



TALLINNA  
**TEHNIKA**KÕRGGKOOI

Karl – Kristjan Suits

# **GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE ANALÜÜS JA ETTEPANEKUD**

LÕPUTÖÖ

Tallinn 2025



**Karl – Kristjan Suits**

# **GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE ANALÜÜS JA ETTEPANEKUD**

LÕPUTÖÖ

Ehitusinstituut

Teedehitus

Juhendaja: Sven Sillamäe, *MSc*

Tallinn 2025

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina/meie, Karl – Kristjan Suits

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Geosünteedide kasutamise analüüs ja ettepanekud

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

### **Autorideklaratsioon**

Mina/meie, Karl – Kristjan Suits

tõendan/tõendame, et lõputöö on minu/meie kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Juhendaja Sven Sillamäe

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

*(allkirjastatud digitaalselt)*

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	6
1 GEOSÜNTEETIDE KASUTUSVÕIMALUSED .....	7
1.1 Geosünteedide nõuded juhendites .....	8
1.1.1 Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis.....	9
1.1.2 Elastsete teekatendite projekteerimise juhend .....	10
1.1.3 Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigaldamise juhis.....	12
1.2 Geosünteedide alased arendustööd .....	12
1.2.1 Geosünteedika kvaliteedikontrolli arendamise arendustöö .....	12
1.2.2 Geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö .....	15
2 JUHENDMATERJALIDE PARENDUSETTEPANEKUD .....	18
2.1 Muldkeha ja drenkihi projekteerimise ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi parendusettepanekud .....	18
2.1.1 Geosünteediliste materjalide vastavus ja kvaliteedikontroll ehitusplatsil ...	18
2.1.2 Geosünteedide funktsioonid .....	20
2.1.3 Eraldav ja filtreeriv geotekstiil.....	20
2.1.4 Armeeriv geosünteed .....	22
2.1.5 Stabiliseeriv geosünteed .....	23
2.1.6 Dreeniv geosünteed .....	24
2.1.7 Barjääri funktsiooniga geosünteed .....	25
2.1.8 Kaitsev geosünteed.....	25
2.1.9 Erosiooni tõkestav geosünteed .....	26
2.1.10 Geosünteedide arvutamine.....	27
2.2 Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigaldamise juhendi parendusettepanekud.....	31
2.3 Geosünteedika kvaliteedikontrolli arendamise arendustöö parendusettepanekud ..	34
2.4 Geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö parendusettepanekud ..	35
3 GEOSÜNTEETIDE KESKKONNAJALAJÄLJE ARVUTAMINE .....	36
3.1 Arvutusnäide 1: projektlahendus geosünteedilisi materjale kasutamata .....	36
3.1.1 Arvutuse lähteparameetrid .....	36
3.1.2 Arvutusvalemid .....	37
3.1.3 Arvutused .....	38
3.2 Arvutusnäide 2: projektlahendus kasutades tugevdavat geosünteedi .....	40
3.2.1 Arvutuse lähteparameetrid .....	40
3.2.2 Arvutusvalemid .....	42

3.2.3	Arvutused .....	42
3.3	Kahe projektlahenduse võrdlus .....	43
4	PINNASEVAHETUSE JA GEOSÜNTEETILISE MATERJALI PROJEKTLAHENDUSTE HINNAVÕRDLUS .....	44
4.1	Arvutusvariant 1: pinnasevahetuse ehitusmaksumus .....	44
4.2	Arvutusvariant 2: tugevdava geosünteeetilise materjali kasutamise ehitusmaksumus .....	45
4.3	Kahe arvutusvariandi võrdlus .....	45
	KOKKUVÕTE .....	46
	SUMMARY .....	47
	VIIDATUD ALLIKAD .....	49
	Lisa 1. Geosünteeetide kasutusvaldkonnad ja standardid .....	52
	Lisa 2. Tehniline asfaldivõrkude võrdlus [26] .....	54
	Lisa 3. Tehniline asfaldikanga ja asfaldikomposiidi võrdlus [26] .....	56

## SISSEJUHATUS

Geosünteedid on sünteetilised materjalid, mis aitavad parandada pinnaste tingimusi ja omadusi.

Geosünteede kasutatakse maa- ja vesiehitiste rajamisel, kokkupuutel pinnase ja/või muude materjalidega pinnaste tugevdamiseks ehk armeerimiseks, vee ärajuhtimiseks ja isoleerimiseks, pinnaseosakeste liikumise tõkestamiseks. Paigaldatuna võib geosünteed täita üht või mitut ülesannet korraga. Korrektselt projekteeritud ja paigaldatud geosünteed teekonstruktsioonis pikendab selle eluiga.

Geosünteedide kasutamise vajadus otsustatakse projekteerimisel. Geosünteediga konstruktsioonilahendust projekteerides tuleb selgeks teha, mis on geosünteedi kasutamise oodatav eesmärk ja vajalikud omadused. Projekteerimisel arvutatakse esmalt konstruktsioonikihtide paksused, seejärel otsustatakse arvutuste põhjal, kas geosünteedi kasutamine aitaks konstruktsioonikihtide paksusi kokku hoida ning vähendada seeläbi ehitusmaksumust ja säästa loodusvarade kasutamist.

Geosünteedidega konstruktsioonilahendusi projekteerides tuleb teha kaalutletud valik, sest teed on võimalik rajada ka ilma nendeta. Juhul kui on kasutada piisavalt teedehituseks sobivat ehitusmaterjali, võiks geosünteedide kasutamist vältida. Geosünteedide kasutamisel tuleks arvesse võtta ka nende tootmiseks vajaminevat loodusressurssi, energiat, transpordikulu jms. Veel tuleb arvestada, et kui geosünteed on oma kasutusea minetanud, siis muutub see jäätmeks. Pinnast, kus on kasutatud geosünteedi ei saa ilma täiendava sorteerimiseta taaskasutada. Geosünteedide kasutamist saab vältida, suurendades aluskihi paksust, rajades eraldi tugevduskiht või kui soovitakse vältida killustiku ummistumist, siis nähes ette pinnasefiltri rajamine [1].

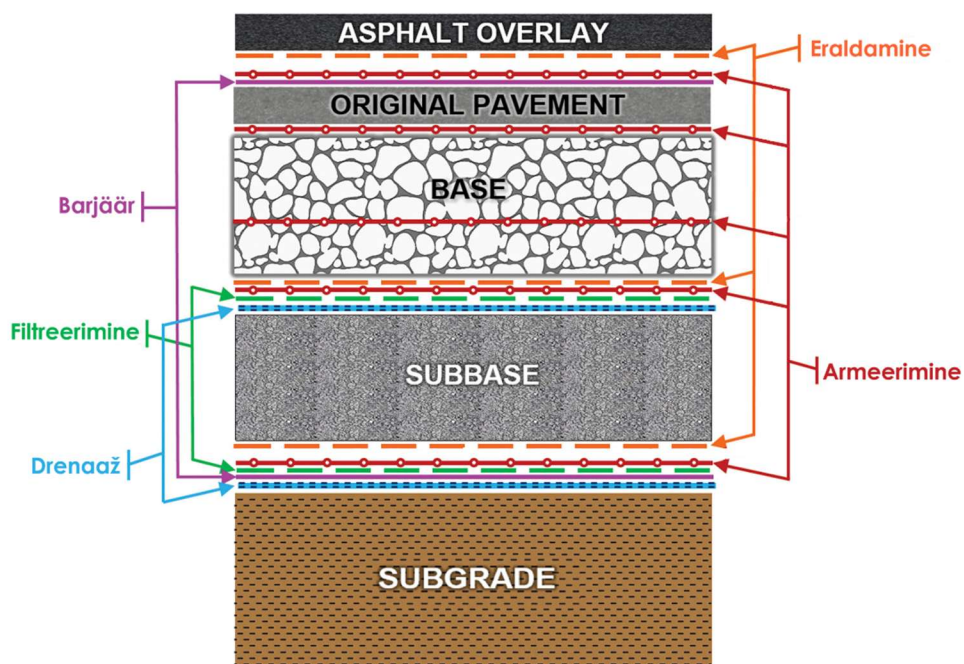
Geosünteedide eesmärgipärase kasutamise eeliseks võib olla ehitusmaksumuse kokkuhoid ja keskkonnasääst, hoides neid kasutades ära pinnaste massiveod.

Käesoleva lõputöö eesmärk on analüüsida kehtivates juhendites geosünteediliste materjalide nõudeid projekteerimise, ehituse ja järelevalvega seotud probleemidest lähtuvalt ning pakkuda selle põhjal tellijale lahendusi, kuidas soodustada geosünteedide kasutust (sh massivedude ja materjali kulu vähendamise osas).

# 1 GEOSÜNTEETIDE KASUTUSVÕIMALUSED

Geosünteedide kasutusvõimalused on laialdased. On ilmne, et teedehitus on oma olemuselt loodusvarade suhtes nõudlik valdkond. Juhul kui on plaanis rajada uut teed või rekonstrueerida olemasolevat, tuleb kasutada kvaliteetseid ehitusmaterjale, et kindlasti oleks tagatud tee eeldatav eluiga. Paraku sellise kvaliteetse ehitusmaterjali hankimine on loodust säästev ja majanduslikult kallis. Reegel on, et mida suurem on tee liiklussagedus, seda paremate omadusnäitajatega ehitusmaterjali tuleb ehitusel kasutada.

Geosünteede kasutades saab vältida pinnaste massivahetusi: madala kandevõimega (nõrkade) aluspinnaste kandevõimet suurendatakse kas geotekstiilide, geovõrkude või geokomposiitide kasutamisega. Geosünteede kasutatakse peamiselt eesmärgiga parandada pinnaste ning maa- ja tee-ehitusmaterjalide omadusi ning need võivad täita erinevaid eesmärke (Joonis 1).



Joonis 1. Teekonstruktsioonis kasutatavate geosünteedide võimalused ja nende funktsioonid [2]

Eestis vanim säilinud inimkätega rajatud tee paikneb Kata Heinasoo sootee Tuhala lähedal ja pärineb 3.-4. sajandist pKr. Tee rajati kahe- kuni kolme meetristest palkidest. Antud teed võib nimetada pinnase armeerimiseks, sest palkide kasutamisega parandati pinnase tingimusi ja loodi võimalused soo peal liiklemiseks [3].

Tänapäeval kasutatavad geosünteedid on enamjaolt valmistatud polümeerplastist. Geosünteede kasutades on vaja teada, millisest materjalist on vastav geosünteed

valmistatud, kuna erinevad geosünteedid on tundlikud erinevate keskkondade suhtes [4]. Geosünteedides kasutatavaid polümeere on tihtipeale töödeldud oksüdeerimis- ja UV-kiirguse vastaste lisanditega, et parandada nende eluiga [5].

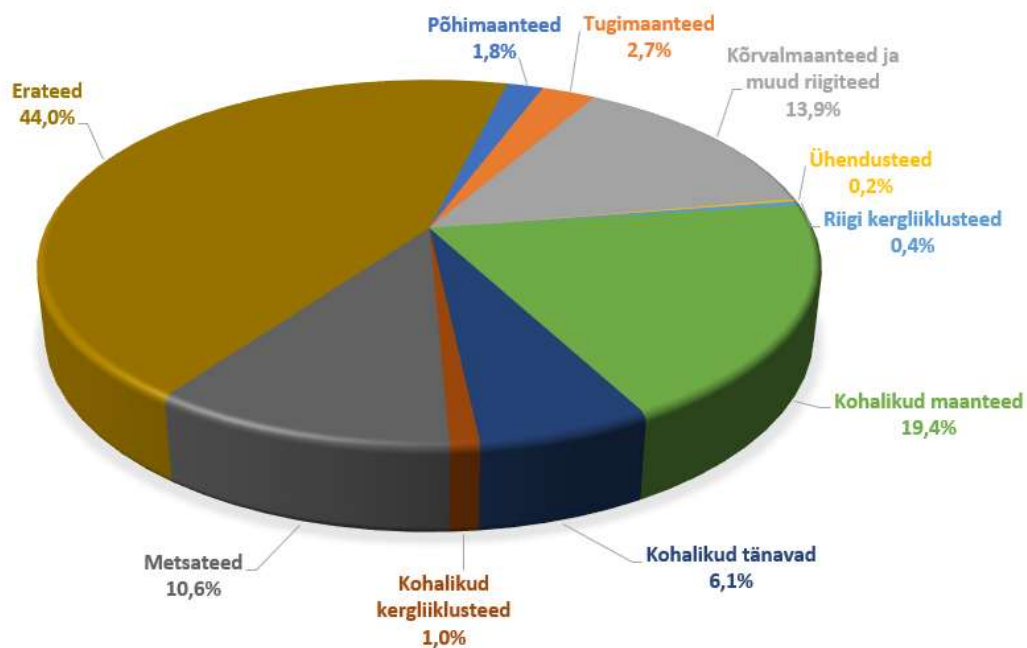
Teedeehitusel saab kasutada geosünteede erinevatel funktsioonidel (Tabel 1).

Tabel 1. Teedeehitusel kasutatavate geosünteedide funktsioonid ja eesmärgid

<b>Funktsioon</b>	<b>Eesmärk</b>
Eraldamine	Eraldab kahte materjalikihti ja aitab takistada materjalikihtide omavahelist segunemist
Filtreerimine	Võimaldab vedeliku läbipääsu geosünteedist ja takistab materjalikihtide omavahelist segunemist
Armeerimine	Tugevdab sideainega sidumata pinnaseid ja parandab asfaltbetooni omadusi
Stabiliseerimine	Parendab täitematerjali kihi omadusi läbi täitematerjali kihi osakeste liikumise takistamise
Drenaaž	Juhib vedelikke ja gaase mööda oma tasapinda
Barjäär	Eraldab vedelikud ja gaasid ümbritsevast keskkonnast
Kaitse	Kaitseb objekti või kihti kahjustuste eest, hajutab punktkoormusi
Erosiooni tõkestamine	Aitab ennetada või vähendada pinnase kadumist, mis on põhjustatud vee, liustike, tuule või lainete mõjust
Pingetustamine	Tõkestab asfaltbetoonikihtides peegelduspragunemist

## 1.1 Geosünteedide nõuded juhendites

Eesti teedevõrgus jagunevad teed neljaks: riigiteed, kohalikud teed, erateed ja metsateed (Joonis 2). Enamik rekonstrueeritavatest, rajatavatest ja remonditavatest teedest on avaliku kasutusega, kuuludes kas Transpordiametile, linnadele või kohalikele omavalitsustele.



Joonis 2. Eesti teedevõrgu jagunemine [6]

Sellest tulenevalt on Transpordiamet kirjutanud riiklikud nõuded riigiteede projekteerimisele, ehitamisele ja korrashoiule. Reeglina linnad ja kohalikud omavalitsused oma erinõudeid ei kehtesta ning toetuvad hankedokumentides Transpordiameti juhendmaterjalidele, kaasa arvatud geosünteedide nõuete osas.

Transpordiameti kodulehel on geosünteedide nõuded kolmes erinevas juhises: Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhises; Elastsete teekatendite projekteerimise juhises ja Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigalduse juhises.

Järgnevalt võetakse vaatluse alla geosünteede käsitus mainitud juhistes.

### 1.1.1 Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhises

Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhises esitatakse eraldavatele, filtreerivatele ja tugevdavatele geosünteedidele nõue, et nende tootekomadused peavad vastama vähemalt NorGeoSpeci 2012 QPS lisa A nõuetele (juhul, kui tellija ei ole oma erinõudeid ette näinud) [7].

