

Geosünteedide kasutamise ja muldkeha remondi projekteerimise juhiste koostamine

LÕPPARUANNE



1918
TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOL
TEEDEINSTITUUT

2006-12/L



MAANTEEAMET

Tallinn 2006



Teadustöö klass 2.8

KINNITAN

Andrus Aavik
Teedeinstituudi direktor
14. september 2006

TEADUSTÖÖ 5011L

**GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE JA MULDKAHA REMONDI
PROJEKTEERIMISE JUHISTE KOOSTAMINE**

LÕPPARUANNE

Tellija: MAANTEEAMET

Tallinn 2006

TEADUSTÖÖ LÕPPARUANNE

GEOSÜNTEETIDE KASUTAMISE JA MULDKAHA REM ONDI PROJEKTEERIMISE JUHISTE KOOSTAMINE

Käesolev teadustöö 5011L lõpparuanne on koostatud 21.12.2005.a. Maanteeameti ja TTÜ teedeinstituudi vahel sõlmitud Lepingu alusel.

Teadustöö lõpparuande koostasid:

1. Prof. Andrus Aavik – lepingu vastutav täitja;
2. Üliõpilane Madis Padu – geosünteedide kasutamine;
3. Emeeritus Maano Koppel – AASHTO katendi arvutusmeetod; pinnaste klassifikatsioon ja külmaohtlikkus;
4. Lektor Harri Rõuk - katendi arvutus ebasoodsatele mõjudele;
5. Ins. Tiit Kaal, AS Teede Tehnokeskus - probleemsete teekatendi konstruktsiooni-kihtide leidmine FWD mõõtmistulemuste alusel.

SISUKORD

		LK
	TEADUSTÖÖ LÄHTEÜLESANNE	6
1.	<u>GEOSÜNTEETIDE KASUTAMINE TEE MULDKEGA EHITAMISEL</u>	7
1.1.	GEOSÜNTEETIDE TOOTMINE JA FUNKTSIONAALSED OMADUSED	7
1.1.1.	Geosünteedide tootmine	7
1.1.1.1.	Geotekstiilid	8
1.1.1.2.	Geovõrgud	11
1.1.1.3.	Geomembraanid	12
1.1.1.4.	Geosünteedidest toodetud materjalid	13
1.1.2.	Geosünteedide funktsioonid	15
1.1.2.1.	Filtreerimine	15
1.1.2.2.	Eraldamine (separeerimine)	16
1.1.2.3.	Tugevdamine (armeerimine)	17
1.1.2.4.	Tasapinnaline vool	21
1.1.2.5.	Vedeliku- või gaasitõke	22
1.1.3.	Geosünteedide omadused	24
1.1.3.1.	Geosünteedide omaduste jaotus ASTM'i alusel	24
1.1.3.2.	Geotekstiilide omaduste jaotamine vastavalt kasutustingimustele Euroopa Standardi alusel	25
1.2.	GEOSÜNTEEDI VALIK JA KASUTAMINE	27
1.2.1.	Muldesse sobiva geotekstiili valik eraldamiseks ja filtreerimiseks spetsifikatsiooni-profiili alusel	27
1.2.1.1	Põhjamaade klassifikatsioonisüsteem	28
1.2.1.2.	Saksa geotekstiilide klassifikatsioonisüsteem	29
1.2.1.2.1.	Paigalduspingete klassifitseerimine	30
1.2.1.2.2.	Täitematerjali ja koormuste klasside kombinatsioonil sobiva geotekstiili spetsifikatsiooniprofiili leidmine	31
1.2.2.	Geosünteedide kasutamine tugevdamiseks	32
1.2.2.1.	Geosünteedi arvutus silindrilisele lihkele	34
1.2.2.2.	Armeeritud muldkeha kontroll täitematerjali libisemisele	38
1.2.2.3.	Muldkeha vertikaalne deformatsioon	40
1.2.3.	Geosünteedide kasutamine muldkeha dreenimiseks ja filtreerimiseks	41
1.2.3.1.	Geotekstiili ummistuskindlus	42
1.2.3.2.	Geotekstiili veeläbilaskvus (filtratsioonimoodul)	43
1.2.4.	Geosünteedide paigaldamine mulde ehitamisel	43
1.3.	AASHTO KATENDI ARVUTUSMEETOD	45
1.3.1.	AASHTO projekteerimismeetod geovõrgu kasutamisel	48
1.4.	KOKKUVÕTE	51

