;
- ettenägematuid juhtumeid.“

„Aruanded peaksid sisaldama andmeid ka ajutiste tööde kohta. Töö katkestused ja uuesti alustamise tingimused peaksid olema dokumenteeritud.“ [3]

„Inspektsiooni ja kontrolli tulemused peavad olema projekteerijale kättesaadavad enne mistahes muudatuste tegemist ehitise kohta.“ [3]

„Ehitamise projekteerimisdokumente ja aruandeid peab reeglina alal hoidma 10 aastat kui pole teisiti kokku lepitud. Tähtsamaid dokumente tuleb hoida vastava ehitise kasutusaja lõpuni.“ [3]

5.2.3. Projekti hindamine

„Ehitusprotsessi ja operatsioonide järjekorra sobivus tuleb uuesti läbi arutada tegelikult selgunud pinnasetingimuste põhjal ja võrrelda ehitise käitumist projekteerimisel tehtud prognoosiga. Projekti tuleb hinnata inspektsiooni ja kontrolli tulemuste alusel.“ [3]

„Projekti hinnang peaks sisaldama täpset ülevaadet ehituse ajal esinevatest ebasoodsaimatest tingimustest, pidades silmas [3]:

- pinnase tingimusi;
- pinnasevee režiimi;
- mõjureid ehitusele;
- keskkonna muutusi ja mõju, kaasa arvatud maalihked ja kaljuvaringud.“

5.2.4. Pinnasetingimuste kontroll.

5.2.4.1. Pinnas

„Pinnaste millesse või millele on ehitis rajatud, kirjeldust ja geotehnilisi omadusi tuleb ehituse käigus kontrollida. Pinnase geotehniliste omaduste kohta saadud kaudsed andmed tuleks dokumenteerida ja kasutada pinnasetingimuste interpreteerimisel. Pinnaseliikide ja nende omaduste erinevusest, võrreldes projekteerimisel eeldatutega, tuleb viivitamatult teatada. Tuleb kontrollida projekteerimisel kasutatud põhimõtete rakendatavust kontrollimisel selgunud pinnase geotehniliste iseärasuste puhul.“ [3]

5.2.4.2. Pinnasevesi

„Vajaduse korral tuleb kontrollida ehitusaegset pinnasevee taset, poorivee rõhku ja pinnasevee keemilist koostist ning võrrelda neid projekteerimisel eeldatud andmetega. Põhjalikum kontroll

oleks vajalik kohtades, kus on teada või usutakse esinevat olulisi erinevusi pinnaseliikides või veejuhtivuses.“ [3]

„Pinnasevee voolu iseloomustavaid parameetreid ja poorivee rõhu režiimi võiks määrata eelistatavalt enne ehitustööde algust paigaldatud piesomeetrite abil. Mõnikord võib olla vajalik installierida piesomeetrid seiresüsteemi osana kaugele väljaspoole ehituskohta.“ [3]

„Juhul kui ehitamise ajal esinevad poorivee rõhu muutused võivad mõjutada ehitise käitumist, peaks poorivee rõhku seirama ehituse lõpuni või poorivee rõhu langemiseni ohutu suuruseni. Allapoole pinnasevee taset rajatud ehitisel, millel võib olla üleslükke oht, peaks poorivee rõhku seirama seni, kuni ehitise kaal on piisav vältimaks üleslükke võimalust.“ [3]

„Voolava vee keemilist analüüsi peaks tegema juhul, kui keemilised protsessid võivad tõhusalt kahjustada mistahes alalisi või ajutisi töid.“ [3]

„Peab kontrollima ehitusoperatsioonide (sealhulgas protsesside nagu veeärалaskmine, injekteerimine ja tunneli ehitamine) mõju pinnasevee režiimile.“ [3]

„Pinnasevee tingimuste erinevusest võrreldes projekteerimisel eeldatutega tuleb viivitamatult teatada.“ [3]

„Tuleb kontrollida projekteerimisel kasutatud põhimõtete rakendatavust kontrollimisel selgunud pinnasevee iseärasuste puhul.“ [3]

5.2.5. Ehitustööde kontrollimine

„Ehitusoperatsioonide vastavust projekteerimisel eeldatud ja geotehnilise projekteerimise aruandes fikseeritud ehitusmeetodile peab kontrollima. Avastatud erinevustest projektis eeldatud ja ehituskoha operatsioonide vahel tuleb viivitamatult teatada. Erinevused projektis eeldatud ja geotehnilise projekti aruandes fikseeritud ehitusmeetoditest tuleb selgelt ja ratsionaalselt arvesse võtta ja rakendada. Tuleb kontrollida kasutatava ehitustööde järjekorra vastavust projekteerimisel kasutatud põhimõtetele.“ [3]

5.2.6. Seire

„Seiret kasutatakse [3]:

- projekteerimisel tehtud eelduste õigsuse kontrollimiseks;
- tagamaks ehitise nõuetekohane käitumine pärast ehitamise lõppu.“

„Seire programm tuleb täide viia vastavuses geotehnilise projekteerimise aruandega.“ [3]

„Ehitise tegeliku käitumise kohta peaks koostama aruanded, selleks et luua võrreldava kogemuse andmebaas.“ [3]

„Seire peaks sisaldama järgmised mõõtmised [3]:

- ehitise põhjustatud aluse vajumid;
- koormuste väärtused;
- aluse ja ehitise osade vaheliste kontaktpingete väärtused;
- poorivee rõhud;
- ehitise osade jõud ja paigutised (vertikaal- või horisontaalpaigutised, kalded või väänded).“

„Mõõtmisandmeid tuleks käsitleda koos kvalitatiivse vaatluse tulemustega, sealhulgas ehitise arhitektuurse välimusega.“ [3]

„Mistahes ehitusjärgse seire kestus võib muutuda seoses ehitusaegsete vaatlustega. Ehitiste puhul, mis võivad ebasoodsalt mõjutada ümbritsevat keskkonda või mille purunemine võib põhjustada ebanormaalselt riski inimestele ja omandile, võib ehitusjärgne seire olla vajalik kui kümme aastat pärast ehitise lõppu või isegi ehitise kogu eluea kestel.“ [3]

„Seire tulemusi peab alati hindama ja inspekteerima kvantitatiivselt.“ [3]

„Ehitiste puhul, mis võivad avaldada ebasoodsat mõju ümbritsevatele pinnase või pinnasevee tingimustele, tuleb seireprogrammi koostamisel arvestada võimalikku lekke või pinnasevee liikumistingimuste muutumise mõju, eriti kui on kaasatud peeneteralised pinnased.“ [3]

5.2.6.1. Mullete järelevalve ja seire

„Mullete seiret peaks kasutama ühel või enamates järgnevates situatsioonides [3]:

- kui kasutatakse vaatlusmeetodit;
- kui tammina töötava mulde püsivus sõltub suurel määral poorivee rõhu jaotusest mulde sees ja all;
- kui on nõutav täitest ja liiklusest põhjustatud reostuse registreerimine;
- kui on nõutav kontroll ebasoodsate mõjude kohta ehitistele ja kommunikatsioonidele;
- kui pindmine erosioon kujutab endast märkimisväärset riski.“

„Juhtudel kui järelevalve ja seire programm on nõutav, peab projekteerija selle geotehnilise projekti aruandes esitama. Peab olema märgitud, et seire andmeid tuleb hinnata ja nende alusel vajadusel vastavalt tegutseda.“ [3]

„Mulde seire programm peaks sisaldama järgmist [3]:

- poorivee rõhu mõõtmisi mulde sees ja all;
- mulde osa või terviku ja sellest mõjutatud ehitise vajumite mõõtmisi;
- horisontaalpaigutiste mõõtmisi;
- täitematerjali tugevusparameetrite kontrolli ehituse vältel;
- juhul kui on nõutav reostuse kontroll, siis keemilisi analüüse enne ehitust, ehituse ajal ja pärast ehituse lõppu;
- erosioonikaitse vaatlusi;
- täitematerjali ja aluspinnase veejuhtivuse kontrollimist ehituse ajal;
- külmumissügavust mulde harjal.“

„Madala veejuhtivusega pehmele pinnasele rajatava mulde seire peaks toimuma pehmetes kihtides poorivee rõhu mõõtmisel ja täite vajumite mõõtmise teel.“ [3]

5.3. Hälbed

5.3.1. Geosünteedide lubatud hälbed

Geosünteedide kontrollitavate väärtuste lubatud kõrvalekalded vastavalt NorGeoSpec 2012 kvaliteedisertifikaadile on toodud järgnevas tabelis (Tabel 6).