Juhendis välja toodav vastavus NorGeoSpeci sertifitseerimisnõuetele tagab kvaliteetsete toodete kasutamise. NorGeoSpeci järgsete toodete tootekomadused on sõltumatu sertifitseerimisasutuse poolt laboratoorselt testitud. Ka Eesti kuulub NorGeoSpeci liikmesriikide hulka. NorGeoSpeci sertifikaat väljastatakse vaid neile toodetele, mis on

läbinud erinevad tootepõhised katsetused ja mille katsetulemused jäävad lubatud tolerantside piiridesse.

Muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhised sätestab, et geosünteedide kasutamine peab olema põhjendatud. Geosünteedidega konstruktsiooni projekteerides tuleb lahendust võrrelda teiste projekteeritavate konstruktsioonilahendustega.

Juhised sätestab, et geosünteedide kasutuseesmärk on aluspinnase ja muldkeha kandevõime suurendamine, kuna geosünteedid suudavad ehitisest tulenevaid pingeid vastu võtta ja võimaldavad neid jaotada laiemal alal ning ühtlustada vajumeid.

Juhistes on lisaks määratletud, et ehitusobjektile tohib eraldada, filtreeriva või tugevdava funktsiooniga geosünteedide kasutada ainult siis, kui tootel on NorGeoSpec 2012 või samaväärne kvaliteedisertifikaat ning ehitaja peab lubama NorGeoSpec 2012 kvaliteedisertifikaadi väljaandja volitatud isikuid (või samaväärse toote tootjaid) ehitusobjektile, tegemaks NorGeoSpec 2012 ettenähtud kvaliteedikatseid, ning tagama dokumentide olemasolu, mis tõestavad geosünteedide ostmist. Selline määratlus võib jätta mulje, et toote vastavuse hindamise kogu vastutus lasub NorGeoSpec volitatud isikutel. Need isikud ei pruugi isegi teada, millistel objektidel nende tooteid parasjagu kasutatakse. Juhendmaterjalis tuleb selgelt edasi anda juhised, kuidas tellija või omanikujärelevalve saaks toodete sobivust ja vastavust hinnata.

Sellisel kujul juhend ei loo huvitatud osapooltele terviklikku väärtust. Juhendist puuduvad olulised käsitlused, näiteks arvutusparameetrid ja selged suunised, millal oleks mõistlik geosünteedide kasutada, kuidas neid objektile hoiustada ja kuidas hinnata sobivate toodete kasutamist.

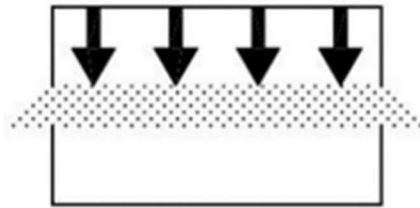
### **1.1.2 Elastsete teekatendite projekteerimise juhend**

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis antakse ülevaade geosünteedide kasutusvõimalustest, funktsioonidest ja luuakse suunised geosünteedide asukohavalikute kohta (näiteks on juhises välja toodud paigalduskohad külmakergete ärahoidmiseks, kandevõime parandamiseks, roobaste tõkestamiseks ja peegelduspragude vältimiseks). Samuti on juhendis sätestatud, et terasvõrke võib kasutada vaid tellija kirjalikul loal, kuna nende hilisem töötlemine ja eemaldamine on keeruline.

Erinevalt eelnevast juhendist käsitleb antud juhend ka teisi geosünteedide kasutusvõimalusi peale eraldamise, filtreerimise ja tugevdamise.

Juhendis geosünteedide funktsioone selgitav osa on kopeeritud otseselt Geosünteedide kasutamise käsiraamatust [8], tulenevalt otse kopeerimisest on jäänud sisse erinevad vead. Näiteks erosiooni tõkestamise kirjelduses on joonisel 9 viiteallika viga ja selgitus, et erosioonitõkkematte käsitletakse täpsemalt peatükis 7, aga Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis on kokku vaid 6 peatükki (Joonis 3).

- **Kaitsefunktsiooni** (Joonis 8) täitev geosünteed kaitseb objekti või kihti kahjustuste eest. Näiteks kasutatakse geomembraanide peal mittekoatud geotekstiili, et hajutada punktkoormusi geomembraanile vastuvõetavale tasemele.



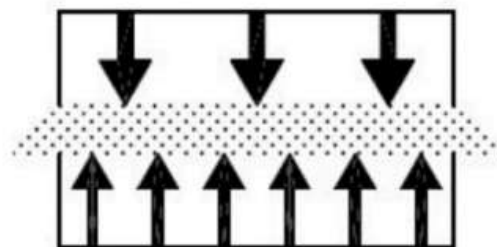
**Joonis 8. Kaitsefunktsioon**

- **Erosiooni tõkestamine** (Joonis 9 Error! Reference source not found.). Kasutatakse erosioonitõkkematte (täpsemalt peatükis 7).

Joonis 3. Elastsete teekandendite projekteerimise juhendi viiteallika viga, peatükk 7 puudub [9]

Juhendi puuduseks on pinnapealsus. Juhendist puuduvad viited, millistele standarditele vastavuses tuleks kasutada erineva funktsiooniga geosünteede. Ainus viide antud juhendis on, et eraldamiseks sobiva materjali valik põhineb NorGeoSpeci juhendil, mida käsitletakse peatükis 2.2.2. Kuna antud käsitus on kopeeritud otse Geosünteedide kasutamise käsiraamatust, puudub Elastsete teekatendite projekteerimise juhendist peatükk 2.2.2. (Joonis 4).

eraldamiseks sobiva materjali valik põhineb NorGeoSpeci juhendil, mida käsitletakse peatükis 2.2.2.



**Joonis 1. Eraldusfunktsioon**

Joonis 4. Elastsete teekandendite projekteerimise juhendi viiteallika viga, peatükk 2.2.2. puudub [9]

Alustavale insenerile aitab juhend anda ülevaate erinevatest geosünteedide funktsioonidest, kuid kui alustav insener või mõni teine huvitatud osapool soovib teemasse rohkem sisse vaadata, siis antud juhendi põhjal ta seda teha ei saa. Juhendit oleks vaja täiendada selliselt, et antaks ülevaade kõikidest geosünteedide kasutusvaldkondadest ja Euroopa standarditest (Lisa 1) - see aitaks valida igasse keskkonda sobiv geosünteed. Samuti tuleks juhendisse lisada arvutusparameetrid, mille alusel saaks geosünteedide arvutusi läbi viia või vähemalt viidata Euroopa standarditele, millele arvutused vastama peaksid.

### **1.1.3 Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigaldamise juhised**

Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigaldamise juhised annab ülevaate asfaldivõrkude kasutamisest. Asfaldivõrgud hajutavad altpoolt tulevat koormust ja pingeid. Asfaldivõrkude kasutamine on igati põhjendatud, kui soovitakse odavamate meetoditega katendi rekonstrueerimist edasi lükata. Asfaldivõrk täidab oma eesmärgi, kui ta on paigaldatud korrektselt ja nõuetekohaselt, on kasutatud paigalduseks piisavas koguses bituumenit ning paigaldava asfaltkihi paksus on piisav. Antud juhised seab veel ette erinevad tehnilised tingimused asfaldivõrgu standarditele, määrustele ja tootemadustele. Juhises on ka erinevad arvutusparameetrid, mille põhjal saab hinnata asfaldivõrgu paigaldamise bituumeni kogust koos paigaldusnõuetega.

Juhised jätab käsitlemata erinevate asfaldi geotekstiilide valikuvõimalused, käsitledes vaid asfaldivõrke. Asfaldi geotekstiilid võivad olla erinevast materjalist, lisaks on võimalik konstruktsioonilahendus ehitada üles selliselt, et kasutatakse näiteks geokomposiitvõrku ja armeerivat kangast. Juhendites on oluline välja tuua erinevad tooted ja tingimused, millega nende toodete paigaldamisel ja valikul arvestama peab.

## **1.2 Geosünteedide alased arendustööd**

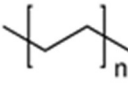
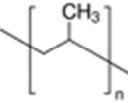
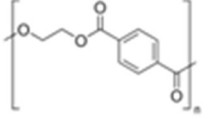
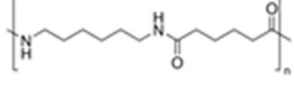
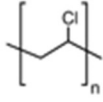
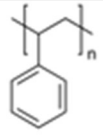
Lõputöös uuritakse kahte geosünteedide alast arendustööd ja tehakse nende põhjal ettepanekud, kuidas saaks täiendada tänaseid geosünteedide nõudeid ja juhendmaterjale.

### **1.2.1 Geosünteedika kvaliteedikontrolli arendamise arendustöö**

Geosünteedika kvaliteedikontrolli teadus-arendustöö valmis aastal 2023 Transpordiameti tellimusel [4].

Kuna geosünteedide proovikehade pikaajalise vastupidavuse katsetamine on väga aeganõudev, otsiti arendustöö raames võimalusi, kuidas kiirendada roomekäitumise katsetamist. Arendustöö läbiviimiseks projekteeriti ja valmistati TalTechi biopolümeeride tehnoloogia laboris unikaalne roomekatse seade, mille abil viidi läbi kiirendatud

roomekatsed. Seade võimaldas rakendada kuni kolmele katsekehale soovitud tõmbejõudu soovitud temperatuuril (temperatuur vahemikus 10 °C kuni 60 °C). Katsed viidi läbi erinevates keemilistes keskkondades eri temperatuuridel, et selgitada välja, kuidas sobituvad erinevate polümeeride koostisega geosünteedid erinevatesse keemilistesse keskkondadesse ja milline on temperatuuri mõju enimlevinud Eesti teedehituses kasutatavatele geosünteedide polümeersetele materjalidele. Eesti teedehituses enimlevinud geosünteedides kasutatavad polümeerid on polüetüleen, polüpropüleen, polüetüleentereftalaat, polüamiid, polüvinüülkloriid ja polüstüreen (Joonis 5).

Polümeer	Korduv ühik	Geosünteedi tüüp
Polüetüleen (PE)		Geotekstiil, geovõrk, geovõre, geotoru, geomembraan, geokomposiit
Polüpropüleen (PP)		Geotekstiil, geovõre, geomembraan, geokomposiit
Polüetüleentereftalaat (PET)		Geotekstiil, geovõre
Polüamiid (PA)		Geotekstiil, geovõre, geokomposiit
Polüvinüülkloriid (PVC)		Geomembraan, geokomposiit, geotoru
Polüstüreen (PS)		Geokomposiit, geovaht

Joonis 5. Geosünteedides põhiliselt kasutatavad polümeerid ja vastav geosünteedi tüüp [10]

Arendustööst selgus, et teedehituslikult on Eestis põhilisteks keemilisteks riskideks rabavesi, põlevkivituhk (eriti värske põlevkivituhk) ja NaCl, mis satub teekonstruktsiooni talvise teehoolduse tõttu.

Geosünteedidele avaldab mõju paigalduskeskkonna pH tase. Polüestrid ja aramiidid ei sobi kasutamiseks leeliselises keskkonnas, kus pH tase on suurem kui 12. Polüestrid ja aramiidid ei sobi kasutamiseks keskkonnas, kus esineb kokkupuudet põlevkivituha,

tsemendi või lubjakiviga. Kui soovitakse eriolukorras siiski antud geosüntete kasutada keskkonnas, kus pH tase on vahemikus 9-11, siis peaks materjaliga teostama täiendavad katsetused. Antud keskkonnas sobiks kasutada PP või HDPE põhiseid geosüntete. Polümeeri vastupidavus erinevatele mõjuteguritele on toodud tabelis (Tabel 2).

Tabel 2. Polümeeride vastupidavus erinevatele mõjuteguritele [4]

Mõjur	Polümeeri vastupidavus		
	PE/HDPE	PP	PET
Aluseline keskkond	Kõrge	Kõrge	Madal
Happeline keskkond	Kõrge	Kõrge	Madal
UV-kiirgus	Madal	Rahuldav	Kõrge
Temperatuur	Madal	Rahuldav	Kõrge
Mikroorganismid	Kõrge	Kõrge	Kõrge
Soolad	Kõrge	Kõrge	Kõrge
Detergendid (puhastusvahendid)	Kõrge	Kõrge	Kõrge

Vastavalt ISO/DTR 18228-1 standardile sõltub geosünteedi keemiline vastupidavust lisaks [11]:

- keemiliste reaktsioonide kiirus sõltub temperatuurist, kõrgema temperatuuri puhul toimub reaktsioon kiiremini;
- keemilised reaktsioonid toimuvad enamasti materjali pinnal, seega suurema fraktsiooniga materjalid on keemiliste riskide seisukohast vastupidavamad kui väiksema fraktsiooniga materjalid;
- materjali pindala ehk eripinna suurenemine suurendab ka keemiliste reaktsioonide kiirust. See tähendab, et peenikestest kiududest geotekstiilide vastupidavus võib olla väiksem kui suhteliselt pakse elemente sisaldavate geovõrkude oma;
- reaktsioonid tahkete keemiliste ühenditega on üldiselt aeglasemad võrreldes vedelate või lahustena esinevate ühenditega.

Eestis võivad olla temperatuuri kõikumised ulatuslikud: temperatuur võib suvel tõusta +30 kraadini ja talvel langeda -30 kraadini. Seega temperatuuri kõikumise ulatus on päris suur. Eesti muutliku kliima tõttu peab geosünteed taluma nii külma kui ka sooja. Temperatuurikõikumised mängivad rolli vastavalt sellele, kui sügavale geosünteed on paigaldatud: kõige tundlikumad on geosünteedid, mis on paigaldatud kuni 1 m sügavuseni, mida sügavamale geosünteed paigaldatakse, seda vähem avaldab temperatuuri kõikumine geosünteedile mõju.

Geosünteedidega konstruktsioonilahendusi projekteerides ja arvutades tuleb arvestada nende paigaldussügavust ning lähtuda geosünteedide polümeeri koostisest. Oluline on, et kui soovitakse kasutada erineva koostisega polümeeri, millel esialgsed arvutused põhinesid, siis tuleb alati uue või erineva polümeeri koostisega geosünteediaga teha uued arvutused.

Erineva koostisega polümeeridel on erinev vastupidavus klaasiirdetemperatuurile (olukord, kus materjal muutub hapraks) ja deformatsioonile (olukord, kus materjal muutub venivamaks ja materjali tugevus väheneb).

### **1.2.2 Geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö**

Geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö valmis Transpordiameti tellimusel aastal 2021. Arendustöö oli üks osa Muldkeha projekteerimine (sh. arvutused) ja tüüplahenduste väljatöötamise arendustööst (sh. geosünteedika kvaliteedikontrolli arendamine) [12]. Järgnevalt analüüsitakse Geosünteedide kasutamine tee konstruktsioonis arendustööd [1]. Uurimistööd viis läbi ettevõtte IPT Projektijuhtimine.

Arendustöö eesmärgiks oli luua geosünteedide kasutamise kohta ühtne platvorm, millele saavad tugineda kõik geosünteedidest huvitatud osapooled. Arendustöoga anti ülevaade geosünteedide olemusest, omadustest ja funktsioonidest ning selgitati, kuidas langetada kaalutletud otsus geosünteedide kasutamise kohta konstruktsioonilahendustes koos arvutusparameetritega.

Üldiselt on arendustöö päris heaks aluseks, mille põhjal saaks koostada enda geosünteedide juhendi.

Arendustöös on välja toodud põhitõed geosünteedide olemusest ja kasutamisevõimalustest. Küll aga on antud arendustöös mõningad puudused, mis vajaksid parandamist, ning enne juhendi alusmaterjalina kasutamist peaks erialaekspert selle kriitilise pilguga üle vaatama.