2.	<u>TEE MULDKEGA REMONDI PROJEKTEERIMINE</u>	52
2.1.	ÜLDIST	52
2.2.	PINNASED	55
2.2.1.	Pinnaste klassifikatsioon	55
2.2.2.	Pinnaste külmakerkelisus	70
2.2.2.1.	Muldkeha veerežiim	70
2.2.2.2.	Külmakerke tekkimise protsess	71
2.2.2.3.	Külmakerkeline pinnas	72
2.2.3.	Külmaohtlike pinnaste parendamine	75
2.3.	KATENDI ARVUTUS EBASOODSATELE MÕJUDELE	77
2.3.1.	Katendi arvutus külmakerkele	77
2.3.2.	Veerežiimiga seotud arvutused	82
2.3.2.1.	Üldist kraavide arvutamise kohta	83
2.3.2.2.	Drenaaži arvutus	83
2.3.2.3.	Dreenihi arvutus	86
2.4.	PROBLEEMSETE TEEKATENDI KONSTRUKTSIOONIKIHTIDE LEIDMINE FWD MÕÕTMISTULEMUSTE ALUSEL – PRAKTILINE NÄIDE	92
2.5.	KOKKUVÕTE	97
	KASUTATUD INFORMATSIOONIALLIKAD	99

TEADUSTÖÖ LÄHTEÜLESANNE

Geosüntetide kasutamise ja muldkeha remondi projekteerimise juhiste koostamine

1. Probleemipüstitus

Käesoleval ajal normeerivad Eestis muldkeha projekteerimist Maantee projekteerimisnormid ja ehitamise kvaliteeti teehoiutööde tehnoloogianõuded. Ükski Eesti normatiivdokument ei käsitle geovõrkude, -tekstiilide ja –membraanide kasutamise tehnoloogilisi aspekte muldkehade ehitamisel. Maantee remondi käigus osutub sageli vajalikuks ebasobiva muldkeha pinnase asendamine sobivate omadustega pinnasega ning ka olemasoleva muldkeha laiendamine. Ka nende tööde teostamiseks puuduvad Eestis praegu tehnoloogilised juhised. Kuna lähiaastatel on oodata teede remondi käigus ka uute mullete ehitamist, olemasolevate mullete remonti ja laiendamist, siis osutub aktuaalseks kõigi eelnimetatud muldkeha ehitustööde kohta vastavate juhendite koostamine.

2. Teadustöö eesmärk

Koostada juhendid:

- Geosüntetide kasutamise juhise muldkeha ehitamisel.
- Muldkeha remondi projekteerimise juhise.

3. Teadustöö sisu

3.1. Koostada kirjanduse ülevaade geovõrkude, -tekstiilide ja –membraanide kasutamisest muldkeha ehitamisel. Koostada juhise geosüntetide kasutamiseks (s.h. pinnase kandevõime suurendamine, pinnasekihtide eraldamine, dren- ja isolatsioonikihtide ehitamine, nõlvakindlustus) muldkeha ehitamisel.

3.2. Koostada muldkeha remondi projekteerimise juhise, nähes selles ette ebasobiva muldkeha pinnase asendamise, olemasoleva muldkeha pinnase parendamise, mulde kuivendamise ja muldkeha laiendamise ning ka muid tehnoloogilisi võimalusi.

1. GEOSÜNTEETIDE KASUTAMINE TEE MULDKESHA EHTAMISEL

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

Geosünteedid jagatakse:

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

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

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

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

1.1. GEOSÜNTEETIDE TOOTMINE JA FUNKTSIONAALSED OMADUSED

1.1.1. Geosünteedide tootmine

Geosünteede toodetakse enamasti polümeerplastidest [7]:

- polüpropüleenist,
- polüestrist,
- polüetüleenist,
- polüvinüülist või

- polüamiidist.

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

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

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

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

Konkreetses geosünteedi valikul teatud konstruktsiooni tuleb kindlasti teada materjali, millest on vastav geosüntee toodetud. Igal erineval geosünteedi tootmiseks kasutataval polümeeril on oma konkreetsed omadused, mida saab kasutada konstruktsioonile esitatavate vastavate tehniliste nõuete täitmiseks. Näiteks savikate pinnaste armeerimisel osutub kõige soodsamaks variandiks geosüntee, mis on toodetud polüestrist, kuna antud polümeer omab head vastupidavust roomamisele. Tabelis 1.1 on esitatud enamkasutatavate polümeeride omadused [14].

Tabel 1.1

Polümeeride omadused [14]