„Geosünteedide kasutamisel tuleb kasutada NorGeoSpec 2012 kvaliteedisertifikaati omavaid tooteid ning ehitaja peab lubama NorGeoSpec 2012 kvaliteedisertifikaadi väljaandja volitatud isikuid ehitusobjektile tegemaks NorGeoSpec 2012 ettenähtud kvaliteedikatseid ning tagama dokumentide olemasolu, mis tõestavad geosünteedide ostmist. Nende kaudu saab vajadusel kindlaks teha nende müüja, vahendaja ja tootja seosed.“ [11]

Tabel 6

Kontrollitavad väärtused koos kõrvalekalletega (% väärtustest) sõltuvalt toote poolt täidetavast funktsioonist [12]

Omadus	Standard	Ühik	Funktsioon		
			Filtrimine	Lahutamine	Sarrustamine
Pindalaühiku mass ¹⁾	EN ISO 9864	g/m ²	± 10 %	± 10 %	± 10 %
Mõõtmed	-- ²⁾	mm	p.n.	p.n.	± 10 %
Mehaanilised katsed					
Tõmbetugevus	EN ISO 10319 ³⁾	kN/m	- 10 %	- 10 %	- 5 %
Pikenemine maksimumkoormusel	EN ISO 10319	%	- 20 %	- 20 %	± 20 %
Tugevus 2, 5, 10% venivuse korral	EN ISO 10319	kN/m	---	---	- 20 %
Staatiline torkekindlus	EN ISO 12236	kN	- 10 %	- 10 %	p.n.
Dünaamiline torkekindlus	EN ISO 13433	mm	- 25 %	- 25 %	p.n.
Hüdraulilised katsed					
Filtratsioonimoodul risti pinda	EN ISO 11058	mm/s	- 30 %	- 30 %	- 30 % ⁴⁾
Ava normsuurus	EN 12956	µm	± 30 %	± 30 %	p.n.
¹⁾ Pindalaühiku massi pluss/miinus kõrvalekallet käsitletakse protsessi stabiilsuse näitajana. Protsessi stabiilsus tähendab, et protsess annab konstantseid, prognoositavaid tulemusi. ²⁾ Kohaldatav ainult geovõrkudele. ³⁾ Töötlemissuund ja ristitöötlemissuund. Üheteljelistel toodetel katsetada ainult koormuse vastuvõtusuunas ⁴⁾ Vabatahtlik p.n. = pole nõutav					

5.4. Kvaliteedi tagamine

„Ehitise kvaliteedi ja ohutuse tagamiseks peab vajaduse korral ette nägema [3]:

- ehitusprotsessi ja tööoskuse järelevalve;
- ehitise käitumise seire ehitamise ajal ja pärast selle lõppu;
- ehitise piisava hoolduse.“

„Ehitusprotsessi ja tööoskuse järelevalve ning ehitise käitumise seire ehitamise ajal ja pärast selle lõppu peab olema kirjeldatud geotehnilise projekti aruandes. Ehitusprotsessi ja tööoskuse järelevalve peaks vastavalt vajadusele hõlmama [3]:

- projekteerimisel tehtud eelduste õigsuse kontrolli;
- tegelike ja projekteerimisel eeldatud geotehniliste tingimuste erinevuste kindlaks tegemist;
- ehitise projektile vastavuse kontrolli.“

„Ehitise ja selle ümbruse seisundi vaatlusi ja mõõtmisi peaks vastavalt vajadusele tegema [3]:

- ehitamise ajal, tegemaks kindlaks mistahes vajaduse puuduste kõrvaldamiseks või ehitamise järjekorra muutmiseks, jne;
- ehitamise ajal ja selle järel, hindamaks pikaajalist käitumist.“

Selgelt peavad olema välja toodud projekteerimise otsused, mida järelevalve ja seire mõjutavad. [3]

„Ehitusjärelevalve maht ja seisundi kontrolliks ning monitooringuks vajalik välikatsete ja laboriteimide hulk tuleks planeerida projekteerimisel. Ootamatutel juhtumitel tuleb üle vaadata monitooringu meetodid, ulatus ja sagedus.“ [3]

„Järelevalve ja seire tase ning kvaliteet peavad vastama projektis eeldatule ning olema kooskõlas projekteerimisel valitud arvutusparameetrite ja varutegurite väärtustega.“ [3]

5.4.1. Hooldus

„Ehitise ohutuse ja kasutamiskõlblikkuse tagamiseks vajalikud hooldustööd tuleb kirjeldada. Hooldustööde kirjeldus peaks sisaldama järgmist informatsiooni [3]:

- ehitise kriitilised osad, mis vajavad regulaarset kontrollimist;
- tööd, mida ei ole lubatud teostada ilma eelneva projekti uue läbivaatusega;
- kontrollimise sagedus.“

6. KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö peamine fookus oli suunatud geosünteedide kasutamisele muldkehade rajamisel nõrkadele aluspinnastele. Lõputöös on välja toodud geosünteedidega tugevdatud muldkehade nõrkadele aluspinnastele projekteerimiseks ja analüüsimiseks vajalikud arvutuse alused.

Teises peatükis on antud geosünteedide rakendused teedel ja raudteedel. Veel on välja toodud projekteerimise ja konstrueerimise kaalutlused, koormused, arvutusolukorrad ning ehitise purunemisolukorrad.

Projekteerimise protseduurid muldkehade rajamiseks nõrkadele pinnastele koos geosünteedide kasutamisega on toodud lõputöö kolmandas peatükis. Peatükk sisaldab projekteerimise tutvustust, osavarutegureid koormustele ja koormuste kombinatsioonidele, kui ka erinevatele materjalide omadustele ning järk-järgulist piirseisundite järgi projekteerimist EVS-EN 1997-1 ja „Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements - EBGEO“ kohaselt.

Neljas peatükk hõlmab nõudeid geosünteedidele ja täitematerjalidele. Nõuded täitematerjalidele, nagu ka lõputöö viiendas peatükis käsitletavad ehituslikud nõuded ja soovitused, põhinevad peamiselt standarditel EVS-EN 1997-1 ja EVS-EN 14475.

Autori arvates on teema edasine uurimine väga oluline, kuna Eestis on teema käsitlemine võrreldes mitmete Euroopa riikidega, kus on lisaks Eurokoodeksitele välja töötatud rahvuslikud projekteerimisjuhised, alles arenemisjärgus ja eestikeelset materjali on saadaval suhteliselt vähesel määral.

7. SUMMARY

„The use of geosynthetics in the construction of embankments over weak ground“

The main focus of the current graduation thesis lies in the use of geosynthetics in the construction of embankments over weak ground. The basis of calculation for the design and analysis of embankments reinforced by geosynthetics are given in the present thesis.

In the second chapter, the applications of geosynthetics in roads and railways are observed. Further, there is given design and engineering considerations, calculation conditions and structure failure modes.

Design procedures for constructing embankments over weak ground by using geosynthetics are presented in the third chapter of graduation thesis. Chapter contains introduction to the design, partial factors of safety for actions and combination of actions as well as for different material properties according to EVS-EN 1997-1 and „Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements - EBGeo“.

The fourth chapter covers the requirements for geosynthetics and fill materials. Requirements for fill materials as well as constructional requirements and recommendations are mainly based on the standards EVS-EN 1997-1 and EVS-EN 14475.