Arendustöös on kasutatud mõisteid „kootud geotekstiilid“ ja „kudumata geotekstiilid“ (Joonis 6). Tegelikult on laialt levinud terminid „kootud ja mittekoitud geotekstiilid“, ning „kudumata geotekstiil“ ei ole õige termin.

**Kootud geotekstiilid** valmistatakse traditsioonilisel kudumisel, geotekstiil koosneb korrapäraselt ristuvatest paralleelsetest kiududest. Kootud geotekstiilid on suhteliselt tugevad ja jäigad, mistõttu neid kasutatakse eelistatult armeerimisel, samas on neil kehvad hüdraulilised omadused [7].

**Kudumata geotekstiilid** koosnevad juhusliku paigutusega kiududest, mis ühendatakse omavahel mehaanilise, keemilise või termilise töötusega. Mehaaniline töötus tehakse nõeltega, mille tulemusel moodustub tihe vildilaadne struktuur. Keemilise töötuse korral kasutatakse liimilaadset ainet, millega kiud ühendatakse omavahel kontaktpunktides, termilisel töötusel sulatatakse kiud kokku. Kudumata geotekstiilid on enamasti nõrga kuni keskmise tugevuse ja jäikusega ning suurema pikenemisega purunemisel. Neil on head hüdraulilised omadused, mistõttu neid kasutatakse eelistatult filtreerimiseks ja drenimiseks.

#### Joonis 6. Kudumata geotekstiili mittekorrektne nimetus [1]

Antud arendustöö puhul on kasutatud palju USA kirjandust ning need ei kohandu ei Euroopa ega Eesti normidega.

Näiteks Euroopa standardites kasutatakse peenosistena <0,063 mm pinnast. Kõnealusel töös on kasutatud peenosiste määrana <0,075 mm pinnast. Selle tõttu ei saa antud tabelite põhjal läbi viia arvutusi ning tabel vajaks kohandamist vastavalt Euroopa ja Eesti oludele (Joonis 7).

Vajadus kihtide eraldamiseks selgitatakse doonorkihi ja kasutatava täitematerjali lõimise võrdluse teel.

Hinnanguks on kasutusel erinevad kriteeriumid, üks võimalus on toodud alljärgnevas Tabelis 2.

Tabel 2. Kriteeriumid tõkestamisvajaduse hindamiseks. Koostatud Coduto (1999) [10] põhjal.

Peenosiste (<0.075 mm) sisaldus aluspinnases %	Kriteerium
<15	$D_{15} \leq 4d_{85}$
15-39	$D_{15} \leq ((40-A)/25)(4d_{85}-0.7 \text{ mm}) + 0.7 \text{ mm}$
40-85	$D_{15} \leq 0.7 \text{ mm}$
>85	$D_{15} \leq 9d_{85}$ , kuid mitte väiksem kui 0.2 mm

Tabelis 2 toodud tähistete seletus:

$D_{15}$  on terasuurus, millest 15% täitematerjalist on peenem,

$d_{85}$  on terasuurus, millest 85% aluspinnasest on peenem,

A on terasuurusega <0.075 mm osakeste protsent aluspinnases.

#### Joonis 7. Euroopa standarditele mittekohanev tabel IPT tööst nr 19-05-1490/3 [1]

Samuti ei ole antud arendustöö lisades olevad arvutused ülevõetavad kodumaiseks kasutamiseks. Arvutuste lähteandmetena on kasutatud parameetreid, mis ei kohandu Eesti rehvirõhu ja teljekoormustega (Joonis 8).

Kihipaksuste arvutus põhineb labori- ja välikatsetes andmete järgi tuletatud kandevõimeteguritel ( $N_c$ ). Kandevõimetegurid iseloomustavad olukorda nii ilma geotekstiilita kui ka geotekstiili kasutades. Kandevõimetegurid on toodud alljärgnevas Tabelis C.1.

Tabel C.1. Kandevõimetegurid.

Tingimus	Roopa sügavus (mm)	Ülesõitide arv (80 kN teljekoormus)	Kandevõime tegur, $N_c$
Ilma geotekstiilita	<50	>1000	2.8
	>100	<100	3.3
Geotekstiiliga	<50	>1000	5.0
	>100	<100	6.0

Kandevõime teguri korrutamisel aluspinnase dreenimata nihetugevusega saadakse koormustase ( $c_u \cdot N_c$ ) geotekstiili rakendamisel ning ilma selleta. Kihipaksuste leidmiseks erinevates tingimustes on koostatud vastavad nomogrammid, millelt loetakse täitekihi vajalik paksus vastavalt koormustasemele. Nomogramm täitekihi paksuse leidmiseks rehvirõhu 550 kPa juures on näidatud Joonisel C.1.

Joonis 8. Ülesõitide arv (80 kN teljekoormus) ei sobitu Eesti oludele. Eestis kasutatav teljekoormus on 100 kN. Rehvirõhu koormus Eestis on vähemalt 600 kPa (enamikel juhtudel isegi rohkem) [1]

## **2 JUHENDMATERJALIDE PARENDUSETTEPANEKUD**

Transpordiameti kodulehel on erinevad geosünteedide nõuded kolmes juhises: Muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhises; Elastsete teekatendite projekteerimise juhises ja Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigalduse juhises. Paraku selline käsitlus võib muuta neist huvitatud osapoolel soovitud nõuete otsimise keeruliseks. Näiteks olukord, kus alustav insener võtab ühe kolmest eelnimetatud Transpordiameti juhendmaterjalist lahti ning ei teagi, et geosünteedide nõudeid on veel teistes juhendites ning osad nõuded jäävad seetõttu täitmata. Sellest tulenevalt oleks mõistlik koondada kõik geosünteedide nõuded ühe juhendi alla ja luua täiesti eraldiseisev geosünteede käsitlev juhend. Juhend käsitleks geosünteedide kasutamise võimalusi kogu taristuehitusel. Tänaused Transpordiameti juhendite nõuded käsitlevad geosünteedide valdkonda liiga üldiselt ja juhendid ei ole abiks geosünteedide lahenduste arvutamisel.

Samuti on viimase 5 aasta jooksul valminud Transpordiameti tellimisel kaks geosünteedide teemalist arendustööd: Geosünteedika kvaliteedikontrolli arendamise arendustöö ja Geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö. Nende arendustööde abil on soovitud täiendada olemasolevaid geosünteedide juhendmaterjale ja nõudeid. Lõputöö kirjutamise hetkel ei ole tellitud arendustööde põhjal juhendmaterjale täiendatud. Antud peatükis tuuakse välja olulisemad ettepanekud, mille põhjal võiks tänaseid geosünteedide nõudeid ja juhendeid uuendada.

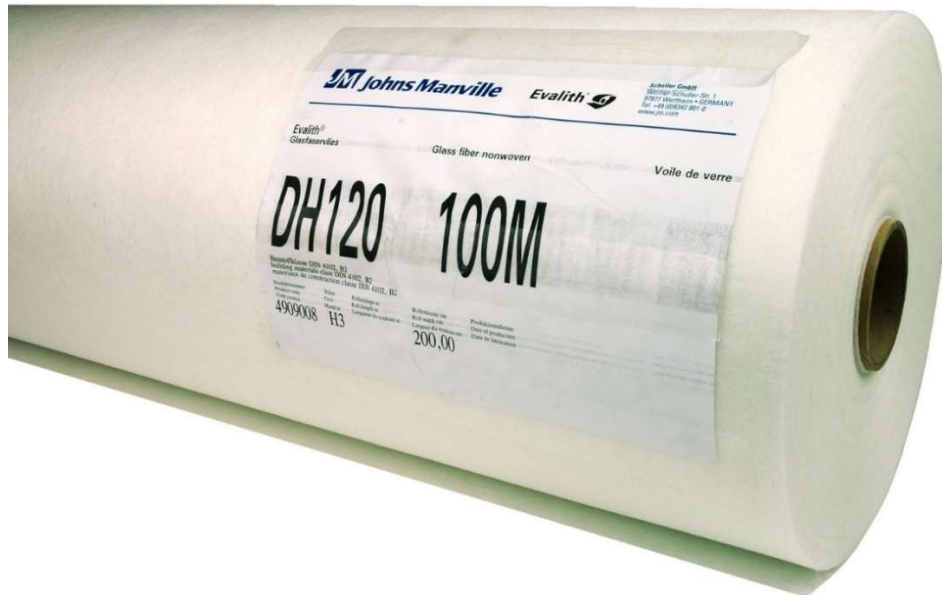
### **2.1 Muldkeha ja drenikihi projekteerimise ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi parendusettepanekud**

Kuna Muldkeha ja drenikihi projekteerimise ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendid on oma sisult küllaltki sarnased, keskendudes põhiliselt muldkeha tugevdamisele seetõttu käsitletakse antud peatükis mõlemat juhendit koos ja tuuakse mõlema põhjal välja kõige olulisemad parendusettepanekud.

#### **2.1.1 Geosünteediliste materjalide vastavus ja kvaliteedikontroll ehitusplatsil**

Geosünteediliste materjalide kvaliteedikontrolli tagamiseks ehitusplatsil on kasulik lisada juhendisse CEN/TR 15019:2005 standard (Geotekstiilid ja geotekstiilidega samalaadsed tooted. Kvaliteedikontroll ehitusplatsil). Standardi lisamine aitaks tagada, et ehitusplatsile saabub õige toode, mida saab identifitseerida koostöös standardiga EVS-EN ISO 10320 (Geotekstiilid ja geotekstiililaadsed tooted. Identifitseerimine ehitusplatsil). Samuti aitaks CEN/TR 15019:2005 lisamine tagada, et toodet käsitletakse ja paigaldatakse korrektselt ja see vastab ettenähtud spetsifikatsioonile.

Geotekstiile tuleb objektile hoiustada suletud pakendis, et kaitsta neid UV-kiirguse ja niiskuse eest: see on vajalik, et hoida ära materjali võimalikud kahjustused enne paigaldamist (Joonis 9). Geotekstiilid peavad olema selgelt märgistatud, et oleks näha nende tootja, tüüp, partii ja identifitseerimisnumber. Soovitatav on mitte kuhjata rohkem kui viis geotekstiili üksteise otsa (Joonis 10).



Joonis 9. Geosünteesilise materjali identifitseerimiskleebis [13]



Joonis 10. Õige ja vale geosünteeside hoiustamine [14]

Juhul kui on kahtlus, et objektile tarnitud geosünteesiline materjal ja saatedokumendid ei ole korrektsed, siis tuleks kontrollida tootemadusi akrediteeritud laboris. Proovide võtmine peab toimuma vastavalt standardile EVS-EN ISO 9862:2023.

### 2.1.2 Geosünteedide funktsioonid

Kuna tänastes juhendmaterjalides on geosünteedide ülevaade funktsioonide põhjal puudulik, siis järgnevalt on käsitus, kuidas valida ja eristada geosünteede nende funktsioonide alusel. Käsitus on vajalik aitamaks geosünteedidest huvitatud osapoolel teha insenertehnilisi valikuid geosünteedide kasutamiseks.

### 2.1.3 Eraldav ja filtreeriv geotekstiil

Eraldamise funktsiooni täitvat geotekstiili kasutatakse taristuehitusel eesmärgiga mehaaniliselt eraldada kahte materjalikihti ja vältida nende omavahelist segunemist. Üldiselt täidavad eraldusfunktsiooni mittekoostud geotekstiilid, mille tähtsaim omadus on vastupidavus materjali läbistusele. Et geotekstiil saaks efektiivselt oma eraldusfunktsiooni täita, peab geotekstiil saavutama teatud jõu juures ilma purunemata sobiva tõmbepinget. Nende kahe tugevusparameetri koostööd nimetatakse geotekstiili keskmiseks pingenergia indeksiks, mida saab arvutada NorGeoSpeci juhendi alusel [15]. Geotekstiilide tugevusnäitajate arvutamiseks kasutatakse järgnevaid valemeid:

$$R_a = \frac{1}{2} \times F_a \times \varepsilon_a; \quad (1)$$

$$F_a = \frac{1}{2} \times (F_{MD} + F_{CMD}); \quad (2)$$

$$\varepsilon_a = \frac{1}{2} \times (\varepsilon_{MD} + \varepsilon_{CMD}), \quad (3)$$

kus	$R_a$	- keskmine pingenergia indeks;
	$F_a$	- keskmine tõmbetugevus;
	$\varepsilon_a$	- keskmine venivus maksimaalse tõmbetugevuse juures;
	$F_{MD}$	- nominaalne tõmbetugevus pikisuunas;
	$F_{CMD}$	- nominaalne tõmbetugevus põiksuunas;
	$\varepsilon_{MD}$	- maksimaalne nominaalne venivus pikisuunas, %;
	$\varepsilon_{CMD}$	- maksimaalne nominaalne venivus ristisuunas, %.

Sobiva toote valikul lähtutakse olemasolevast ja projekteeritavast pinnasest ning nende terastikulisest koostisest. Teedeehitustel kasutatakse eraldusfunktsiooni ja filtreerimisfunktsiooni korruga ning piisab, kui valitakse sobiv eraldusfunktsiooni täitev geotekstiil vastavalt NorGeoSpec nõuetele.

Filtreerimise funktsiooni täitvat geosünteedi kasutatakse taristuehitusel eesmärgiga võimaldada vedeliku läbipääsu geosünteedist ning selle ülesanne on väga lähedalt seotud eraldusfunktsiooniga, aidates takistada pinnaseosakeste segunemist. Filtreeriva

geosünteedi materjali valik tuleks teha kooskõlas NorGeoSpeci spetsifikatsioonisüsteemiga [12].

Teedeehitusel kasutatavate eraldus- ja filtreerimisfunktsiooni puhul on oluline:

- tugevusparameetrid (eraldusfunktsioon);
- hüdraulilised parameetrid ja geotekstiili paksus rõhul 2 kPa vastavalt standardile EVS-EN ISO 9863-1 (filtreerimisfunktsioon). [16]

Pinnase eraldamine ja filtreerimine on geotekstiili funktsioonid, mida täidetakse samaaegselt ning mida ei saa üksteisest eraldada, kuid projekteerides saab vastavalt oludele valida, millist funktsiooni peetakse primaarseks ja millist sekundaarseks. Vastavalt funktsiooni olulisusele on allolevates tabelites toodud välja geotekstiili iseloomulikud parameetrid (Tabel 3 ja Tabel 4).

Tabel 3. Geotekstiili iseloomulikud omadused eraldusfunktsiooni jaoks [17]

<b>Geotekstiili funktsioonid</b>	<b>Iseloomulikud parameetrid</b>	<b>Geotekstiili kasutamine</b>
Primaarne – eraldamine	Tõmbetugevus piki- ja ristsuunas. Venivus maksimaalsel koormusel. Dünaamiline purunemiskindlus ( <i>cone test</i> ).	Teekonstruktsioonis kihtide eraldamiseks.
Sekundaarne - filtreerimine	Iseloomulike avade suurus Vedelike läbilaskvus. tasapinnaga ristsuunas.	

Tabel 4. Geotekstiili iseloomulikud omadused filtreerimisfunktsiooni jaoks [17]

<b>Geotekstiili funktsioonid</b>	<b>Iseloomulikud parameetrid</b>	<b>Geotekstiili kasutamine</b>
Primaarne – filtreerimine	Iseloomulike avade suurus. Vedelike läbilaskvus tasapinnaga ristsuunas. Paksus rõhul alla 2 kPa.	Filter dreenuva materjali ümber. Kate äravoolutorude ja ühenduste jaoks.
Sekundaarne – eraldamine	Tõmbetugevus piki- ja ristsuunas. Maksimaalsel koormusel dünaamiline purunemiskindlus ( <i>cone test</i> ).	