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

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

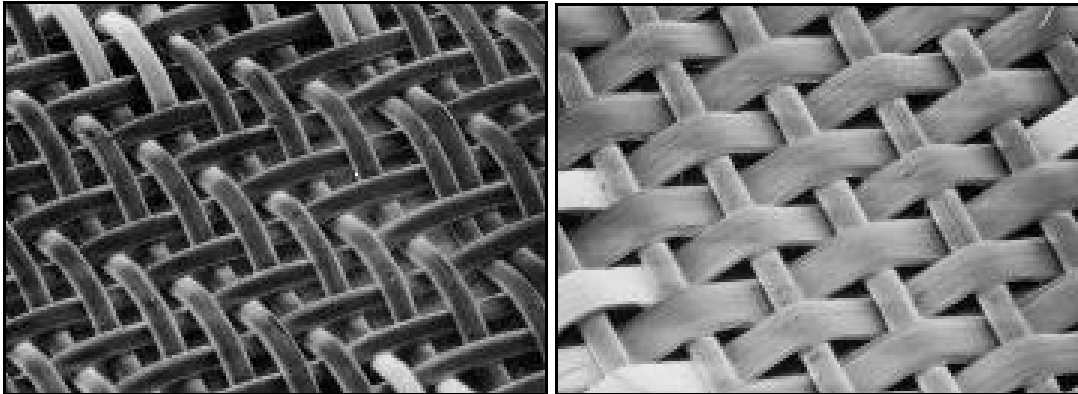
1.1.1.1. Geotekstiilid

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

Kootud geotekstiile toodetakse kangastelgedel. Nad omavad enamasti sirgjoonelist ülesehitust. Tootmisel paigaldatakse õimelõngad kogu kanga pikkuses kindlate vahedega ning kanga kude

lisatakse lõime vahele kindel arv kordi sentimeetri kohta. Seega kanga kudumise korrapärasus on kontrollitud ja kanga struktuur ühtlane kogu materjali ulatuses [3]. Erinevaid kanga kudumi mustreid võib eksisteerida lõpmatult palju, see ei avalda mõju kanga tugevusomadustele [7].

Kootud tekstiile toodetakse, kas peenikeseks lõigatud polümeerkile ribadest (lapikud) või siis mono- ja multikiudsetest niitidest (ümarad) (joonis 1.1). Kootud tekstiilid on õhemad võrreldes mittekootud geotekstiilidega [6].



Joonis 1.1 Kootud geotekstiilid [22]

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

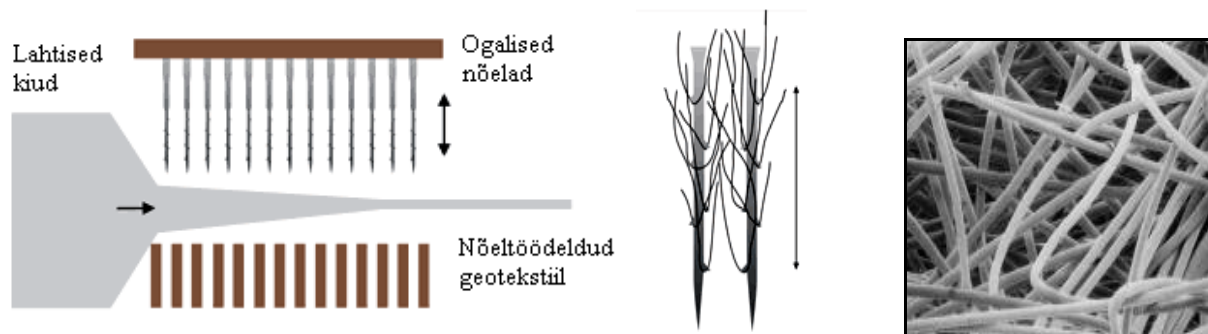
Kootud geotekstiilidel on kõrged tugevusomadused ja väike venivus. Kootud geotekstiili omadusi saab muuta eelpingestades kudumise ajal teatud kindlas suunas olevaid niite.

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

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

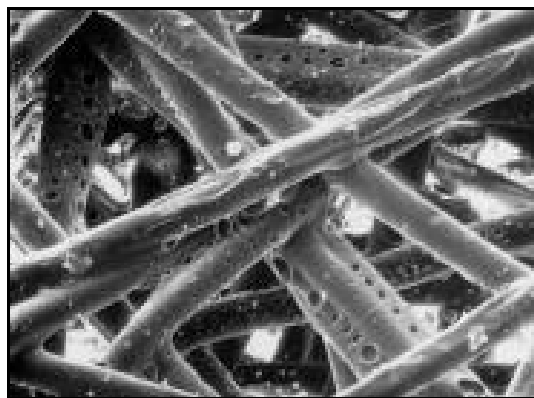
Geotekstiili valmistamine algab polümeerist kiudude moodustamisel tekkinud pooltahkete elementaarkiudude laotamisel ühtlaselt liikuvale lindile, moodustades sinna vildi taolise kihi. Samuti toimitakse ka staapelkiududega. Viimaste puhul tuleb nende lahti pakkimiseks pallidest läbi viia eelnev kraasimine.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

Geotekstiilide tootmisel nõeltöötlemisega surutakse kiududest saadud võrgustikust läbi palju ogalisi nõelu (heegelnõela põhimõte) ja selle protsessi tulemusena seotakse kiud omavahel mehaaniliselt (joonis 1.2). Tekib paks vilditaoline materjal, mis sisaldab väga palju poore (poorsus > 90%) ja nõelade moodustatud avausi, mistõttu tal on väga head veejuhtimisomadused [6].