The author of current graduation thesis finds that further exploring of the issue is very important, because currently the topic is poorly covered in Estonia and is developing comparing to many other European countries, where has been developed national design codes besides the European codes and also the sources in Estonian language are rather limited.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] S. K. Shukla ja J.-H. Yin, Fundamentals of Geosynthetic Engineering, London: Taylor and Francis/Balkema, 2006.
- [2] EVS EN-ISO 10318:2007 Geosünteedid. Terminid ja määratlused, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2007.
- [3] EVS-EN 1997-1:2005+A1:2013+NA:2014 Eurokoodeks 7: Geotehniline projekteerimine. Osa 1: Üldeeskirjad, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2005.
- [4] EVS-EN 13249:2014 Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused teede ja muude liiklusalade (v.a raudteed ja asfaldikihid) ehitamisel, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2014.
- [5] EVS-EN ISO 10320:2000 Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. Identifitseerimine ehitusplatsil, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2000.
- [6] EVS-EN 14475:2006 Execution of special geotechnical works - Reinforced fill, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2006.
- [7] G. G. Society, Toim., Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements - EBGeo, Essen: Ernst & Sohn - A Wiley Company, 2011.
- [8] Liikennevirasto, „Geolujitetut maarakenteet. Tiegeoteekniikan käsikirja,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lop_2012-02_geolujitetut_maarakenteet_web.pdf. [Kasutatud 10. jaanuar, 2015].
- [9] „Nordic Guidelines for Reinforced Soils and Fills,“ 2003. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.nordicinnovation.org/Global/_Publications/Reports/2004/Nordic%20guidelines%20for%20reinforced%20soils%20and%20fills.pdf. [Kasutatud 23. märts, 2015].
- [10] EVS-EN 13250:2014+A1:2015 Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused raudteede ehitamisel, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2014.
- [11] Maanteeamet, „Muldkeha projekteerimise, ehitamise ja remondi juhised 2014-3,“ 2014. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.mnt.ee/public/Muldkeha_juhised_kinnitatud.pdf.

[Kasutatud 28. aprill, 2015].

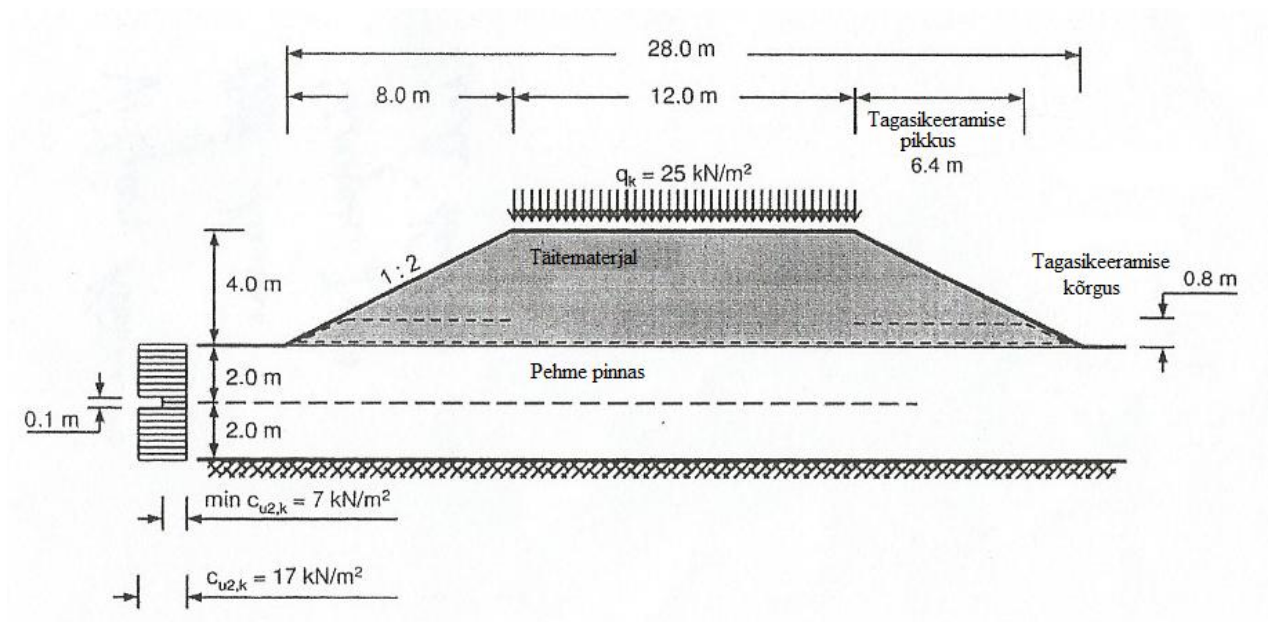
- [12] SINTEF Building and Infrastructure, „NorGeoSpec 2012,“ 2012. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.norgeospec.org/data/uploads/dateien/sintef_guideline_27-09.pdf.

[Kasutatud 29. aprill, 2015].

LISAD

Lisa 1. Pehmel pinnasel asuva muldkeha arvutamise näide

Lisa 1. Pehmel pinnasel asuva muldkeha arvutamise näide



Joonis 8. Muldkeha mõõtmed [7, p. 53]

Muldkeha geomeetria ja pinnaseparameetrid:

Muldkeha laius	28 m
Muldkeha kõrgus	4m
Muldkeha harja laius	12 m
Nõlvsus 1:2 => nõlvuse suhe	$n = 2$
Muutuvkoormus	$q_k = 25 \text{ kN/m}^2$
Arvutuskooormus	$q_d = 32,5 \text{ kN/m}^2$
Varutegurid	$\gamma_G = 1,00$
	$\gamma_Q = 1,30$

Pinnase parameeter	Mahumass	Dreenitud nihkeparameetrid		Dreenimata nihkeparameetrid	
		φ'	c'	φ_u	c_u
Täitematerjal	$\gamma_{1,k} = 20 \text{ kN/m}^3$	$\varphi'_{1,k} = 35^\circ$	$c'_{1,k} = 0 \text{ kN/m}^2$	-	-
Pehme pinnas	$\gamma_{2,k} = 15 \text{ kN/m}^3$	$\varphi'_{2,k} = 20^\circ$	$c'_{2,k} = 0 \text{ kN/m}^2$	$\varphi_{u,2,k} = 0^\circ$	$c_{u,2,k} = 20 \text{ kN/m}^2$ $\min c_{u,2,k} = 10 \text{ kN/m}^2$

1) Silindrilise lihkpinna purunemine

Muldkeha pehmel pinnasel võib puruneda mööda muldkeha täitematerjali ja pinnast läbivat lihkepinda. Üldist purunemist analüüsitakse GEO piir seisundis ja tugevduse vastupanu võetakse vastu takistava jõuna.

Vastupanud arvutatakse kasutades eraldiseisvate kihtide nihkepingete arvutuslike väärtusi. Eristatakse esialgset ja lõpliku seisundit. Horisontaalse pinnasesurve püsivate koormuste arvutuslikud väärtused on antud hõõrdenurga normväärtuse ja pinnase omakaalu (GEO piir seisund) jagatisena ja püsivate koormuste osavarutegur GEO piir seisundis on koormusjuhul 1 $\gamma_{GI} = 1,00$.

Piisav töökindlus purunemise vastu on tagatud, kui kandepiir seisundi üldtingimus:

$$E_d \leq R_d$$

on täidetud. Kui uuritakse varieerides silindrilisi lihkejooni ei pruugi ükski purunemismehhanism rikkuda kandepiir seisundit, kus valemit silindrilistele lihkejoontele (indeksiga „M“) tähistatuna

$$E_M / R_M = \mu \leq 1$$

on kasutatud koos μ rakendusteguriga.

Vastupanu väljatõmbe arvutuslik väärtus võib olla vastu võetud lisa vastupanuna koos osavaruteguriga γ_B soodsalt käituvatele tugevduskihtidele. Kasutatud on tarkvararakendust, et varieerida silindrilisi lihkepindu kasutades lõigete meetodit. Tõmbejõudu lõigatud tugevduskihis varieeriti kuni valem $E_M / R_M = \mu \leq 1$ oli täidetud $\mu = 1,00$ jaoks.

a. Esialgne stabiilsus

Nihkeparameetrite arvutusväärtused:

– Pinnas

$$c_{u,2,d} = c_{u,2,k} / \gamma_{cu}$$

$$c_{u,2,d} = 20 / 1,25 = 16,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\min c_{u,2,d} = 10 / 1,25 = 8,0 \text{ kN/m}^2$$

– Täitematerjal

$$\varphi'_{1,d} = \arctan [\tan (\varphi'_{1,k}) / \gamma_\varphi]$$

$$\varphi'_{1,d} = \arctan [\tan (35^\circ) / 1,25] = 29,3^\circ$$

Koormused on määratud mõõtmetest ja pinnase omakaaludest nagu näidatud Joonis 13. Osavarutegur püsivatele koormustele on $\gamma_G = 1,00$ koormusjuhul 1 GEO piir seisundis. Arvutuslik