Kui soovitakse kasutada geotekstiile, millel on eraldus- või filtreerimisfunktsioon, siis tuleb teada:

- pinnase dreenuva nihketugevust (eraldusfunktsioon);
- pinnase plastsust (filtreerimisfunktsioon);
- olemasoleva pinnase ja katva kihiga materjali granulomeetrist koostist;
- geotekstiili peale paigaldatava kihiga paksust.

#### **2.1.4 Armeeriv geosünteedid**

Armeerivat funktsiooniga geosünteedid parandavad pinnase või ehitusmaterjali mehaanilisi omadusi, tekitades neile tõmbetugevuse ja takistades kihiga osakeste liikumist. Geosünteedi tõmbetugevuse rakendamiseks peab aluspind teatud ulatuses deformeeruma.

Armeerivad ja stabiliseerivad geosünteedid on oma olemuselt sarnased, mõlemad võimaldavad konstruktsioonilahendustes parandada tee eluiga ja vähendada vajalikke konstruktsioonikihtide paksusi ehk materjalikulu. Armeeriva geosünteedi mõju on suunatud peamiselt selle all paiknevale kihile ning struktuuri stabiliseeriva geosünteedi mõju on suunatud selle peal asuvale kihile [1]. Armeeriva geosünteedi kasutamine õigustab end siis, kui soovitakse teed rajada nõrkadele või väga nõrkadele aluspinnastele nagu muda, turvas, pehmed ja voolavad savid (Joonis 11).

GEOSÜNTEEDI TOIME	ARMEERIMINE		STRUKTUURNE STABILISEERIMINE	
	Väga nõrk	Nõrk	Mõõduka tugevusega	Tugev
Dreenimata nihketugevus ( $c_v$ ), kPa	30	90		240
$E_{v_2}$ ( $M_v$ ), MPa	10	30		80

Joonis 11. Geosünteedi toime sõltuvalt aluskihi tugevusest [1]

Kui soovitakse armeerivate geosünteedide lahendusi kasutada nõrkade ja väga nõrkade pinnaste tugevdamiseks, siis tuleks teostada stabiilsusanalüüsi käigus. Samuti tuleb arvestada, et nõrkade ja väga nõrkade pinnaste armeerimisel lisatav täitepinnas suurendab koormust aluspinnasele ning seetõttu hakkab toimuma pinnase konsolideerimine, mis võib olla pikaajaline. Pinnase tihenemise aega aitab vähendada vertikaaldreenide rajamine ning vajumite absoluutväärtusi saab vähendada pinnaseomaduste parendamisega. [1]

Armeeriva materjalina kasutatakse peamiselt kootud geotekstiile ja geovõrke, mis on suhteliselt tugevad ja jäigad.

Armeerivat geosünteedi saab kasutada näiteks tugiseinte armeerimisel, nõrkade aluspinnaste tugevdamisel, vundamentide rajamisel ja muude ülesannete korral, kus soovitakse pinnase omadusi parandada. Armeeriva funktsiooniga geosünteedi valik peaks toimuma kooskõlas NorGeoSpeci sertifitseeritud toodetega [15].

### 2.1.5 Stabiliseeriv geosünteed

Stabiliseeriva funktsiooniga geosünteedi ülesandeks on laiali jaotada liiklusvahenditelt tulenevad koormused. Stabiliseerivad geosünteedid parandavad pinnaste ja ehitismaterjalide mehaanilisi omadusi, lisades täitematerjalide tõmbetugevust ja takistades kihi osakeste liikumist. Stabiliseeriva geosünteedi mõju on suunatud selle peal asuvale kihile. [1]

Stabiliseeriva geosünteedi kasutamisega saab vähendada konstruktsioonikihtide paksuseid ja suurendada tee eluiga, kasutatamiseks sobivad tugeva jäikusega tooted, näiteks geovõrk, geotekstiilist moodustatud geokomposiit ja kootud geotekstiil [1]. Kuna geosünteedi toime on pikaajaline, siis peaks geosünteed kestma ja täitma oma funktsiooni kogu tee projekteeritud eluea jooksul.

Stabiliseeriva geosünteedi puhul on olulised selle pinge-, venivus-, lukustus- ja vastupidavusomadused (vastupidavus paigalduskeskkonnale ja eksploatatsioonile).

Stabiliseerimisel kasutatava geosünteedi toimeks on [8]:

- lukustusmehhanism - lukustab materjali enda meekärje kujulise struktuuri külge, hoides pinnaseosakesi paigal, sealjuures hoides ära materjaliosakeste omavahelise segunemise;
- suur jäikus ja pingestumine toimub isegi väikestel deformatsioonidel (tehnilised spetsifikatsioonid käsitlevad 0,5% venivust, kuid on võimalik, et stabiliseeriv geovõrk hakkab isegi väiksema venivuse juures tööle). Vähendab nihkepingeid aluskihis ja suurendab kogu konstruktsiooni vastupidavust koormustele;
- pingete ühtlustamine ja jaotamine, tänu millele vähenevad liikluskoormusest tulenevad deformatsioonid.

Stabiliseerimine ulatust jaotatakse kaheks [8]:

- täielik stabiliseerimine ehk olukorrad, kus projekteerides nähakse ette lahendus, mis tagab ehitise stabiilsuse kogu kavandatud eluea jooksul ja võimalik varing ei põhjusta taristule piiranguid, vajumid jäävad lubatud piiridesse;
- osaline stabiliseerimine ehk olukorrad, kus lubatakse teekatendi lokaalseid piiratud deformatsioone - geosünteedide kasutamine osalisel stabiliseerimisel on tavapärane lahendus.

### **2.1.6 Dreeniv geosünteed**

Dreeniva funktsiooniga geosünteedid aitavad juhtida vedelikke ja gaase mööda oma tasapinda ja võimaldavad asendada dreenaarikihte muldkehas. Kaitstes konstruktsioone vee mõju eest, pikeneb konstruktsiooni eluiga. Materjalina on kasutusel kolmemõõtmelised dreenaarimatid ja nõeltöödeldud geotekstiilid, kus geotekstiil suudab täita dreenaarifunktsiooni, juhtides teatud koguse vett mööda oma tasapinda, kuid see maht võrreldes dreenaarimattidega on suhteliselt väike. Neid saab kasutada nii horisontaalselt kui vertikaalselt dreenaarikihtide moodustamiseks ning geosünteediliste tõkete või hüdroisolatsiooni materjalide kaitsmiseks võimalike läbitorgete eest konstruktsioonide ehitustel ja käitlemistel [18].

Dreenaarimattide valik on lai ning materjalivalik tehakse vastavalt soovitud vedeliku voolukiirusele, mati torkekindlusele ja koormustaluvusele. Korrektselt projekteeritud dreenaarisüsteem täidab ettenähtud ülesandeid ümbritsevat ala mõjutamata ehk lahendus ei põhjusta pinnaste uhtumist ega alade üleniiskumist. Oluline on, et kui kasutatakse lokaalseid dreeneerivaid geosünteedilisi lahendusi, siis tuleb projekteerida ka edasine vee ärajuhtimine [18].

Et dreenaariga geokomposiidid saaksid oma eesmärgipäraseid funktsioone täita, tuleb arvestada, et [19]:

- drenaaži geokomposiit peab olema piisavalt vastupidav pinnase survele ja liikluskoormusele, samuti tuleb arvestada, milliste materjalidega geokomposiit kokku puutub, kuna tahke (näiteks raudbetoon) ja pehme materjal (näiteks pinnas) deformeerivad geokomposiiti erinevalt;
- veevoolu kiirus piki drenaaži geokomposiidi tasapinda teatud koormusel sõltub hüdraulilisest kaldenurgast;
- piki tasapinda ära juhitava vee vooluhulk ajas väheneb iseloomuliku surve roome tõttu;
- drenaaži geokomposiidi kiht on reeglina väga õhuke (vahemikus 10 mm – 50 mm) ning tema pikaajalist toimivust mõjutab ehitus- ja paigalduskvaliteet (kahjustused paigaldamise või ehitamise käigus).

### **2.1.7 Barjääri funktsiooniga geosünteed**

Barjääri funktsiooni täitvate geosünteedide eesmärk on eraldada vedelikud ja gaasid ümbritsevast keskkonnast. Toodetena kasutatakse geomembraane ja geosünteeetilisi savikangaid.

Barjääri funktsiooniga geosünteede kasutatakse põhiliselt keskkonnaehituste lahendustes [18]:

- tammide ja reservuaaride ehitusel;
- kanalite ehitusel;
- tunnelite ja nendega seotud maa-aluste rajatiste ehitusel;
- reovee hoidlate lahendustes;
- tahkete jäätmete ladustamiskohtades ja prügilate rajamisel;
- muud lahendused, kus on vaja takistada ohtlike ainete või vedelike keskkonda sattumist.

### **2.1.8 Kaitsev geosünteed**

Geotekstiili kaitsefunktsiooni täidetakse ainult koos teiste geosünteeetiliste materjalidega, näiteks kasutades geomembraanide peal mittekootud geotekstiili, et hajutada punktkoormusi geomembraanidele vastuvõetavale tasemele sooviga vältida geomembraani purunemist [8]. Samuti saab kaitsefunktsiooni täitvaid mittekootud geotekstiile kasutada teraskonstruksioonide ja veekindlate materjalide kaitsmiseks ehituse ja kasutamise ajal. Kaitsefunktsiooni täitmiseks on üks olulisemaid omadusi materjali mahukaal, kuna see on seotud geotekstiili toimivusega.

### 2.1.9 Erosiooni tõkestav geosünteed

Erosiooni tõkestavad geosünteedid aitavad ennetada või vähendada pinnase kadumist, mis on põhjustatud vee, liustike, tuule või lainete mõjust.

Erosioonivastaseid geosünteeetilisi materjale toodetakse nii sünteetilisest ja looduslikust kiust kui ka nende mõlema kombinatsioonist. [20]

Erosioonmatid jagunevad kaheks:

- Biolagunevad erosioonikontrollimatte kasutatakse eesmärgiga kaitsta pinnast tuule ja vihma põhjustatud erosiooni eest ning soodustada taimestiku kasvu, kuna matid hoiavad endas niiskust - tänu sellele on seemnetel ja taimedel kiirem kasvuaeg kuivadel perioodidel. Biolagunevad erosioonikontrollimatid on valmistatud kookoskiudest, õlgedest või nende segust. Matid on mõlemalt poolt kaetud loodusliku võrguga ja kinnitatakse pinnastele terasest konksudega või puutikkudega. Biolagunevate erosioonivõrkude ja mattide eluiga sõltub nende koostisest ja keskkonnamõjudest, reeglina kõduneb matt 6-60 kuu jooksul [20];
- Mittelagunevad erosioonikontrollimaterjale kasutatakse murukamara tugevdamiseks, mille abil tõstetakse taimestiku loomulikku võimet kaitsta pinnast erosiooni mõjude eest. Materjal hoiab seemned ja mulla ning taimede kasvades juured ja võrsed tugevalt ankurdades paigal. Antud lahendused sobivad edukalt kasutamises kohtades, kus esineb ajutiselt suurt vee äravoolu või kohtades, kus liikleb ajutiselt palju inimesi ning olemasolev muru vajab kaitset. Mittelaguneva erosioonikontrolli toodete vastupidavus võib olla üle 25 aasta. [21]

Mittelagunevad erosioonikontrollimaterjalid jagunevad kolmeks (Tabel 5).

Tabel 5. Mittelagunevate erosioonikontrollimaterjalide jagunemine.

Toode	Geovõrgud	Geokärjed	Geomatid
Kasutusaeg	Saab kasutada ajutistes ja pikaajalises erosioonikontrolli projektides.	Kasutatakse põhiliselt püsivates erosioonikontrollisüsteemides.	Kasutatakse püsivates erosioonikontrollisüsteemides.
Funktsioon	Kaitsevad pinnast vee ja tuule erosiooni eest, aidates kiirendada taimestiku kasvu.	Hoiab pinnast oma struktuuris, säilitades mulla, niiskuse ja seemned. Loob taimestikule kasvutingimused seal, kus taimestikul oleks väga raske kasvada.	Hoiab oma struktuuris mulda ja sinna külvatud seemneid, saab kasutada kuivadel nõlvadel ja ka allpool veepiiri.
Olemus	Kahemõõtmeline.	Kolmemõõtmeline, meekärje taoline ehitus, materjali sügavus kuni 20 cm. Saab kasutada nõlvusel kuni 1:1.	Kolmemõõtmeline, väga tugeva ruumilise struktuuriga.

### 2.1.10 Geosünteedide arvutamine

Tänasest juhendist puuduvad geosünteedide arvutusvalemid ja nende selgitused.

Geosünteedidega konstruktsioonilahenduste arvutamine jaguneb kaheks:

- Katendiarvutusega – empiiriline, sõltub palju tootjatelt tulenevast infost.
- Geotehniline arvutus - muldkeha püsivus (stabiilsus), allub Eurokoodeksi nõuetele ja üldtunnustatud meetoditele.

Teede projekteerimisel ja rajamisel nõrkadele aluspinnastele tuleb geosünteede projekteerides viia läbi kontrollarvutused veendumaks, et projekteeritud lahendus suudab täita oma eesmärgi ja pidada vastu oma eeldatava eluea. Geosünteedi kasutamise vajalikkust põhjendatakse arvutustega. [1]

Paraku puudub teedehitusel kasutatavate geosünteedide arvutamiseks universaalne arvutusmetoodika ning kasutusel on empiirilised arvutuskeemid ja meetodid, kus geosünteedide tootjad ise pakuvad enda toodetele kohandatud arvutusprogramme, mida

ei saa teiste tootjate geosünteedide arvutamiseks kasutada [1]. Selliste toodete puhul on oluline valida usaldusväärne tootja. Eraldamisfunktsiooni puhul saaks kasutada NorGeoSpeci sertifitseeritud tooteid, teiste funktsioonidega geosünteediliste toodete puhul oleks soovituslik küsida BBA sertifikaadi olemasolu.

Arvutusmeetodid on üles ehitatud selliselt, et võrreldakse konstruktsioonikihtide paksusi geosünteedi kasutades ja geosünteedi kasutamata. Geosünteedi kasutamise eelis peitub kihi paksuse vähenemises ja seejuures materjali-, aja-, tööjõu ja muude ressursside kokkuhoius. [1]

Nõrkadel aluspinnastel muldkehade stabiilsuse analüüsimisel tuleb arvestada kõiki võimalikke purunemisolukordi nagu silindrilised ja etteantud lihepeindade purunemisolukorrad.

Üldise arvutusmeetodi kasutamisel on vaja järgnevaid algandmeid [8]:

Sõltumata meetodist:

- aluspinnase tugevus (geotehnilisest uuringust, mõne muu katsemeetodiga või hinnatakse empiirilisel);
- kasutustingimused (ülesõitude arv, teljekoormused).

Sõltuvalt meetodist:

- kandva kihi omadused;
- geosünteedide omadused.

Konstruktsioonikihi paksuse leidmiseks saab kasutada näiteks Giroud-Han arvutusmeetodit, mis sobib armeerimiseks ja struktuurseks stabiliseerimiseks [1].

Eelnevalt oli välja toodud olulised aspektid, kui lahendus arvutatakse katendiarvutusega ning järgnevalt tuuakse välja geotehniliste arvutuste olulised aspektid vastavuses Eurokoodeksiga.