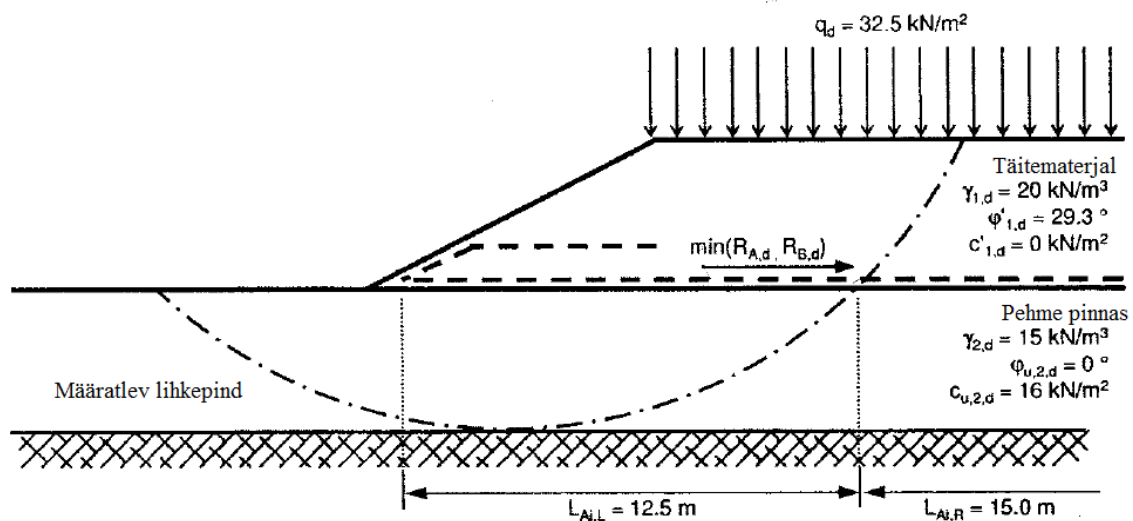
muutuvkoormuse väärtus $q_k = 25,0 \text{ kN/m}^2$ korrutatakse läbi osavaruteguriga $\gamma_Q = 1,30$, et omandada arvutuslik väärtus $q_d = 32,5 \text{ kN/m}^2$.

Analüüsi tulemused (esialgne stabiilsus):

$E_M / R_M = \mu \leq 1$ (kus $\mu = 1,0$) on geosüntetilises kihis täidetud tõmbejõule 103 kN/m . Määratlev lihesilinder saavutab maksimaalse võimaliku efektiivse sidemepikkuse $L_{Ai} = 12,5 \text{ m}$ silindrilise purunemismehanismi sees, kuni nõlva servani (Joonis 9). Väljaspool seda tsooni on geosüntetilisel kihil võimalik ankurduspikkus umbes $L_{Ai,R} = 15 \text{ m}$.

Esialgne seisund:

$\min(R_{A,d}; R_{B,d}) > 103 \text{ kN/m}$



Joonis 9. Üldstabiilsus - esialgne seisund [7, p. 55]

b. Lõplik stabiilsus

Nihkeparameetrite arvutuslikud väärtused:

– Pinnas

$$\varphi'_{2,d} = \arctan [\tan (\varphi'_{2,k}) / \gamma_\varphi]$$

$$\varphi'_{1,d} = \arctan [\tan (20^\circ) / 1,25] = 16,2^\circ$$

– Täitematerjal

$$\varphi'_{1,d} = \arctan [\tan (\varphi'_{1,k}) / \gamma_\varphi]$$

$$\varphi'_{1,d} = \arctan [\tan (35^\circ) / 1,25] = 29,3^\circ$$

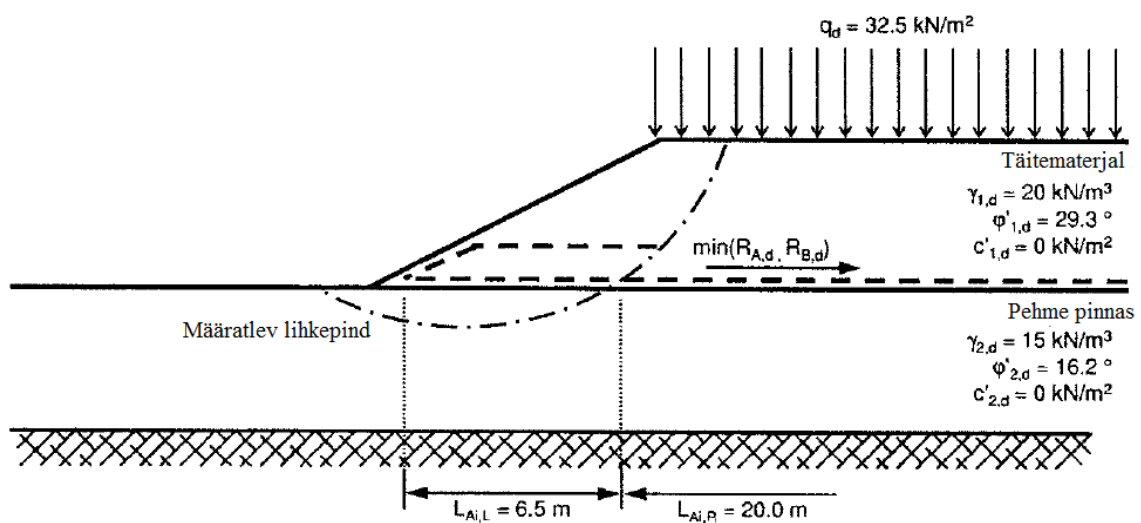
Mõõtmed ja pinnase omakaalud vastavad Joonis 13, osavarutegur püsivatele koormustele koormusjuhul 1 ja GEO piir seisundis on $\gamma_G = 1,00$. Muutuvkoormuse $q_k = 25,0 \text{ kN/m}^2$ korrutatakse osavaruteguriga $\gamma_Q = 1,30$, et saada arvutuslik väärtus $q_d = 32,5 \text{ kN/m}^2$. Analüüs viiakse läbi nagu üleval pool kirjeldatud otsides tõmbejõudu geosünteedis, mis täidaks $E_M / R_M = \mu \leq 1$ (kus $\mu = 1,00$).

Analüüsi tulemused (lõplik stabiilsus):

Valemi $E_M / R_M = \mu \leq 1$ tingimused on täidetud arvutusliku jõul 5 kN/m ülekantuna tugevduskihi poolt. Määrav lihesilinder saavutab maksimaalse võimaliku efektiivse sidemepikkuse $L_{Ai} = 6,5 \text{ m}$ silindrilise purunemismehhanismi sees, kuni nõlva servani (Joonis 10). Väljaspool seda tsooni on geosünteeetilisel kihil võimalik ankurduspikkus umbes 20 m .

Lõplik stabiilsus:

$\min(R_{a,d}; R_{B,d}) > 5 \text{ kN/m}$



Joonis 10. Üldstabiilsus - Lõplik seisund [7, p. 56]

2) Määratletud lihepind pehmes pinnases

a. Esialgne stabiilsus

Tuleb läbi viia eraldi analüüs geotehniliselt eeldefineeritud lihetasapinna esialgsele seisundile väga madala drenimata nihketugevusega pinnases (Joonis 13), näiteks kasutades üldiseid kiilu mehhanisme koos tasapinnaliste pindadega. Graafilised struktuurianalüüsid teostatakse siin näitena võimalikust mehhanismist (Joonis 11). Analüüsitakse GEO piir seisundit koormusjuhul 1.

Esmalt, tuvastatakse vastuvõetavad pinnase omakaalust ja muutuvkoormusest tulenevad koormused (Joonis 11). Nõutavad osavarutegurid püsivale ja ebasoodsatele muutuvkoormustele GEO piir seisundis, koormusjuhul 1 on:

$$\gamma_G = 1,00$$

$$\gamma_Q = 1,30$$

Pinnase omakaalukoormused seejärel esitatud:

$$E_{G,1,d} = 1/2 \cdot b_1 \cdot h_1 \cdot \gamma_{1,k} \cdot \gamma_G$$

$$= 1/2 \cdot 2,3 \cdot 4,0 \cdot 20 \cdot 1,00 = 92,0 \text{ kN/m}$$

$$E_{G,2,d} = b_2 \cdot h_1 \cdot \gamma_{1,k} \cdot \gamma_G + 1/2 \cdot b_2 \cdot h_4 \cdot \gamma_{2,k} \cdot \gamma_G$$

$$= 2,0 \cdot 4,00 \cdot 20 \cdot 1,00 + 1/2 \cdot 2,0 \cdot 2,0 \cdot 15 \cdot 1,00 = 190,0 \text{ kN/m}$$

$$E_{G,3,d} = 1/2 \cdot b_3 \cdot h_1 \cdot \gamma_{1,k} \cdot \gamma_G + b_3 \cdot h_4 \cdot \gamma_{2,k} \cdot \gamma_G$$

$$= 1/2 \cdot 8,0 \cdot 4,0 \cdot 20 \cdot 1,00 + 8,0 \cdot 2,0 \cdot 15 \cdot 1,00 = 560,0 \text{ kN/m}$$

$$E_{G,4,d} = 1/2 \cdot b_4 \cdot h_4 \cdot \gamma_{2,k} \cdot \gamma_G$$

$$= 1/2 \cdot 2,0 \cdot 2,0 \cdot 15 \cdot 1,00 = 30,0 \text{ kN/m}$$

Liikuvkoormusest tulenev koormus on esitatud:

$$E_{Q,1,d} = b_1 \cdot q_k \cdot \gamma_Q = 2,3 \cdot 25 \cdot 1,30 = 74,75 \text{ kN/m}$$

$$E_{Q,2,d} = b_2 \cdot q_k \cdot \gamma_Q = 2,0 \cdot 25 \cdot 1,30 = 65,0 \text{ kN/m}$$

Geoloogilisel nõrgal tsoonil esitatakse vastupanud kiilu lihkumisele muldkeha osas dreenimata pehme pinnase kohesiooni ja muldkeha täitematerjali hõõrdenurga kaudu.

Kohesioonijõudude arvutuslikud väärtused on esitatud:

$$C_{1,d} = 0,0 \text{ kN/m}$$

$$C_{2,d} = l_2 \cdot c_{u,2,d} = 2,8 \cdot 16 = 44,8 \text{ kN/m}$$

$$C_{3,d} = l_3 \cdot \min c_{u,2,d} = 8,00 \cdot 8 = 64,0 \text{ kN/m}$$

$$C_{4,d} = l_4 \cdot c_{u,2,d} = 2,8 \cdot 16 = 44,8 \text{ kN/m}$$

Kasutades koormuste jõudusid $E_{G,i,d}$, $E_{Q,i,d}$ ja jõudusid $C_{i,d}$ ($i = 1$ kuni 4), saab igale lõikele arvutada horisontaalse jõu resultandi. Selle horisontaalse jõu arvutus eeldab, et jõudude $Q_{i,d}$ ($i = 1$ kuni 4) suunad on määratletud. $Q_{i,d}$ jõudude suunad on antud $\varphi_{u,2,k} = 0^\circ$ poolt lihkepindadele dreenimata, pehmes pinnases, sest need on tavapärased lihkepinnale. Lihkepind lõikes 1 läbib kruusast täite, millel on hõõrdenurk $\varphi'_{1,d}$. Jõud $Q_{1,d}$ on lihkepinna suhtes $90^\circ - \varphi'_{1,d}$ nurga all.

Kui kõikide pinnase kiilule mõjuvate jõudude suunad on teada, saab arvutada horisontaalse jõu iga löike kohta. Seda saab ka visualiseerida jõu vektorite vähendatud joonisel põhineva graafilise tasakaalu diagrammiga.

$$H_{1,d} = (E_{G,1,d} + E_{Q,1,d}) \sin (45^\circ - \varphi'_{1,d}/2) / \sin (45^\circ + \varphi'_{1,d}/2) \\ = (92,0 + 74,75) \sin (45^\circ - 29,3^\circ/2) / \sin (45^\circ + 29,3^\circ/2) = 97,7 \text{ kN/m}$$

$$H_{2,d} = E_{G,2,d} + E_{Q,2,d} - 2 \cdot C_{s,d} \cdot 2^{-0,5} = 190 + 65,0 - 2 \cdot 44,8 \cdot 2^{-0,5} = 191,6 \text{ kN/m}$$

$$H_{3,d} = - C_{3,d} = - 64,0 \text{ kN/m}$$

$$H_{4,d} = - E_{G,4,d} - 2 \cdot C_{4,d} \cdot 2^{-0,5} = - 30,0 - 2 \cdot 44,8 \cdot 2^{-0,5} = 93,4 \text{ kN/m}$$

Mobiliseeriva horisontaalse jõu resultant on:

$$\text{res } H = H_{1,d} + H_{2,d} + H_{3,d} + H_{4,d} = 97,6 + 191,6 - 64,0 - 93,4 = 132,0 \text{ kN/m}$$

Et pinnasekiil jääks tasakaalu on vajalik geosünteedi arvutuslik tugevus $R_{B,d} = 132,0 \text{ kN/m}$ lihkemehhanismile koormusjuhul 1 näidatuna ja GEO piirreisundis. Vastupanu väljatõmbele analüüs näitab, et $R_{A,d} = 132,0 \text{ kN/m}$.

Määratlev umbes 9,5 m ankurduspikkus L_{Ai} tuleb tagada, ilma kaalutlemata tugevduse tagasikeeramise mõju.

b. Lõplik stabiilsus

Lõplikus seisundis puuduvad eelnevalt kindlaks määratud lihkepinnad pehmes pinnases. Seetõttu ei nõua selle seisundi lõplik stabiilsus uurimist.

3) Lihkepind geosünteedi ja täitepinnase vahel või geosünteedi ja pehme pinnase vahel võttes arvesse tugevduse tagasikeeramist

a. Üldised soovitusel

Kui tugevdus on tagasikeeratud, tuleb uurida lihkepindasid Joonis 12 pinnasekiilude lihkumisele soodsatel lihkepindadel pinnase ja geosünteedi vahel esialgsel ja lõplikul seisundil.

Järgnevad kolm võrratust peavad olema täidetud GEO piirreisundis:

$$E_{ah3,d} \leq R_{3,d}$$

$$E_{ah3,d} \leq R_{O,d} + \min (R_{3,d}; R_{B,d})$$

$$E_{ah3,d} \leq R_{U,d} + \min (R_{B,d}; R_{A,d})$$

Antud näites on koormused pinnase omakaalust ja muutuvkoormusest arvatud eraldi esialgsel ja lõplikul stabiilsusel ja on esitatud:

$$E_{ah,3,d} = \gamma_G \cdot (\gamma_{1,k} \cdot 0,5 \cdot h_3 \cdot h_3 \cdot K_{agh}) + \gamma_Q \cdot (p_k \cdot h_3 \cdot K_{aph})$$

$$= 1,00 \cdot (20 \cdot 0,5 \cdot 3,2 \cdot 3,2 \cdot 0,27) + 1,30 \cdot (25 \cdot 3,2 \cdot 0,27) = 55,9 \text{ kN/m}$$

$$E_{ah,d} = \gamma_G \cdot (\gamma_{1,k} \cdot 0,5 \cdot h_1 \cdot h_1 \cdot K_{agh}) + \gamma_Q \cdot (p_k \cdot h_1 \cdot K_{aph})$$

$$= 1,00 \cdot (20 \cdot 0,5 \cdot 4,0 \cdot 4,0 \cdot 0,27) + 1,30 \cdot (25 \cdot 4,0 \cdot 0,27) = 78,6 \text{ kN/m}$$

koos aktiivse horisontaalse pinnasesurve teguritega:

$$K_{agh} = \tan^2 (45^\circ - \varphi'_{1,k}/2) = \tan^2 (45^\circ - 35 / 2) = 0,27$$

$$K_{aph} = K_{agh} = 0,27.$$

b. Esialgne stabiilsus

Analüüsiks vajalikud vastupanud on esitatud:

$$R_{3,d} = 1/2 \cdot \gamma_{1,d} \cdot (h_3 / \tan \beta) \cdot h_3 \cdot f_{1g,d}$$

$$= 1/2 \cdot 20 \cdot (3,2 / 0,5) \cdot 3,2 \cdot 0,28 = 57,4 \text{ kN/m}$$

kus: $f_{1g,d} = 0,5 \cdot \tan \varphi'_{1,d} = 0,5 \cdot \tan (29,3^\circ) = 0,28$

$$R_{O,d} = 1/2 \cdot \gamma_{1,d} \cdot (h_1 / \tan \beta) \cdot h_3 \cdot f_{1g,d}$$

$$= 1/2 \cdot 20 \cdot (4,0 / 0,5) \cdot 4,0 \cdot 0,28 = 89,6 \text{ kN/m}$$

$$R_{U,d} = c_{u2,d} \cdot h_1 / \tan \beta = 16 \cdot 4,0 / 0,5 = 128,0 \text{ kN/m}.$$

Pinnasekiilu lihkumise analüüs tagasikeeramise koha peal:

$$E_{ah,3,d} \leq R_{3,d}$$

$$55,9 \leq 57,4$$

on seega täidetud.