Vastavalt EVS-EN 1997-1:2005 tuleb konstruktsiooni elemendi või aluse lõike purunemisest või ülemäärasest deformatsioonist põhjustatud piirseisundi (STR ja GEO) käsitlemisel kontrollida, et:

$E_d \leq R_d$  ( $F > 1$ ). Stabiilsus on tagatud, kui see tingimus on täidetud [22].

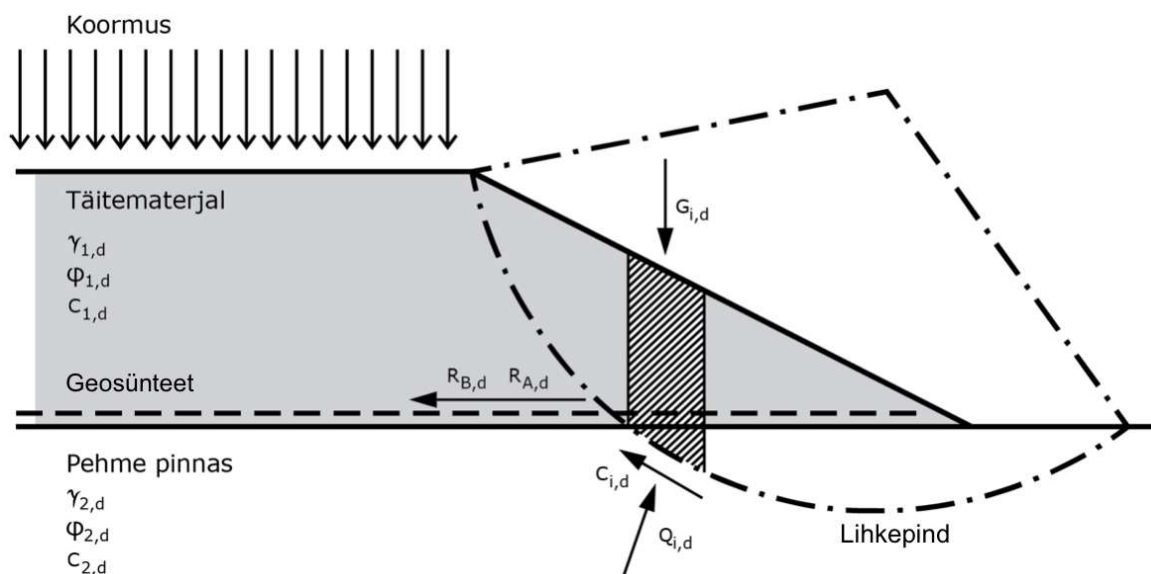
Varuteguri sobivust võib arvutada näiteks SLIDE programmiga, kuhu saab sisestada geotehnilistest uuringutest saadavad pinnaseparameetrid (mahukaal, nidusus, sisehõõrdenurk, drenimata nihketugevus, pinnaseveetase). Geosünteede on võimalik

modelleerida arvutiprogrammidega (FEM ehk lõplike elementide meetod), mille abil saab visualiseerida materjalide pingeid, nende jaotust ja konstruktsiooni vastupidavust [8].

Eksisteerib erinevaid juhendeid, kuidas geosünteedidega stabiilsusarvutustes arvestada, nt BS 8006-1 [23], Soome geosünteedide juhend [24] ning Eestis on olnud geosünteedide arvutamisel kasutusel enamasti Saksa geosünteedika juhend *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements* (EBGEO). Järgnevalt on toodud välja üks väljavõtte nõrkade aluspinnaste arvutamiseks, mis baseerub Saksa geosünteedika käsiraamatul [25]:

Mulkeha ehitamisel nõrgale tasapinnale on vajalik uurida (Joonis 12) üldstabiilsust lihketasanditel, mis [25]:

- jäävad muldkeha konstruktsiooni ja ei lõiku armeeritud kihtidega;
- jäävad muldkeha konstruktsiooni ja lõikuvad armeeritud kihtidega;
- on muldkeha konstruktsioonis ja pinnases ning lõikuvad armeeritud kihtidega.



Joonis 12. Silindrilise lihkpinna analüüs [8]

Arvutustes tuleb arvestada erinevaid ehitusetappe – esialgset, vahepealseid ja lõplikku olukorda, kuna iga juhtumi korral võivad konstruktsiooni mõjutada erinevad jõud ja aluspinnas võib olla erineva tugevusega. Üldstabiilsust saab kõigi võimalike purunemisolukordade arvutada valemi (4) põhjal:

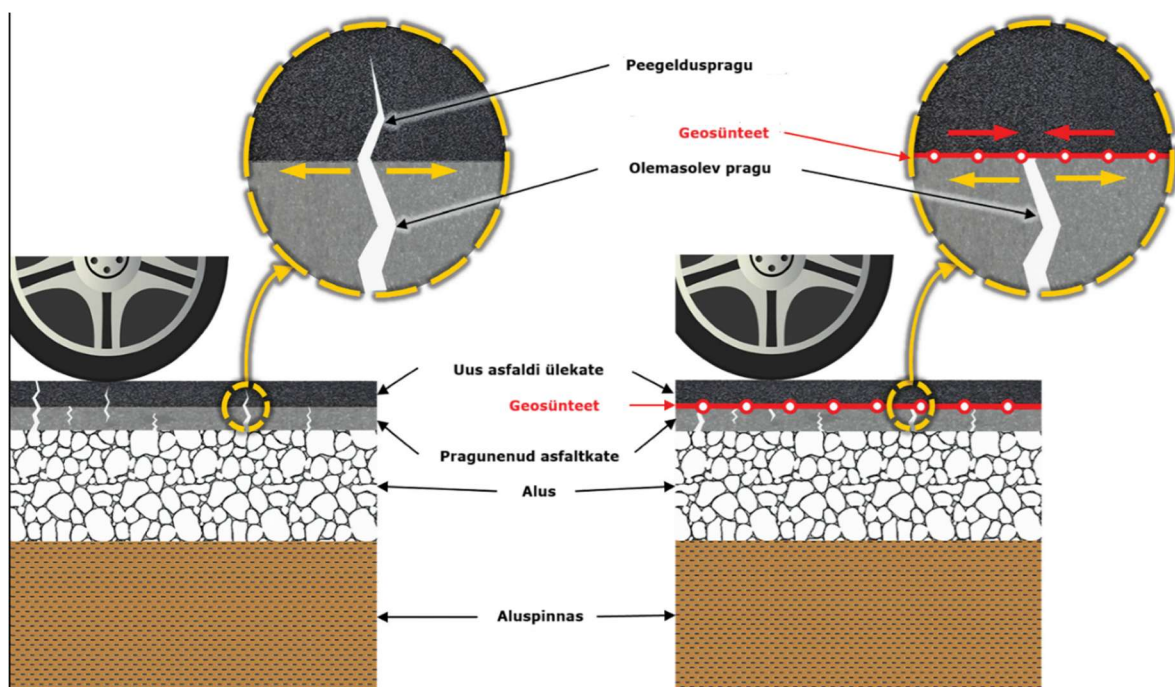
$$E_d \leq R_d + \min(R_{B,d}; R_{AL,d}; R_{AR,d}; R_{0,d}), \quad (4)$$

- kus  $E_d$  - mõjuv koormus;  
 $R_d$  - vastupanujõud;  
 $R_{B,d}$  - armeeritud kihist tulenev vastupanujõud;  
 $R_{AL,d}$  - analüüsitavast lihejoonest vasakule jääv vastupanujõud väljatõmbele (GEO);  
 $R_{AR,d}$  - analüüsitavast lihejoonest paremale jääv vastupanujõud väljatõmbele (GEO);  
 $R_{0,d}$  - hõõrdevastupanu arvutuslik väärtus geosünteedi peal (STR).

Soovitus geosünteedide juhendisse: arvutused peavad põhinema Eurokoodeksil, kuid see, kuidas geosünteedidele arvutamisele lähenetakse, võib olla projekteerija vaba valik tingimusel, et arvutusmeetod on Eurokoodeksiga kooskõlas.

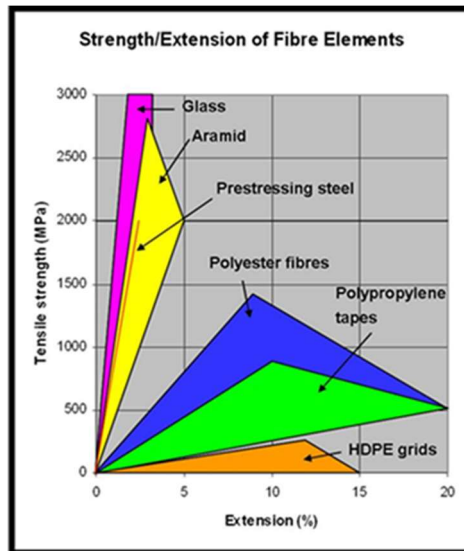
## 2.2 Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigaldamise juhendi parendusettepanekud

Asfaldi geotekstiilide projekteerimise ja paigaldamise juhendi näol on tegemist juhendiga, mis võiks anda ülevaate põhilistest asfaldi geosünteedidest. Tänapäevane juhend ei käsitle väga põhjalikult erinevate geosünteedide valikuvõimalusi ja nende olemust. Selline käsitus tuleks lisada, et huvitatud osapooled (ehitaja, projekteerija ja omanikujärelevalve) saaks hinnata ja valida, et milline geosünteeet kõige paremini oludesse sobitub. Asfaldi geotekstiilide valikut toetavad lisades (Lisa 2, Lisa 3) koostatud tabelid, millega antakse neist põhjalik ülevaade tootepõhise võrdluse põhjal. Asfaldi geosünteedide üheks põhiliseks funktsiooniks on peatada pragude peegeldumist ülekattes (Joonis 13).



Joonis 13. Asfaldi geosünteedide kasutamisega peegelduspragude vältimine [2]

Asfaldi geotekstiilide kasutamisel peab teadma, millised on materjalide tugevusparameetrid, mille baasil on geotekstiil valmistatud. Järgneval joonisel on näha erinevate materjalide tõmbetugevuse ja venivuse suhe. Mida järsem on pingedeformatsiooni kõver, seda jäigem on geosünteeet (Joonis 14).



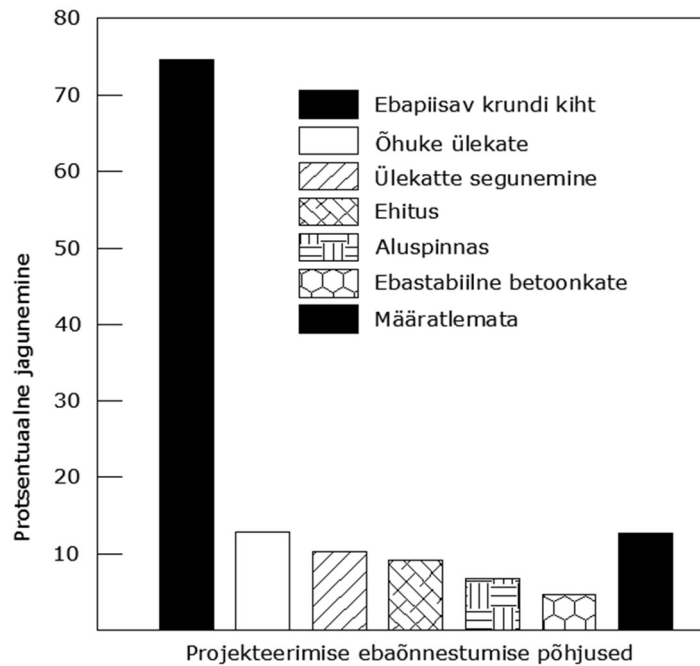
Joonis 14. Asfaldi geotekstiilide tõmbetugevuse ja venivuse suhe [26]

Lisaks vajavad täiendamist asfaldi geotekstiili paigaldusnõuded, et saaks arvestada paigaldusel tekkivate probleemidega, neid vältida ja luua eeldused, et projekteeritud lahendus peaks vastu oma ettenähtud eluea.

Igal asfaldi geotekstiili tootjal on olemas oma juhend, mida peab paigaldamisel jälgima, kuid on asjaolusid, millele tuleb erilist tähelepanu pöörata [18]:

- Aluskiht, millele geosünteeid paigaldatakse, peab olema kuiv ning puhas tolmust, lahtisest materjalist ja õlist. Väiksemad praod tuleb puhastada ning laiemad täita;
- Tasanduskihi kasutamine tagab parema tulemuse kui freesitud pinnale paigaldamine;
- Paigaldamisel tuleb jälgida paigaldustemperatuure. Kui kasutatakse bituumenemulsioone, siis reeglina on maksimaalne lubatud temperatuur +10 °C. Madalama temperatuuri esinemisel tuleb kasutada puhast bituumensideainet.

Asfaldivõrgu paigaldamiseks kasutatava bituumensideaine kogus sõltub aluse poorsusest, tasadusest, õhutemperatuurist, niiskusest ja paigaldatavast materjalist. Paigaldatava materjali bituumensideaine vajalik kogus antakse ette tootja juhendmaterjalides. Vähene või liigne bituumenikogus on enamasti asfaldi geosünteeidide peamine paigaldusprobleem (Joonis 15).



(Vaadeldud on 65 projekti Ameerika Ühendriikides aastatel 1982-1997)

Joonis 15. Asfaldigeosünteedide paigaldusprobleemide tekkepõhjused [21]

Bituumensideaine laotamise põhimõtte on, et seda tohib ette laotada vaid nii pikalt, et saaks tagatud kasutatava geosünteedi tugev nakkuvus.

Vajaliku bituumenikoguse hindamiseks oleks mõistlik teha vähemalt 1 m<sup>2</sup> suurune katselapp. Bituumensideaine kogus on piisav, kui selle peale astudes muutub materjal mustaks (hästi näha, kui kasutatakse valgevärvilist geotekstiili) või kui tasanduskihile paigaldatud geotekstiili pealmine pind muutub peegelduvaks (Joonis 16).



Joonis 16. Tasanduskihile tekkiv peegeldav pind bituumenist viitab sellele, et bituumenit on piisavalt. Peale geotekstiiliga materjali paigaldamist peaks jalajäljed jääma mustaks [8]

Kindlasti tuleb jälgida, et paigaldatud asfaldi geosünteedi peal ei tohi lubada liigelda muudel masinatel peale asfalteerimistehnika (v.a. metallvaltsidega teerullid). Samuti tuleks vältida järske pidurdusi ja pöördeid.

### **2.3 Geosünteedika kvaliteedikontrolli arendamise arendustöö parendusettepanekud**

Juhendmaterjalides tuleks ette kirjutada, millised pH tasemed milliste geosünteedide jaoks sobivad, et vältida nende kasutamist ebasobivas keskkonnas (vältida kasutamist keskkondades, kus geosünteed ei ole loodud toimima).

Ettepanek lisada juhendisse Tabel 2. Polümeeride vastupidavus erinevatele mõjuteguritele. Selle tabeli põhjal saaksid huvitatud osapooled hinnata, kuidas sobituks korrektne geosünteediline materjal soovitud keskkonda.

Et eelnevat teha, oleks alati vajalik määrata projekteerimise käigus geosünteedide paigalduskeskkonna pH tase.

Kuna geosünteedi eluiga peab olema pikem kui kavandatava teekonstruktsiooni eluiga, siis tuleb projekteerides kindlasti arvestada ka temperatuuri mõju geosünteedile ning geosünteedi paigaldussügavust.

Reeglina suureneb geosünteedide purunemispinge temperatuuri alanemisel, seega ei ole tugevus madalatel temperatuuridel probleemiks. Küll aga võib probleemiks olla purunemisdeformatsioon, mida ei tohi materjalide kasutamisel madalatel temperatuuridel ületada. Projekteerimisel peaks geosünteedi tugevusel arvestama kõrgeima kasutustemperatuuriga ja purunemisdeformatsiooni korral madalaima kasutustemperatuuriga (Tabel 6).

Tabel 6. Eestis enamlevinud geosünteedide klaasiirdetemperatuurid sõltuvalt nende polümeersest koostisest [4]

<b>Polümeer</b>	<b>Klaasiirdetemperatuur , °C</b>
HDPE	-120
PP	-10
PET	75

## **2.4 Geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö parendusettepanekud**

Geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö annab edasi üsna palju väärt informatsiooni ning arendustöö ülesehitus on hea.

Näiteks geosünteedide olemust ja funktsioone selgitav osa on põhjalikult ülevaatlik ning ka alustav insener saaks geosünteedide olemusest põhjaliku ülevaate.

Arendustöö eeliseks on see, et tuuakse välja, kuidas geosünteede kasutades tuleb teha kaalutletud valik ning geosünteede ei pea kasutama, kui need ei loo selget tulemit.

Juhendmaterjali oleks mõistlik tuua kogu selgitav osa, kuid enne peaks erialaekspert arendustöö sisu kriitiliselt üle vaatama. Arendustöös on eksitud mõningate mõistete ja põhimõtete ja ning on kasutatud USA kirjandust, mis ei ole ühtselt ülevõetav nii Euroopa kui ka Eesti nõueteks. Näiteks peenosiste väärtusena on kasutatud <0,075 mm, kuid Euroopas kasutame 0,063 mm sõelu (Joonis 7). Samuti kasutatakse arvutustes Ameerika teljekoormusi ja rehvirõhke (Joonis 8). Arendustööst on puudu praktilised kasutusnäited, mille põhjal geosünteede projekteerida ning arvutada.

Kuna antud arendustöö käsitleb ainult geosünteedide kasutamist tee konstruktsioonis, siis tuleb antud arendustööd ka sellisena võtta. Transpordiamet võiks oma juhendites käsitleda lisaks tee konstruktsiooni geosünteedidele ka drenmatti (arendustööst puudu, kuigi peaks seal olema), lisaks asfaltbetoonkihtides kasutatavaid geosünteede, vundamentides ja tugikonstruktsioonides kasutatavaid geosünteede ja erosioonitõrjeks ettenähtud geosünteede.

### 3 GEOSÜNTEETIDE KESKKONNAJALAJÄLJE ARVUTAMINE

Geosünteeete kasutades peab hindama nende olelusringi (ing *Life-Cycle assessment*, LCA). LCA hõlmab kogu toote elutsükli: tooraine hankimine, tootmine, kasutamine, jäätmekäitlus ja toote lõplik kõrvaldamine vastavalt standardile EN ISO 14040. [27]

Lõputöös on kasutatud LCA-d, et võrrelda kasvuhoonegaaside heitekoguseid (väljendatuna CO<sub>2</sub> ekvivalendina). Arvutusnäited põhinevad projektlahendustel, milles nähakse ette pinnase väljavahetamine geosünteeiti mitte kasutades ning projektlahendusel, mis on projekteeritud kasutades tugevdavat geosünteeiti. Arvustused põhinevad soovil tugevdada alust ning arvutustes ei ole arvestatud katte kihte.

Geosünteeetiliste toodete või materjalide kaalu mõõdetakse kas m<sup>2</sup>/kg või m<sup>3</sup>/kg. Arvutustes väljendatakse keskkonnamõju CO<sub>2</sub> ekvivalendina (edaspidi CO<sub>2e</sub>/kg).

Keskkonnamõju ja ehitusmaksumuse arvutuste alusteks on võetud Läti geosünteeetide juhend *Geosintētisko materiālu un tiem radniecīgo izstrādājumu pielietošana autoceļu konstrukcijās* ja ning sealsed arvutused on kohandatud Eesti oludele sobivaks. [18]

#### 3.1 Arvutusnäide 1: projektlahendus geosünteeilisi materjale kasutamata

Esimene arvutusnäide põhineb projektlahendusel, kus nähakse ette pinnase tugevdamine geosünteeilisi materjale kasutamata. Rajatakse kaevik ja hiljem täidetakse sobiva pinnasega.

##### 3.1.1 Arvutuse lähteparameetrid

Arvutuse mahuparameetritena on arvestatud teelõiku, mis on 500 m pikk, 15 m lai ja väljakaeve on sügavusega 0,60 m. Väljakaeve ja tagasitäite maht on 4 500 m<sup>3</sup>.

Arvutuste tagasitäitepinnastena kasutatakse täitepinnast (killustik, liiv), mille mahukaal on 1,9 t/m<sup>3</sup>.

Materjali veab objektile täiesti täislaetud veok koos poolhaagisega, mille veetava koorma kaal on 24 t ja kütusekulu 30 l/100 km. Materjali vahelao kaugus objektist on 25 km ning materjali edasi-tagasi transpordiks kulub 1,5 h.

Järgnevalt on välja toodud arvutuste lähteparameetrid (Tabel 7), mis on võetud aluseks pinnasevahetuse keskkonnamõju arvutuste läbiviimiseks.

Tabel 7. Geosüntetideta lahenduse arvutuse lähteparameetrid [18], [28], [29]

Arvutusparameetrid	Väärtus	Selgitus
Koorma transpordiaeg, h	1,5	Ajakulu edasi-tagasi transpordiks (transpordi vahemaa 50 km)
Mullatööde, CO <sub>2</sub> e/kg	0,0052	<i>Inventory on Carbon and Energy</i> – ICE andmetel
Täitepinnase mahukaal, kg/m <sup>3</sup>	1 900	Materjali mahukaal
Vajaliku materjali kogus, m <sup>3</sup>	4 500	Kaeviku maht
Vajaliku materjali kogus, kg	2 700 000	Leitud valemiga: materjali tihedus (t/m <sup>3</sup> ) x materjali kogus (m <sup>3</sup> )
Veoauto diiselmootori, CO <sub>2</sub> e/kg	2,619	Kliimaministeeriumi KHG arvutusmudelist

### 3.1.2 Arvutusvalemid

Ühe kilogrammi täitematerjali transpordist tekkiva CO<sub>2</sub> ekvivalendi (edaspidi CO<sub>2</sub>e/kg) saab arvutada valemi (5) põhjal:

$$CO_2e/kg = \frac{vk}{100 (km)} \times l \frac{DKE}{Q}, \quad (5)$$

kus  $vk$  - materjali veokaugus, km;

$l$  - kütusekulu,  $\frac{l}{100km}$ ;

$DKE$  - diiselmootori ekvivalent, 2,619;

$Q$  - ühe koorma kaal, kg.

Ühe kilogrammi materjali paigaldamisest tekkiva CO<sub>2</sub>e/kg saab arvutada valemi (6) põhjal:

$$CO_2e/kg = \frac{0,001}{100 (km)} \times kk \times DKE, \quad (6)$$

kus  $\eta$  - masina tööefektiivsus,  $\frac{t}{h}$ ;

$kk$  - kütusekulu,  $\frac{l}{h}$ ;

$DKE$  - diiselmootori ekvivalent, 2,619.

### 3.1.3 Arvutused

Veoauto CO<sub>2</sub>e/kg on arvatud valemi (6) põhjal:

$$\frac{50}{100} \times 30 \frac{2,619}{24000} = 0,0016369 \frac{\text{CO}_2\text{e}}{\text{kg}}.$$

Ekskavaatori CO<sub>2</sub>e/kg arvutamise juures on arvestatud, et ekskavaatori tööefektiivsus on 100 t/h ja kütusekulu 15 l/h:

$$\frac{0,001}{100} \times 15 \times 2,619 = 0,00039285 \text{ CO}_2\text{e/kg}.$$

Buldooseri CO<sub>2</sub>e/kg arvutamise juures on arvestatud, et buldooseri tööefektiivsus on 100 t/h ja kütusekulu 16 l/h:

$$\frac{0,001}{100} \times 16 \times 2,619 = 0,00041904 \text{ CO}_2\text{e/kg}.$$

Teehövli CO<sub>2</sub>e/kg arvutamise juures on arvestatud, et teehövli tööefektiivsus on 150 t/h ja kütusekulu 12,5 l/h:

$$\frac{0,001}{150} \times 12,5 \times 2,619 = 0,00021825 \text{ CO}_2\text{e/kg}.$$

Pinnaserulli CO<sub>2</sub>e/kg arvutamise juures on arvestatud, et pinnaserulli tööefektiivsus on 240 t/h ja kütusekulu 8 l/h:

$$\frac{0,001}{240} \times 8 \times 2,619 = 0,0000873 \text{ CO}_2\text{e/kg}.$$

Tabel 8. CO<sub>2</sub>e/kg arvutuskäigu tulemus ilma geosüntete kasutamata

Mullatööd	Materjali kogus, kg	Materjalide kaevandamine		Materjalide transport objektile		Materjalide paigaldamine ja tihendamine objektile		Kokku CO <sub>2</sub> ekv, kg
		CO <sub>2</sub> ekv, kg 1kg materjali kohta	Kokku	CO <sub>2</sub> ekv, kg 1kg materjali kohta	Kokku	CO <sub>2</sub> ekv, kg 1kg materjali kohta	Kokku	
Kaeviku rajamine	8550000	0,0052	44460	0,0020	17354			61814
Ekskavaatorid				0,0004				
Veoauto 24t koormaga				0,0016				
Kaeviku tagasitäide	8550000	0,0052	44460	0,0020	17354	0,0007	6195	68009
Ekskavaatorid				0,0004				
Veoauto 24t koormaga				0,0016				
Buldooserid						0,0004		
Teehöövel						0,0002		
Pinnaserull						0,0001		
							Kõik kokku	<b>129824</b>

## 3.2 Arvutusnäide 2: projektlahendus kasutades tugevdavat geosünteti

Teine arvutusnäide põhineb projektlahendusel, kus nähakse ette pinnase tugevdamine geosüntetiliste materjalide kasutamisega.

Geosüntetiliste materjalide kasutamisel tuleb vaadelda lisaks kõigele muule ka nende transportimisel tekkivaid CO<sub>2</sub>e/kg heitekoguseid arvestades heitekoguseid nende transportimisel tootmistehasest objektile.

### 3.2.1 Arvutuse lähteparameetrid

Järgnevalt on toodud välja nelja Euroopa suurima geosünteti tootjate peakontorid ja nende vahemaa Tallinnaga (Tabel 9).

Tabel 9. Euroopa suurimad geosünteti tootjad ja nende vahemaa Tallinnaga

<b>Ettevõtte nimi</b>	<b>Peakontori asukoht</b>	<b>Vahemaa Tallinnaga, km</b>
Fibertex Nonwovens A/S	Aalborg, Taani	1 053
Freudenberg SE	Weinheim, Saksamaa	2 115
Huesker Synthetic GmbH	Gescher, Saksamaa	2 043
Koninklijke Ten Cate B.V.	Overijssel, Holland	2 049

Antud tabeli väärtuste põhjal kasutatakse arvutustes keskmist transportimise vahemaad 1 815 km.

Tootmise keskkonnamõju hindamiseks on võrreldud kolme erinevat NorGeoSpeci poolt sertifitseeritud geosüntetiliste materjalide tootjat (Tabel 10). [30]

Tabel 10. Geosünteti tootmise potentsiaalne keskkonnamõju [31], [32], [33]

<b>Tootja</b>	<b>Tooted</b>	<b>Geotekstiili funktsioon</b>	<b>Tootmise potentsiaalne keskkonnamõju kg CO<sub>2</sub> eq (Global Warming Potential total)</b>
Edilfloor S.p.A.	Geodren	S+F	2,73
BontexGeo NV	TS	S+F	2,21
Tessilbrenta S.p.A.	HiPerTex	S+F	3,07

\*S+F *Separation* – Eraldamine, *Filtration* – Filtreerimine

Kuna kolmest võrreldavast geosünteesilisest materjalist kõige suurema tootmise keskkonnamõjuga HiPerTex toode, mille väärtus on 3,07 kg CO<sub>2</sub> ekvivalendi geosünteesilise materjali (GWP) kohta, kasutatakse arvutustes antud suurimat väärtust (Tabel 10).

Vaid VontexGeo NV keskkonnadeklaratsioonides on toodud välja geosünteeside paigaldamisel (k.a. pakendite ulitiseerimise) CO<sub>2</sub>e väärtus. Arvutustes kasutatakse antud väärtust, milleks on 0,168 CO<sub>2</sub>e/kg. Arvutustes on arvestatud, et geosünteesiline materjal laotatakse sobivale pinnasele käsitsi.

Arvutuse mahuparameetritena on arvestatud teelõiku, mis on 500 m pikk, 15 m lai. Paigaldatava geosünteesilise materjali vajadus on 7 500 m<sup>2</sup>.

Tabel 11. Geosünteesidega projekteeritud lahenduse lähteparameetrid [18], [29], [31], [32], [33]

<b>Arvutusparameetrid</b>	<b>Väärtus</b>	<b>Selgitus</b>
Geosünteesiliste materjali transport Tallinna, üks suund, km	1 815	Euroopa suurimad geosünteeside tootjad ja nende vahekaugus Tallinnaga
Veoautol maksimaalne geotekstiilide mahutavus, kg	4 500	Eeldatav kogus tarnija info baasil
Geosünteesilise materjali kaal, kg/m <sup>2</sup>	0,800	Keskmine geosünteesilise materjali kaal
Geosünteesilise materjali paigaldamine, m <sup>2</sup>	1 500	Paigaldatava materjali vajalik kogus
Geosünteesilise materjali tootmise CO <sub>2</sub> ekv, kg/1kg	3,070	Materjali keskkonnadeklaratsioon EPD-IES-0016237
Geosünteesi paigaldamine, pakendite ulitiseerimine CO <sub>2</sub> ekv, kg/1kg	0,186	Materjali keskkonnadeklaratsioon MD-21017-EN_rev1
Diiselmootori CO <sub>2</sub> ekv, kg/1kg	2,619	Kliimaministeeriumi KHG arvutusmudelist

### 3.2.2 Arvutusvalemid

Geosüntetiliste materjalide CO<sub>2</sub> jalajälje objektile transportimisel saab arvutada valemi (7) põhjal:

$$\text{CO}_2\text{e/kg} = \frac{vk}{100 (km)} \times l \times \frac{DKE}{Q}, \quad (7)$$

- kus  $vk$  - materjali veokaugus, km;  
 $l$  - kütusekulu,  $\frac{l}{100km}$ ;  
 $DKE$  - diiselmütuse ekvivalent, 2,619;  
 $Q$  - ühe koorma kaal, kg.

Geosüntetilise materjali vajamineva materjali koguse  $mk$  kaalu saab arvutada valemi (8) põhjal:

$$mk \text{ (kg)} = q \times m, \quad (8)$$

- kus  $q$  - materjali maht, m<sup>2</sup>;  
 $m$  - keskmine materjali mass,  $\frac{kg}{m^2}$ .