Lihkumist tugevduskihi kohal ja all analüüsitakse samuti. Pinnasesurve $E_{ah,d}$ on vastu võetav koormusena. Jõud $R_{O,d}$, $R_{3,d}$ ja $R_{B,d}$ toimivad vastupanudena lihkumisele tugevduskihi kohal:

$$E_{ah,d} \leq R_{O,d} + \min (R_{3,d}; R_{B,d})$$

$$78,6 \leq 89,6 + \min (R_{3,d}; R_{B,d})$$

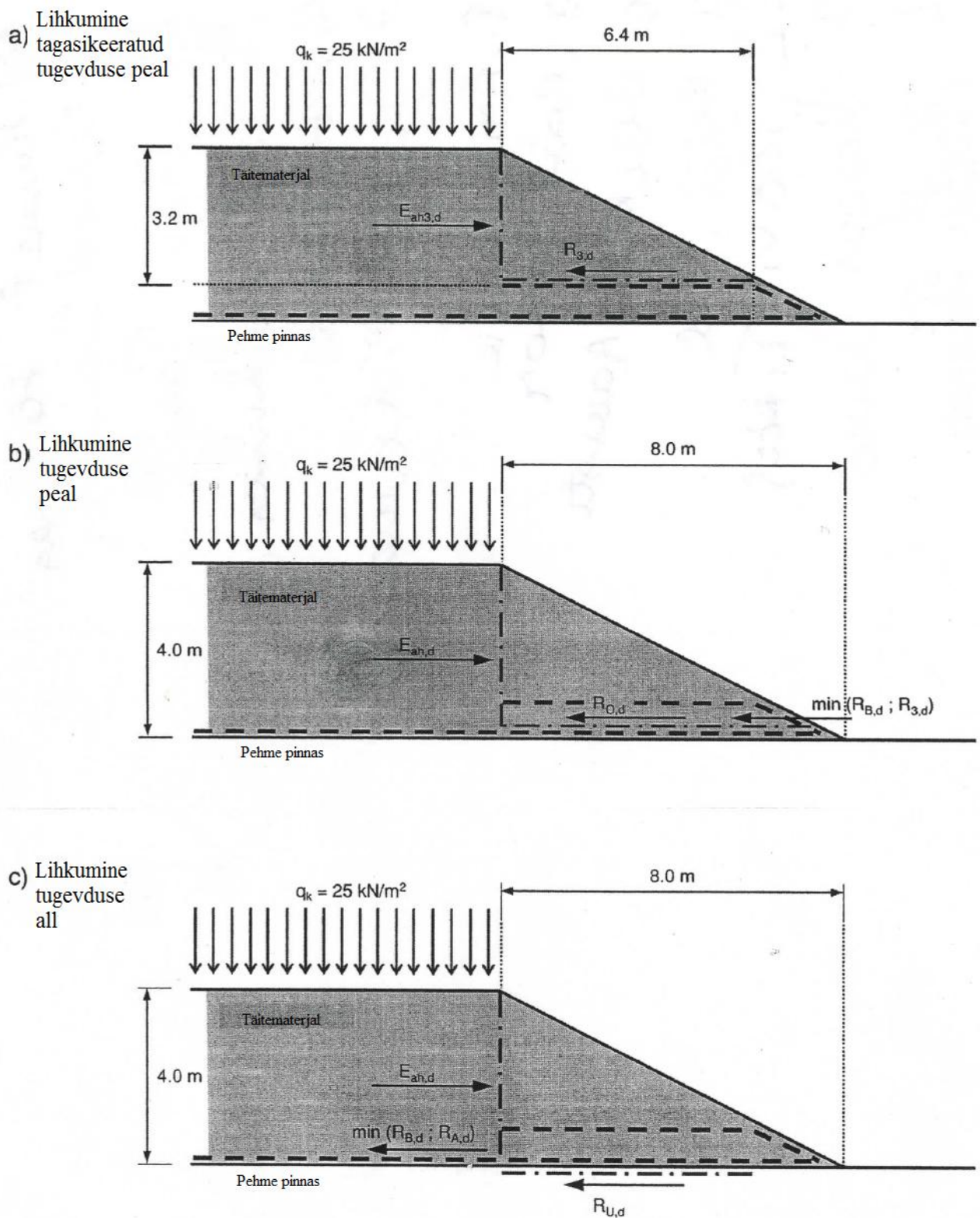
Kuna jõud $R_{O,d}$ on suurem kui koormus $E_{ah,d}$ ei ole lisa geosünteeiline tugevdus vajalik sellel analüüsil.

Jõud $R_{U,d}$, $R_{B,d}$ ja $R_{A,d}$ on nõutud lihkumise analüüsiks tugevduskihi all (lõikunud geosünteedid):

$$E_{ah,d} \leq R_{U,d} + \min (R_{3,d}; R_{B,d})$$

$$78,6 \leq 128 + \min (R_{B,d}; R_{A,d})$$

Jõud $R_{O,d}$ on suurem kui koormus $E_{ah,d}$ selle purunemisolukorra puhul. Täiendavat geosünteesilise tugevduse vastupanu pole seetõttu antud analüüsile vaja.



Joonis 12. Võimalikud lihketasapinnad geosünteedi ja täitematerjali või geosünteedi ja pehme pinnase vahel, võttes arvesse tugevduse tagasikeeramist. [7, p. 61]

c. Lõplik stabiilsus

Pehme pinnas on iseloomustatus oma drenitud nihkeparameetrite poolt lõpliku stabiilsuse analüüsiks. See muudab pinnasekiilu pinnase lihkumise analüüsi tugevduskihi all. Vastupanu $R_{U,d}$ on:

$$R_{U,d} = c'_{2,d} \cdot h_1 / \tan \beta + 1/2 \cdot \gamma_{1,d} \cdot (h_1 / \tan \beta) \cdot h_1 \cdot f_{2g,d} \\ = 0 \cdot (4,0 / 0,5) + 1/2 \cdot 20 \cdot (4,0 / 0,5) \cdot 4 \cdot 0,15 = 47,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{kus: } f_{2g,d} = 0,5 \cdot \tan \varphi'_{2,d} = 0,5 \cdot \tan (16,2^\circ) = 0,15$$

Analüüsi saab nüüd läbi viia esitades:

$$E_{ah,d} \leq R_{U,d} + \min (R_{B,d}; R_{A,d})$$

$$78,6 \leq 47 + \min (R_{B,d}; R_{A,d})$$

$$\min (R_{B,d}; R_{A,d}) > 78,6 - 46,6 = 32,0 \text{ kN/m}$$

See tähendab, et geosünteedi arvutuslik tugevus $R_{B,d} = 32,0 \text{ kN/m}$ on nõutud koormusjuhul 1 GEO piirseisundis. Vastupanu väljatõmbele $R_{A,d}$ vähemalt $32,0 \text{ kN/m}$ peab olema ka tõendatud. Määratlev ankurduspikkus ilma tugevduse tagasikeeramiseteta on $L_{Ai} = 7,5 \text{ m}$.

4) Pinnase stabiilsuse analüüsimine välja pressimise vastu

Jaotis 3) märgib kuidas pinnase välja pressimine on eriti valdav esialgses seisundis, eriti väga nõrkades pinnastes ja kus pehme pinnas on ainult piiratud paksusega. GEO piirseisundis tuleb kinni pidada valemitest:

$$E_{ah4,d} \leq R_{Ep4,d} + R_{4,d}$$

ja

$$R_{U,d} \leq \min (R_{B,d}; R_{A,d})$$

Kui pinnases esineb eriti nõrkasid tsoone tuleb kaalutletava pinnasekiilu alus paiknema nõrgas tsoonis.