### 3.2.3 Arvutused

Geosüntetilise materjali transpordist tekkiv CO<sub>2</sub> ekvivalent:

$$\frac{1815}{100} \times 30 \times \frac{2,619}{4500} = 0,316899 \text{ CO}_2\text{e/kg.}$$

Geosüntetilise materjali vajamineva materjali kogus:

$$7500 \times 0,8 = 6000\text{kg.}$$

Tabel 12. CO<sub>2</sub>e/kg arvutamine projektlahenduses, kus kasutatakse tugevdavat geosünteti:

Tugevdava geosünteedi kasutamise konstruktsioonikihis	Kogus, kg	Geosüntetiliste toodete valmistamine		Geosüntetilise materjali transport objektile		Geosüntetilise materjali paigaldamine objektile		Kokku CO <sub>2</sub> ekv, kg
		CO <sub>2</sub> ekv, kg 1kg geosüntetilise toote kohta	Kokku	CO <sub>2</sub> ekv, kg 1kg geosüntetilise toote kohta	Kokku	CO <sub>2</sub> ekv, kg 1kg geosüntetilise toote kohta	Kokku	
Tugevdava geosünteedi kasutamise konstruktsioonilahenduses	6000	3,07	18420	0,32	1901	0,19	1116	21437

### 3.3 Kahe projektlahenduse võrdlus

Arvutustulemuste põhjal on näha, et pinnasevahetuse keskkonnajalajälg on 129 824 CO<sub>2</sub>ekv/kg ja geosüntetidega projekteeritud lahenduse keskkonnajalajälg on 21 437 CO<sub>2</sub>ekv/kg.

Kui võrrelda kahte erinevat projektlahendust, siis selgub, et geosüntetidega projekteeritud lahendus avaldab keskkonnale 6 korda väiksemat mõju kui pinnasevahetuse terviklahendus. Samuti saavutatakse geosüntetidega ehitades ajaline kokkuhoid.

## 4 PINNASEVAHETUSE JA GEOSÜNTEETILISE MATERJALI PROJEKTLAHENDUSTE HINNAVÕRDLUS

Arvutustes on arvestatud samade parameetritega, millega viidi läbi geosünteedide keskkonnajalajälje arvutused. Arvutuste lähteparameetriteks on 500 m pikkune, 15 m laiune ja 0,6 m sügavune teelõik, ehk väljakaeve ja tagasitäite maht on 4 500 m<sup>3</sup> ja killustiku paigaldatakse 0,2 m paksuse kihina ning keskliiva 0,4 m paksuse kihina. Geosünteedilist materjali laotatakse 500 m pikkusele ja 15 m laiusele teelõigule ehk materjali vajadus on 7 500 m<sup>2</sup>. Muldkeha ehitusmaksumuse pinnasevahetusega vajamineva materjalikoguse arvutustes on arvestatud, et 1 m<sup>3</sup> täitepinnast kaalub 1,9 tonni.

### 4.1 Arvutusvariant 1: pinnasevahetuse ehitusmaksumus

Antud arvutusnäited on koostatud, et hinnata ehitusmaksumust pinnasevahetusega. Esialgu tuleb rajada kaevik ning hiljem tagasitäide täitepinnasega (killustik ja keskliiv). Arvutustes on arvestatud pinnasevahetuse terviklahendust ehk kaeviku rajamist (Tabel 13), kaeviku tagasitäidet keskliivaga (Tabel 14) ja kaeviku tagasitäidet killustikuga (Tabel 15). Pinnasevahetuse kogumaksumus on toodud välja allpool (Joonis 17).

Tabel 13. Kaeviku rajamine

<b>Ekskavaator</b>	<b>Maht, m<sup>3</sup></b>	<b>Jõudlus m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Tunnihind, €</b>	<b>Kuluv aeg, h</b>	<b>Hind, €</b>
	4 500	100	60	45	2 700
Veoauto 24 t veosega, ring 1,5 h (8 tk)	4 500	100	400	45	18 000
<b>Kokku:</b>					<b>20 700</b>

Tabel 14. Kaeviku tagasitäide keskliivaga

<b>Veoauto, 24 t veos, ring 1,5 h (4 tk)</b>	<b>Maht, m<sup>3</sup></b>	<b>Jõudlus m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Tunnihind, €</b>	<b>Kuluv aeg, h</b>	<b>Hind, €</b>
	3 000	100	480	30	14 400
Buldooser (6 tk)	3 000	300	360	10	3 600
Pinnaserull (6 tk)	3 000	300	360	10	3 600
<b>Kokku:</b>					<b>21 600</b>

Tabel 15. Kaeviku tagasitäide killustikuga fr 16-32

<b>Veoauto, 24 t veosega, ring 1,5 h (4 tk)</b>	<b>Maht, m<sup>3</sup></b>	<b>Jõudlus m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Tunnihind, €</b>	<b>Kuluv aeg, h</b>	<b>Hind, €</b>
	1 500	50	240	30	7 200
Buldooser (3 tk)	1 500	120	180	12.5	2 250
Pinnaserull (3 tk)	1 500	120	180	12.5	2 250
<b>Kokku:</b>					<b>11 700</b>

Ehitustööde nimetus	Maht, m <sup>3</sup>	Materjali erikaal, t/m <sup>3</sup>	Vajaminev materjali kogus, t	Materjali hind, EUR/t	Materjali maksumus kokku, EUR	Kaevetööde maksumus koos materjali äraveoga	Materjali objektile transportimise hind	Materjali laotamise hind	Materjali tihendamise hind	Materjali maksumus ja paigaldus, EUR
Kaeviku rajamine	4500	-	-	-	-	20700	-	-	-	20700
Kaeviku tagasitäide killustikuga fr 16-32	1500	1.9	2850	12.5	35625	-	7200	2250	2250	45075
Kaeviku tagasitäide keskliivaga	3000	1.9	5700	6.71	38247	-	14400	3600	3600	56247
<b>Kokku:</b>										<b>122022</b>

Joonis 17. Pinnasevahetuse ehitismaksumus

## 4.2 Arvutusvariant 2: tugevdava geosünteeetilise materjali kasutamise ehitismaksumus

Arvutustes on arvestatud, et geosünteeetiline materjal paigaldatakse objektile käsitsi.

Tabel 16. Muldkeha ehitismaksumus tugevdava geosünteeetilise materjali kasutamisega

<b>Muldkeha tugevdamine</b>	<b>Maht, m<sup>2</sup></b>	<b>Ühikhind, €</b>	<b>Maksumus kokku, €</b>
Geosünteeetiline materjal	7 500	6,1	45 750

## 4.3 Kahe arvutusvariandi võrdlus

Kahe arvutusvariandi võrdlusest selgub, et pinnasevahetuse projektlahenduse maksumus on 122 022 eurot ja tugevdava geosünteeetilise materjali projektlahenduse maksumus on 45 750 eurot.

Selgub, et geosünteeetilise materjaliga projektlahendus on 2,7 korda soodsam kui pinnasevahetuse projektlahendus. Samuti geosünteeetilise materjaliga ehitus on palju kiirem ja keskkonnasäästlikum.

## KOKKUVÕTE

Geosünteedid võivad olla asendamatud abivahendid, täites üliolulisi funktsioone ning pakkudes teedehitusel ja nende juurde kuuluvate taristuobjektide ehitusel lahendusi, mis parandavad pinnaste ja struktuuride omadusi. Geosünteedid muudavad võimalikuks teede rajamise nõrkadele aluspinnastele, suurendavad tee aluspinnase kandevõimet ja aitavad teiste keeruliste insenerlahenduste puhul, näiteks vähendada nõlvade erosiooni.

Lõputöös olid vaatluse all praegu kättesaadavates juhendites olevad geosünteedide nõuded ja viimase viie aasta jooksul tellitud geosünteedide valdkonna alased arendustööd.

Lõputöö analüüsi käigus selgus, et geosünteedide nõuded on laiali erinevates juhendites, mis teeb nende otsimise keeruliseks. Samuti on juhendites olevad geosünteedide nõuded küllaltki pinnapealsed ega aita huvitatud osapooltel teha põhjalikku valikut. Juhenditest puuduvad projekteerimise alused, geosünteedide valiku põhimõtted, geosünteedide hoiustamise ja kvaliteedi kontrolli hindamise juhised. Lõputöös analüüsiti põhjalikult juhendmaterjalide nõudeid ning tehti ettepanekuid juhendmaterjalide täiendamise osas. Ettepanekute osas analüüsiti ja tugineti ka Transpordiameti poolt tellitud kahele arendustööle (geosünteedika kvaliteedikontrolli teadus-arendustöö ja geosünteedide kasutamine teekonstruktsioonis arendustöö), mille põhjal koostati ettepanekud, kuidas oleks võimalik olemasolevaid juhendeid täiendada. Ettepanekud on koostatud põhimõttel, et ka alustav insener suudaks hoomata geosünteedide nõudeid.

Ehitussektoris mängib aina rohkem rolli ehitusest õhku paisatav CO<sub>2</sub> ekvivalent, millel on suur mõju globaalsele soojenemisele, seetõttu analüüsiti lõputöös pinnase massivahetuse ja geosünteedidega tugevdamise omavahelist CO<sub>2</sub> heitekogust ja ehitusmaksumust. Käesolevas lõputöös kirjeldatud tingimuste arvutuste tulemusel nähtus, et tugevdava geosünteedi kasutamine avaldab keskkonnale potentsiaalselt kuni kuus korda väiksemat mõju kui pinnase massivahetus. Tugevdava geosünteedi kasutamine aitab samuti ehitusmaksumuses kokku hoida, arvutustulemustel selgus, et ehitusmaksumus oli ligi kolm korda soodsam kui pinnase massivahetus. Analüüsi käigus selgus lisaks, et geosünteedide kasutamine vähendab ehituseks kuluvat aega ja aitab säästa kvaliteetse ehitusmaterjali kasutamist, kus kvaliteetse ehitusmaterjali hankimine on loodust kurnav ja majanduslikult kallis.

## **SUMMARY**

### *Analysis and Recommendations for the Use of Geosynthetics*

The main focus of the thesis is to analyse the current requirements for geosynthetics in national guidance materials from the perspective of design, construction, and supervision. Based on the analysis, solutions on how to enhance and update the requirements for geosynthetics guidelines are proposed. The proposals are based on two development-research works carried out in Estonia, studies of geosynthetics, and foreign geosynthetics guidance materials.

In the first chapter the requirements of the Estonian national guidelines regarding geosynthetics are analysed along with two research and development projects related to geosynthetics.

The main issue with the guidelines is their superficiality: leaving unaddressed certain aspects such as the calculation of geosynthetics, the selection of geosynthetics based on their function, and how to assess product compliance and storage on-site. In addition, the requirements for geosynthetics are scattered across several guidelines creating confusion in trying to find specific requirements.

The first chapter also analyses two development projects. In the first one, creep behavior tests of geosynthetics were carried out in various chemical environments at temperatures ranging from 10 to 60 degrees Celsius. The study found that geosynthetics made from polyester or aramid are affected by high pH levels (pH levels above 12). The study also focused on the effect of temperature. Since temperatures in Estonia can fluctuate from plus 30 degrees to minus 30 degrees Celsius, a variation of 60 degrees must be taken into account. When using geosynthetics, it is important to select those that can withstand both cold and warm conditions. The most significant temperature fluctuations occur in geosynthetics installed at depths of up to 1 meter.

The second development project is based on the use of geosynthetics in road construction. The project addressed the calculation of geosynthetics, the functions of geosynthetics, and aimed to create a unified platform on which all parties interested in geosynthetics could rely. The development project contains some conflict, such as using a soil fine fraction of <0,075 mm. This is an incorrect approach, as in Estonia and Europe in general, standards are used where the fine fraction is <0,063 mm. Additionally, low axle loads have been used

in the calculation examples, such as 80 kN, whereas in Estonian conditions the axle load is 100 kN.

The second chapter of the thesis provides an overview of the functions of geosynthetics used in infrastructure construction, along with calculations and selection principles.

The second chapter also makes suggestions for improvements based on the problems addressed in the first chapter. As the requirements for geosynthetics are scattered across several guidelines, it would be recommended to compile a single and comprehensive geosynthetics guideline that covers the entire field of geosynthetics in infrastructure construction.

As environmental protection is becoming increasingly important in infrastructure construction, the third chapter presents the calculation basis for assessing the environmental impact of geosynthetics. Two examples are used in the environmental impact assessment. In the first one geosynthetics are not used and a 4500 m<sup>3</sup> soil replacement is carried out, including excavation and backfilling. The calculation takes into account all the steps required for excavation and construction to estimate the CO<sub>2</sub> footprint released into the environment. In the second calculation, a section of the same length and width is used, where excavation is not performed, and the base is reinforced with a geosynthetic. The calculation of the environmental footprint of the geosynthetics takes into account the entire life cycle of the geosynthetic product.

Calculations comparing the two different solutions show that the use of a reinforcing geosynthetic has an environmental impact six times lower than that of soil mass replacement.

The fourth chapter compares the costs of soil replacement and geosynthetic material. Based on the calculations, it is determined that the use of a reinforcing geosynthetic is 2,7 times cheaper than soil mass replacement.



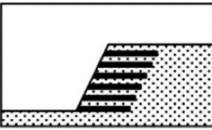
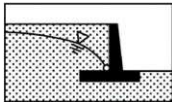

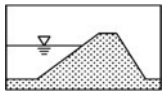


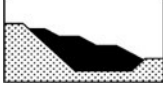
## VIIDATUD ALLIKAD

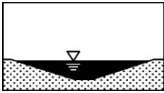
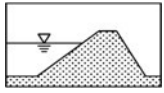

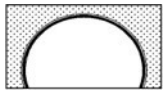
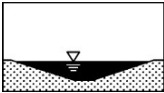



- [1] P. Sedman ja P. Talviste, „GEOSÜNTEETIDE KASUTAMINE TEE KONSTRUKTSIOONIS“.
- [2] ATA, „Part 1: Functions and applications of geosynthetics in roadways“, Geosynthetics Magazine. Vaadatud: 28. märts 2025. [Online]. Available at: <https://geosyntheticsmagazine.com/2017/02/01/part-1-functions-and-applications-of-geosynthetics-in-roadways/>
- [3] „Pakktee“, *Vikipeedia*. 18. jaanuar 2025. Vaadatud: 15. veebruar 2025. [Online]. Available at: <https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Pakktee&oldid=6801802>
- [4] „Geosüntetika kvaliteedikontrolli arendamine etapp 2.pdf“. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2023-12/l%C3%B5pparuanne.pdf>
- [5] „Geosüntetilised materjalid“, *Vikipeedia*. 23. november 2024. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: [https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Geos%C3%BCntetilised\\_materjalid&oldid=6768571](https://et.wikipedia.org/w/index.php?title=Geos%C3%BCntetilised_materjalid&oldid=6768571)
- [6] „Eesti teedevõrk | Transpordiamet“. Vaadatud: 28. märts 2025. [Online]. Available at: <https://www.transpordiamet.ee/eesti-teedevork>
- [7] „NorGeoSpec 2012.pdf“. Vaadatud: 14. veebruar 2025. [Online]. Available at: [https://www.norgeospec.org/acms/data/uploads/dateien/sintef\\_guideline\\_2017.pdf](https://www.norgeospec.org/acms/data/uploads/dateien/sintef_guideline_2017.pdf)
- [8] „Geosüntetika käsiraamat“. Eesti Teedeklaster.
- [9] „Elastsete teekatendite projekteerimise juhend.pdf“. Vaadatud: 14. veebruar 2025. [Online]. Available at: [https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2023-11/KT\\_025\\_J21\\_r1\\_Elastete%20teekatendite%20projekteerimine.pdf](https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2023-11/KT_025_J21_r1_Elastete%20teekatendite%20projekteerimine.pdf)
- [10] R. M. Koerner, *Designing with Geosynthetics - 6Th Edition Vol. 1*. Xlibris Corporation, 2012.
- [11] „ISO/TR 18228-1:2020“, EVS. Vaadatud: 21. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/en/iso-tr-18228-1-2020>
- [12] „Muldkeha projekteerimine (sh. arvutused) ja tüüplahenduste väljatöötamine geosüntetika kvaliteedikontrolli arendamine.pdf“. Vaadatud: 27. märts 2025. [Online]. Available at: [https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2022-03/L%C3%B5pparuanne\\_dets2021\\_GS2019-2021.pdf](https://transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2022-03/L%C3%B5pparuanne_dets2021_GS2019-2021.pdf)
- [13] „Protective geotextile fabric | Fatrafol water-proofing membranes“. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.fatrafol.cz/en/products/accessories/protective-textiles/>
- [14] „Geosyntetien laadunvalvonta väylähankkeissa“.