Koormus on esitatav:

$$E_{ah4,d} = \gamma_G \cdot (\gamma_{1,k} \cdot h_1 \cdot h_4 + 0,5 \cdot \gamma_{2,k} \cdot h_4^2 - 2 \cdot c_{u,2,k} \cdot h_4) + \gamma_Q \cdot (q_k \cdot h_4).$$

Kasutades numbreid näitest:

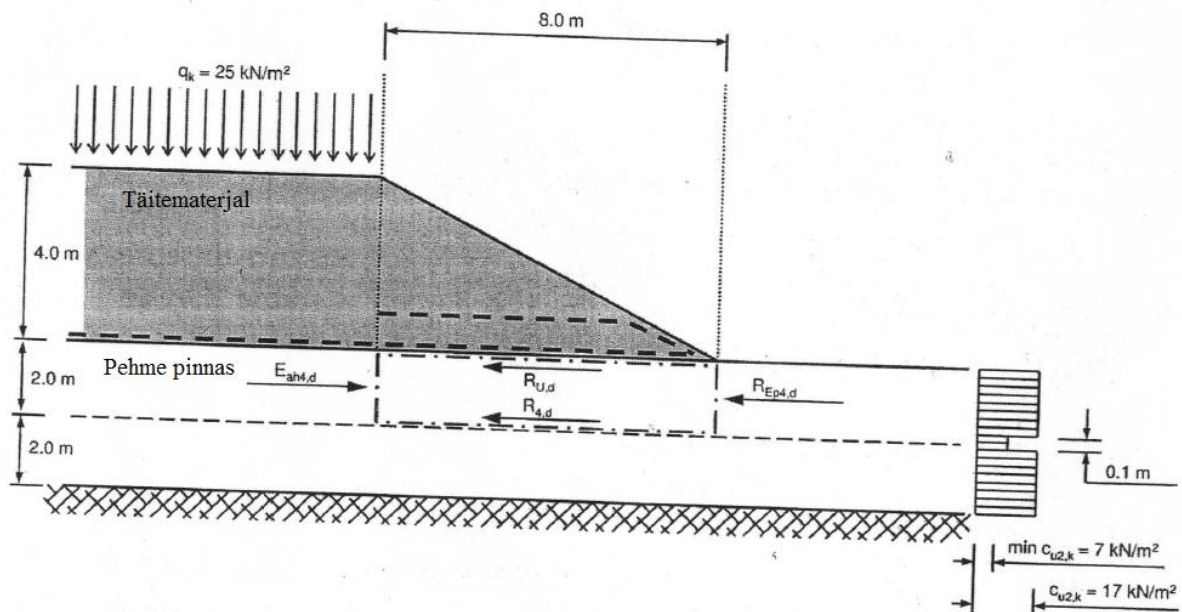
$$E_{ah4,d} = 1,00 \cdot (20 \cdot 4 \cdot 2 + 0,5 \cdot 15 \cdot 2^2 - 2 \cdot 17 \cdot 2) + 1,30 \cdot (25 \cdot 2) = 187,0 \text{ kN/m}.$$

Pinnase tugevusparameetrite arvutuslikud väärtused on vajalikud, et analüüsida vastupanusid GEO piirseisundis. Näites on need:

$$c_{u,2,d} = c_{u,2,k} / \gamma_{cu} = 20 / 1,25 = 16,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\min c_{u,2,d} = \min c_{u,2,k} / \gamma_{cu} = 10 / 1,25 = 8,0 \text{ kN/m}^2$$

Lisaks, pehme pinnase mahukaal on vastu võetud horisontaalse vastupanujõu määramiseks.



Joonis 13. Pinnasekiilu geomeetria [7]

Kus:

$$\gamma_{2,d} = \gamma_{2,k}$$

Passiivse pinnasesurve arvutuslik väärtus pinnasekiilu ees $R_{3,d}$ on:

$$\begin{aligned} R_{Ep4,d} &= 0,5 \cdot \gamma_{2,d} \cdot h_4^2 + 2 \cdot c_{u,2,d} \cdot h_4 \\ &= 0,5 \cdot 15 \cdot 2^2 + 2 \cdot 16 \cdot 2 = 94,0 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

Hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus pinnasekiilu peal $R_{U,d}$ on:

$$\begin{aligned} R_{U,d} &= c_{u,2,d} \cdot h_1 / \tan \beta \\ &= 16 \cdot 4 / 0,5 = 128,0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus pinnasekiilu allosas $R_{4,d}$ on:

$$\begin{aligned} R_{4,d} &= \min c_{u,2,d} \cdot h_1 / \tan \beta \\ &= 8 \cdot 4 / 0,5 = 64,0 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

Valemi tingimustest:

$$E_{a4,d} \leq R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d}$$

$$187 \leq 94 + 128 + 64 = 286,0 \text{ kN/m}$$

on seega kinni peetud.

Geosünteedi arvutuslikku tugevust või vastupanu väljatõmbele tuleb samuti analüüsida analoogselt valemile:

$$R_{U,d} \leq \min(R_{B,d}; R_{A,d})$$

$$R_{B,d} \text{ või } R_{A,d} \geq 128 \text{ kN/m}$$

Määratlev ankurdus pikkus L_{Ai} umbes 7,5 m tuleb ette näha, arvestamata tugevduse tagasikeeramise toimet.

5) Kandevoime analüüs

Pehmel pinnasel täite nõlvade sügavaletunginud stabiilsust uuritakse alati. Kandevoimet analüüsitakse vastavalt, kas nagu madalvundamentide korral või üldstabiilsusega, sõltuvalt pinnasekihtidest ja teistest piirtingimustest (nt geosünteed muldkeha alustasapinnal). Selles näites ei ole kandevoime määratlev tingimus, sest pehme pinnas on ainult 4 m paks ja pinnas selle all loetakse püsivaks. Pehme kiht on seetõttu mitu korda õhem, kui muldkeha kontaktpind.

6) Geosünteedi valimine

a. Tugevduse purunemise analüüsimine

Järgnevad minimaalsed geosünteedide arvutuslikud vastupanu väärtused tulenevalt jaotistes 1) kuni 5) kirjeldatud analüüsides

Nõutavad arvutusvastupanud $R_{B,d}$:

Arvutusvastupanu jaotisest	Esialgne seisund	Lõplik seisund
1)	103,0 kN/m	5,0 kN/m
2)	132,0 kN/m	-
3)	-	32,0 kN/m
4)	128,0 kN/m	-

See annab geosünteedi vajaliku lühiajalise tugevuse kasutades järgnevat valemit:

$$R_{B,k0} = \max. R_{B,d} \cdot (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot \gamma_M)$$

a) Esialgne seisund:

Maksimaalne geosünteedi arvutusliku vastupanu väärtus põhinedes vastupanu puudujäägil üldstabiilsuse analüüsis (siin: üldine kiilu meetod) on esialgses seisundis $R_{B,d} = 132,0$ kN/m (vaata jaotist 2)). Esialgne seisund on ajutine arvestades, et geotehnilised piirtingimused võivad suurenedada pinnasekihtide konsolidatsioonist.

Kasutades näitena polüestrist toodetud geosünteeete, asetsevatena pehmel pinnasel ja koos pinnaseklassi SE muldkeha täitematerjaliga ning eeldades $A_1 = 1,4$ (madal väärtus umbes 1,5 aastase konsolidatsiooni kestvuse tõttu), $A_2 = 1,2$ ja $A_3 = A_4 = 1,0$ (tootja andmed, $\gamma_M = 1,3$ eeldatava koormusjuhu 2 tõttu), on saadud järgnev nõutav lühiajalise tugevuse arvutuslik väärtus:

$$R_{B,k0} = 132,0 \cdot (1,4 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3) = 288,3 \text{ kN/m.}$$

b) Lõplik seisund:

Maksimaalne arvutuslik tugevus (tugevduse tõmbejõu arvutuslik väärtus), tulenevalt lihkumise analüüsist geosünteedi all lõplikus seisundis, on $R_{B,d} = 32,0$ kN/m GEO piirseisundid nagu kirjeldatud jaotises 3) a.

Kasutades näitena polüestrist toodetud geosünteeete, asetsevatena pehmel pinnasel ja koos pinnaseklassi SE muldkeha täitematerjaliga ning eeldades, et ulatuslike uuringute tulemused annavad madalamad tegurid, kui minimaalsed väärtused, $A_1 = 2,5$, $A_2 = 1,2$, $A_3 = 1,0$ ja $A_4 = 1,4$ annavad järgneva nõutava lühiajalise tugevuse arvutusliku väärtuse püsivatele rajatistele, näiteks:

$$R_{B,k0} = 32,0 \cdot (2,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 1,4) = 174,7 \text{ kN/m.}$$

Antud juhul, niisiis on nõutav, määrav lühiajaline tugevus ajutises olekus 288,3 kN/m.

b. Tugevduse väljatõmbe analüüsimine

Tugevduskihi vastupanu väljatõmbe tuleb analüüsida muldkeha aktiivsest (lihkumine) ja passiivsest vaatenurgast (muldkeha pealistis). Selles näites määratlev ankurdupikkus L_{Ai} paikneb alati aktiivsel, lihkumise poolel.