- [15] „sintef\_guideline\_2017.pdf”. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Online]. Available at: [https://www.norgeospec.org/acms/data/uploads/dateien/sintef\\_guideline\\_2017.pdf](https://www.norgeospec.org/acms/data/uploads/dateien/sintef_guideline_2017.pdf)
- [16] „EVS-EN ISO 9863-1:2016”, EVS. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-9863-1-2016>
- [17] „Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Pavements”. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1988/1188/1188-002.pdf>
- [18] „Rokasgramata\_Geosintetiskie\_materiali.pdf”. Vaadatud: 25. aprill 2025. [Online]. Available at: [https://lvceli.lv/wp-content/uploads/2024/11/Rokasgramata\\_Geosintetiskie\\_materiali.pdf](https://lvceli.lv/wp-content/uploads/2024/11/Rokasgramata_Geosintetiskie_materiali.pdf)
- [19] „ISO/TR 18228-4:2022”, EVS. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/iso-tr-18228-4-2022>
- [20] „Geosüntetilised ehitusmaterjalid”. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.rearma.ee/tooted/geosunteetilised-materjalid>
- [21] S. K. Shukla ja J.-H. Yin, *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*. Balkema - proceedings and monographs in engineering, water and earth sciences. London: Taylor & Francis, 2006.
- [22] „EVS-EN 1997-1:2005”, EVS. Vaadatud: 21. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1997-1-2005>
- [23] E. Standards, „BS 8006-1:2010+A1:2016 Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills”, <https://www.en-standard.eu>. Vaadatud: 29. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.en-standard.eu/bs-8006-1-2010-a1-2016-code-of-practice-for-strengthened-reinforced-soils-and-other-fills/>
- [24] „lop\_2012-02\_geolujitetut\_maarakenteet\_web.pdf”. Vaadatud: 29. aprill 2025. [Online]. Available at: [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lop\\_2012-02\\_geolujitetut\\_maarakenteet\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lop_2012-02_geolujitetut_maarakenteet_web.pdf)
- [25] German Geotechnical Society, „Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements – EBGeo”, *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements – EBGeo*, John Wiley & Sons, Ltd, 2012, lk I–XXI. doi: 10.1002/9783433600931.fmatter.
- [26] „Technical Guideline: Asphalt reinforcement for Road Construction.pdf”. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: <https://www.sabita.co.za/wp-content/uploads/2022/02/tg3-february-2022.pdf>
- [27] „EVS-EN ISO 14040:2006+A1:2020”, EVS. Vaadatud: 16. aprill 2025. [Online]. Available at: <https://www.evs.ee/et/evs-en-iso-14040-2006-a1-2020-consolidated>

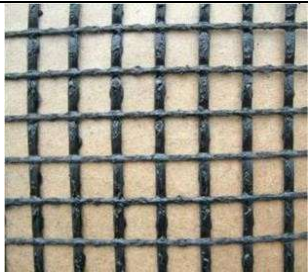
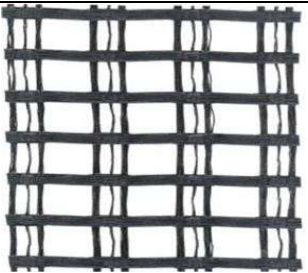

- [28] „The Inventory of Carbon and Energy (ICE) database | GlobalABC“. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: <https://globalabc.org/index.php/sustainable-materials-hub/resources/inventory-carbon-and-energy-ice-database>
- [29] „Organisatsioonide KHG jalajälg | Kliimaministeerium“. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: <https://kliimaministeerium.ee/rohereform-kliima/rohereform/organisatsioonide-khg-jalajalg>
- [30] „NorGeoSpec“. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: <https://www.norgeospec.org/acms/product-certificates/>
- [31] „EPD-IES-0016237.pdf“. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/7fd068b2-06b8-44b0-ef4e-08da28305142/Data>
- [32] „EPD-IES-0016237.pdf“. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/fde64321-48e3-48fa-5d97-08dd50bdc028/Data>
- [33] „md-21017-en\_rev1.pdf“. Vaadatud: 19. märts 2025. [Online]. Available at: [https://www.epddanmark.dk/media/gk3bchtb/md-21017-en\\_rev1.pdf](https://www.epddanmark.dk/media/gk3bchtb/md-21017-en_rev1.pdf)

## Lisa 1. Geosünteeside kasutusvaldkonnad ja standardid

Standard	Piktogramm	Standardi pealkiri
EVS EN 13249		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused kasutamiseks teede ja muude liiklusalade (v.a raudteed ja asfaldikihid) ehitamisel.
EVS EN 13250		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused raudteede ehitamisel.
EVS EN 13251		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused mullatöödel, vundamentide ja tugiseinte rajamisel.
EVS EN 13252		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused drenaažsüsteemide rajamisel.
EVS EN 13253		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused kasutamiseks erosiooni tõkestavatel ehitustöödel (kalda- ja nõlvakindlustised).
EVS EN 13254		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused veehoidlate ja tammide ehitamisel.
EVS EN 13255		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused kanaliehitusel.
EVS EN 13256		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused tunnelite ja allmaakonstruktsioonide ehitamisel.
EVS EN 13257		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused tahkete jäätmete ladustamispaikade ehitamisel.


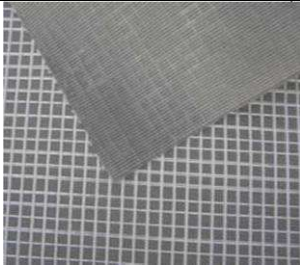
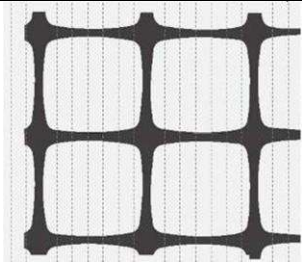
Standard	Piktogramm	Standardi pealkiri
EVS EN 13265		Geotekstiilid ja analoogse funktsiooniga tooted. Nõutavad omadused vedeljäätmete hoidlate ehitamisel.
EVS EN 13361		Geosünteeetõkked. Nõutavad omadused kasutamiseks veehoidlate ja tammide ehitusel.
EVS EN 13362		Geosünteeetõkked. Nõutavad omadused kasutamiseks kanalite ehitusel.
EVS EN 13491		Geosünteeetõkked. Nõutavad omadused kasutamiseks tunnelite ja nendega seotud maaluste ehitiste vedelikutõkete ehitamisel.
EVS EN 13492		Geosünteeetõkked. Nõutavad omadused kasutamiseks vedeljäätmete hoidlate, vahejaamade või sekundaarsete kaitsetõkiste ehitamisel.
EVS EN 13493		Geosünteeetõkked. Nõutavad omadused kasutamiseks tahkete jäätmete hoidlate ja prügilate ehitamisel.
EVS EN 15381		Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. Nõutavad omadused kasutamisel katendites ja asfaldikihtides.
EVS EN 15382		Geosünteeetõkked. Nõutavad omadused kasutamiseks transpordiehituses.

**Lisa 2. Tehniline asfaldivõrkude võrdlus [26]**

Toode	Klaaskiust geovõrgud	Polüester geovõrgud	Terasvõrgud
Foto tootest			
Kattekihi vajalik minimaalne paksus	40 mm	50 mm	60 mm
Kattekihi pingete vastuvõtmine	Suur jäikus vähendab asfaldipragude kohal tekkivaid tõmbepingeid ja vähendab deformatsioone.	Suurendab kattekihi tõmbetugevust. Vähendab asfaldi väsimusdeformatsiooni ja roopa teket.	Vähendab ja ühtlustab tõmbepingeid. Vähendab asfaldi väsimusdeformatsiooni ja roopa teket.
Kokkusobivus asfaldiga	Polümeermodifitseeritud bituumensideainega kihile ja asfaldile nakkub võrk hästi külge.	Polümeermodifitseeritud bituumensideainega kihile ja asfaldile nakkub võrk hästi külge.	Nakkub tugevalt asfaldi täitematerjalidega. Võrk tuleb laotada ühtlaselt ning paigaldamise ajal venitada.
Vastupidavus ja korrosioon	Ei korrodeeru. Vastupidav naftale ja muudele naftatoodetele, UV-kiirgusele ja ilmastikutingimustele. Sulamistemperatuur 1000°C.	Ei korrodeeru. Vastupidav naftale ja muudele naftatoodetele, UV-kiirgusele ja ilmastikutingimustele. Polüesterkuumakindlus kuni 210°C.	Vastupidav naftale ja muudele naftatoodetele. Terasvõrk tuleb katta bituumenemulsiooniga enne paigaldamist. Terasvõrk peaks olema tsingitud (või Zn +Al kattega), et oleks tagatud võrgu pikk eluiga.
Freesimine ja materjali taaskasutamine	Freesimine on lihtne, klaaskiud purunevad freesimise käigus ja	Hammastega freesiga on freesimine on lihtne (kaasa arvatud kuumfreesimine),	Freesida tuleb terasvõrgu paigaldamiskõrgusest natukene kõrgemalt. Terasvõrk tuleb

<b>Toode</b>	<b>Klaaskiust geovõrgud</b>	<b>Polüster geovõrgud</b>	<b>Terasvõrgud</b>
	materjal on taaskasutatav.	materjal on taaskasutatav.	eemaldada mehaaniliselt ja materjal ei ole taaskasutatav.
Piirangud	<p>Kleepuva pinnalised klaaskiust geosünteesilised materjalid ei sobi niisketes tingimustes paigaldamiseks.</p> <p>Klaaskiud on nahka ärritava toimega, paigaldades tuleb kasutada kaitsevahendeid.</p> <p>Paigaldatud geosüntees tuleb samal päeval asfalteerida.</p> <p>Mehaanilise kulumise suhtes tundlik (kui ei ole asfaldiga kaetud).</p>	<p>Saab paigaldada kuivale ja puhtale aluskonstruksioonile.</p> <p>Nõrk vastupidavus kattesse tekkinud pragude korral.</p>	<p>Toodet lahti rullides iseloomulik kumerus. Kumerus tuleks üle rullida kummivalts rulliga.</p> <p>Tuleb tugevalt kinnitada naelte või kruvidega (eriti paigaldamise alguses).</p> <p>Paigaldamisel tuleb jälgida, et võrgu ülekate oleks vähemalt 150 mm ja paigaldades kinnituste suund oleks laoturiga samasuunaline.</p>

**Lisa 3. Tehniline asfaldikanga ja asfaldikomposiidi võrdlus [26]**

Toode	Polüester või polüpropeen kangas	Kootud või nõeltöödeldud geokomposiit	Keevitatud (sulatatud) polüpropüleenist geokomposiit
Foto tootest			
Kattekihi vajalik minimaalne paksus	35 mm	40 mm	70 mm
Kattekihi pingete vastuvõtmine	Toimib kui pingeid vastuvõttev vahekiht. Hoiab ära vee sattumise asfaldikihtidesse. Parandab pealmise kihi tugevust 20-40%.	Suur jäikus ühtlustab prao kohale tekkivaid tõmbepingeid. Suurendab asfaldi väsimuskindlust.	Suurendab nõrkadele aluspinnastele rajatud kattekihtide eluiga, vähendab roobaste, pragude ja muude deformatsioonide teket.
Kokkusobivus asfaldiga	Vastupidav kokkutõmbumiste suhtes. Kare tekstuur tagab hea nakkuvuse ja on vastuvõtlik paigalduskahjustuste osas.	Paigaldades ei vaja eelpingestamist. Polümeermodifitseeritud bituumensideainega kihile ja asfaldile nakkub võrk hästi külge. Immutatud geotekstiil tagab veekindluse.	Paigaldades ei vaja eelpingestamist. Bituumensideainega kihile ja asfaldile nakkub võrk hästi külge. Immutatud geotekstiil tagab veekindluse.
Vastupidavus ja korrosioon	Ei korrodeeru. Kuumakindlus: Polüester kuni 210°C polüpropeeni kuni 145°C. Vastupidav õlile ja muudele naftatoodetele.	Ei korrodeeru. Kuumakindlus: polüester 210°C, polüpropeeni kuni 145°C. Vastupidav õlile ja muudele naftatoodetele.	Ei korrodeeru. Kuumakindlus: polüester kuni 210°C, polüpropeen kuni 145°C. Vastupidav õlile ja muudele naftatoodetele.

<b>Toode</b>	<b>Polüester või polüpropreen kangas</b>	<b>Kootud või nõeltöödeldud geokomposiit</b>	<b>Keevitatud (sulatatud) polüpropüleenist geokomposiit</b>
Freesimine ja materjali taaskasutamine	<p>Kuumalt freesimine võib tekitada probleeme (eriti polüester baasil toodetud geosünteesiliste materjalide puhul). Jahedalt freesimine reeglina ei tekita probleeme.</p> <p>Kangad üle 150 g/m<sup>2</sup> võivad takistada freesimisprotsessi. Freesimise kiirus võiks jääda vahemiku 3-6 m/min</p>	<p>Jahedalt freesimine ei tekita probleeme. Kuumalt freesimine võib tekitada probleeme asukohtades, kus geosünteesiline materjal on paigaldatud. Tuleb arvestada, et freesimisel käituvad geovõrk ja geotekstiil erinevalt. Freesimise kiirus võiks jääda vahemiku 3-6 m/min. Freesimisel purunevad klaaskiud sobivad hästi uue asfaltsegu tootmisel.</p>	<p>Tugevad plastikust võrgud võivad segada freesimist, ning võrgu raskete ja kõvade ühenduskohtade tõttu on vajalik agressiivne freesimine. Materjali taaskasutamine vähetõenäoline.</p>
Piirangud	<p>Kangas võib lahti tulla juhul, kui kanga aluskiht on niiske, kangale on kantud vähe kleepuvat bituumensideainet, kangas on paigaldatud niisketel ilmastikutingimustel või kui kanga ning ülekatte vahele on ladustunud kütust. Erineva soojuspaisumisteguritega kihtide olemasolul tuleks hinnata nende</p>	<p>Kangas võib lahti tulla juhul, kui kanga aluskiht on niiske, kangale on kantud vähe kleepuvat bituumensideainet, kangas on paigaldatud niisketel ilmastikutingimustel või kui kanga ning ülekatte vahele on ladustunud kütust.</p>	<p>Kangas võib lahti tulla juhul kui kanga aluskiht on niiske, kangale on kantud vähe kleepuvat bituumensideainet, kangas on paigaldatud niiskel ilmastikutingimustel või kui kanga ning ülekatte vahele on ladustunud kütust.</p>

<b>Toode</b>	<b>Polüester või polüpropeen kangas</b>	<b>Kootud või nõeltöödeldud geokomposiit</b>	<b>Keevitatud (sulatatud) polüpropüleenist geokomposiit</b>
	maksimaalset paisumise ulatust.		