Järgnevad minimaalsed geosünteedi vastupanu väljatõmbele $R_{A,d}$ ja ankurdupikkuse L_{Ai} väärtused, ilma kaalutlemata tugevduse tagasikeeramist, on antud jaotistes 1) kuni 5) kirjeldatud analüüsides:

Nõutavad väljatõmbe vastupanu req. $R_{A,d}$ ja määratlevad ankurduspikkused:

Analüüs jaotisest	Esialgne seisund		Lõplik seisund	
	Mõjuv väljatõmbe vastupanu $R_{A,d}$	Ankurduspikkus L_{Ai}	Mõjuv väljatõmbe vastupanu $R_{A,d}$	Ankurduspikkus L_{Ai}
1)	103,0 kN/m	12,5 m	5,0 kN/m	6,5 m
2)	132,0 kN/m	9,5 m	-	-
3)	-	-	32,0 kN/m	7,5 m
4)	128,0 kN/m	9,5 m		-

Vastupanu väljatõmbele on tugevduselemendi ja täitematerjali vahele koonduvate piirseisundi nihkepingete funktsioon. Nihkepingeid nii peal $R_{A,1g,d}$ kui all $R_{A,2g,d}$ saab aktiveerida vastupanudena. Lisaks sellele mõjub tugevduse tagasikeeramisest tulenev vastupanu väljatõmbele $R_{A,U,m,d}$. Järgnev tingimus peab olema kogu aeg täidetud:

$$R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,U,m,d} \geq R_{A,d}$$

Tugevduse väljatõmmet tuleks analüüsida nii esialgses, kui ka lõplikus seisundis. Tugevduse tagasikeeramisest tulenev vastupanu väljatõmbele on alati sama ja arvutatakse kasutades:

$$R_{A,U,m,d} = (2 \cdot G_{U,m,k} \cdot f_{1g,k}) / \gamma_B,$$

kus $G_{U,m,k}$ – tugevduse tagasikeeratud kohale mõjuv pinnase omakaal
 $f_{1g,k}$ – hõõrdeteguri normväärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel
 γ_B – elastsete tugevduselementide vastupanu väljatõmbele osavarutegur GEO piirseisundis.

Selles näites $R_{A,U,m,d}$ on:

$$R_{A,U,m,d} = (2 \cdot 204,8 \cdot 0,35) / 1,4 = 102,3 \text{ kN/m}$$

kus:

$$G_{U,m,k} = 0,5 \cdot h_3 \cdot l_3 \cdot \gamma_{1,k} = 0,5 \cdot 3,2 \cdot 6,4 \cdot 20 = 204,8 \text{ kN/m},$$

$$f_{1g,k} = 0,5 \cdot \tan \varphi'_{1,k} = 0,5 \cdot \tan (35^\circ) = 0,35.$$

GEO piirseisundis kehtib järgnev geosünteedi pealmisele poolele, mis on vastamisi muldkeha täitematerjaliga (teraline pinnas), esialgses seisundis:

$$R_{A,1g,d} = (G_{LAi,k} \cdot f_{1g,k}) / \gamma_B$$

ja geosünteedi alumisele küljele, maapinna poolsele (nidus pinnas):

$$R_{A,2g,d} = (a_k \cdot L_{Ai}) / \gamma_B,$$

- kus $G_{L_{Ai},k}$ – Ankurduspikkusena L_{Ai} toimiv pinnase omakaal
- $f_{1g,k}$ – hõõrdeteguri normväärtus muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel
- a_k – haardumise normväärtus pehme pinnase, nidusa pinnase ja geosünteedi vahel
(siin $a_k = c_{u,k}$)
- γ_B – elastsete tugevduselementide vastupanu väljatõmbele osavarutegur GEO piirreisundis.

Tõhusad vastupanud väljatõmbele eraldiseisvateks analüüsideks on antud allpool:

Analüüs jaotisele	$L_{Ai} =$	$L_{Ai} > \tan(\beta) \cdot h_1$ jaoks: $G_{L_{Ai},k} = 0,5 \cdot (L_{Ai} + L_{Ai} - 8) \cdot h_1 \cdot \gamma_{1,k}$
1)	12,5 m	$0,5 \cdot (12,5 + 12,5 - 8) \cdot 4 \cdot 20 = 680 \text{ kN/m}$
2)	9,5 m	$0,5 \cdot (9,5 + 9 - 8) \cdot 4 \cdot 20 = 440 \text{ kN/m}$
3)	-	-
4)	9,5 m	$0,5 \cdot (9,5 + 9 - 8) \cdot 4 \cdot 20 = 440 \text{ kN/m}$

Analüüs jaotisele	$R_{A,1g,d} =$	$R_{A,2g,d} =$	$R_{A,U,d} =$
1)	$(680 \cdot 0,35) / 1,4 = 170,1 \text{ kN/m}$	$(20 \cdot 12,5) / 1,4 = 178,6 \text{ kN/m}$	102,4 kN/m
2)	$(440 \cdot 0,35) / 1,4 = 110,0 \text{ kN/m}$	$(20 \cdot 9,5) / 1,4 = 135,7 \text{ kN/m}$	102,4 kN/m
3)	-	-	-
4)	$(440 \cdot 0,35) / 1,4 = 110,0 \text{ kN/m}$	$(20 \cdot 9,5) / 1,4 = 135,7 \text{ kN/m}$	102,4 kN/m

Analüüs jaotisele	$R_{A,1g} + R_{A,2g,d} + R_{A,U,d}$	req. $R_{A,d}$	
1)	451,2 kN/m	103,0 kN/m	Analüüs kontrollitud
2)	348,2 kN/m	132,0 kN/m	Analüüs kontrollitud
3)	-	-	-
4)	348,2 kN/m	128,0 kN/m	Analüüs kontrollitud

Lõpliku seisundi jaoks jäävad väljendid vastupanu väljatõmbele geosünteedi peal $R_{A,1g,d}$ ja vastupanud tugevduse tagasikeeramistest $R_{A,U,d}$ muutumatuks võrreldes esialgse seisundiga.

Vastupanule $R_{A,2g,d}$:

$$R_{A,2g,d} = (G_{L_{Ai},k} \cdot f_{2g,k}) / \gamma_B$$

kehtib koos hõõrdeteguri normväärtusega $f_{2g,k}$ muldkeha täitematerjali ja geosünteedi vahel. Tegur on esitatav:

$$f_{1g,k} = 0,5 \cdot \tan \varphi'_{2,k} = 0,5 \cdot \tan(20^\circ) = 0,18.$$

Analoogselt esialgse seisundi arvutustega annab:

Analüüs jaotisele	$L_{Ai} =$	$L_{Ai} \leq \tan(\beta) \cdot h_1$ jaoks: $G_{L_{Ai},k} = 0,5 \cdot \tan(\beta) \cdot L_{Ai} \cdot L_{Ai} \cdot \gamma_{1,k}$
1)	6,5 m	$0,5 \cdot 0,5 \cdot 6,5 \cdot 6,5 \cdot 20 = 211,25 \text{ kN/m}$
2)	-	-
3)	7,5 m	$0,5 \cdot 0,5 \cdot 7,5 \cdot 7,5 \cdot 20 = 281,25 \text{ kN/m}$
4)	-	-

Analüüs jaotisele	$R_{A,1g,d} =$	$R_{A,2g,d} =$	$R_{A,U_{m,d}} =$
1)	$(211,2 \cdot 0,35) / 1,4 = 52,8 \text{ kN/m}$	$(211 \cdot 0,18) / 1,4 = 27,5 \text{ kN/m}$	102,4 kN/m
2)	-	-	-
3)	$(281,2 \cdot 0,35) / 1,4 = 70,3 \text{ kN/m}$	$(281,2 \cdot 0,18) / 1,4 = 36,6 \text{ kN/m}$	102,4 kN/m
4)	-	-	-

Analüüs jaotisele	$R_{A,1g} + R_{A,2g,d} + R_{A,U_{m,d}}$	req. $R_{A,d}$	
1)	182,7 kN/m	5,0 kN/m	Analüüs kontrollitud
2)	-	-	-
3)	209,3 kN/m	32,0 kN/m	Analüüs kontrollitud
4)	-	-	-