Joonis 1.2 Nõeltöötlemisel geotekstiilide tootmine ja töödeldud kiud [20, 22]

Kuumtöötlemisel kasutatakse kõrgeid temperatuure ja survet, et siduda kiudude matt tekstiiliks (Joonis 1.3). Kiududest tekkinud võrgustik peab sisaldama eri sulamistemperatuuridega polümeerkiude, mis kuumade rullide vahel omavahel liidetakse. Kuumtöötlemisel saadud geotekstiilid on seega tunduvalt õhemad kui nõeltöötlemisega toodetud kangad, mistõttu nad on tavaliselt halvemate filtreerimisomadustega, aga suurema tõmbetugevusega. [6]



Joonis 1.3 Kuumtöödeldud mittekootud geotekstiili kiud [22]

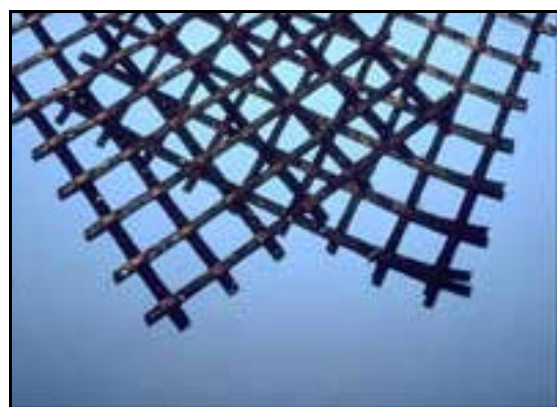
Lisaks eeltoodule kasutatakse mittekootud geotekstiilide tootmisel ka keemilist sidumismeetodit, kus kiude siduv liimaine (vaigud) segatakse kiudmati sisse.

Mittekootud geotekstiilide kombineeritud sidumismeetodi korral kasutatakse tootmisel rohkem kui ühte eeltoodud meetoditest.

1.1.1.2. Geovõrgud

Geovõrgud on sünteetilised võrgutaolised materjalid, mis koosnevad omavahel seotud paralleelsetest lamedatest ribadest, millede vahel olevad avaused peavad olema piisavalt suured, et tagada haakumine teda ümbritseva pinnasega või kivimaterjaliga (killustik vms). Geovõrkude peamine tööülesanne on teda ümbritseva pinnase või kivimaterjali armeerimine.

Tootmistehnoloogiate järgi jagunevad geovõrgud: pressitud, kootud, keevitatud (sulatatud) ja komposiitgeovõrkudeks (joonis 1.4). Põhilisteks geovõrkude valmistamisel kasutatavateks polümeerideks on polüetüleen ja polüpropüleen [18].



Joonis 1.4 Pressitud geovõrgud ja keevitatud liitekohtadega geovõrgud [22]

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

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

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

1.1.1.3. Geomembraanid

Geomembraanide tootmisel kasutatakse kahte põhilist meetodit:

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

Geomembraanide tootmisel lameda lehe ekstrudeerimismeetodil liigub sulatatud polümeerimass mööda tigukonveierit matriitsi, millega pressitakse surve all ühtlane kuum polümeeri leht. Matriitsile järgnevad rullid, mida läbides ühtlustatakse geomembraani omadusi. Saadud materjal on ilma voltimisjälgedeta, peegelsileda tekstuuriga ja ühtlaste tugevusomadustega (joonis 1.5).



Joonis 1.5 Lameda lehe ekstrudeerimismeetodil toodetud geomembraan [17]

Geomembraanide tootmisel puhutud lehe ekstrudeerimismeetodil puhutakse tigukonveierist tulev sulatatud polümeer ühtlase seinaläbimõõduga membraanballooniks, mis edaspidises töötlemises lõikamise teel muudetakse leheks. Viimases etapis läbib toodetav materjalil rullvaltsid, millega ühtlustatakse tema omadusi. Antud meetodil toodetud geomembraanid on ebaühtlaste tugevusomadustega (membraani paksus varieerub 7-15 %), iseloomulikud on voltimisjäljed membraani pinnal (joonis 1.6) [17].

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

- Reljeefi pressimine: reljeef pressitakse geomembraani pinda sisse ja seetõttu on tegemist ühe ja sama materjaliga, millel on homogeensed omadused. Antud juhul on võimalik anda membraani mõlemale poolele erinev reljeef, et vähendada geomembraanis tekkivaid pingeid.
- Lisakihi peale pihustamine: membraani peale pihustatakse karestamiseks mõnest muust materjalist lisakiht. Tulemuseks on kareda pinnatekstuuriga geomembraan.

- Kooskstrudeerimismeetod: koos põhilise membraanikihi materjaliga surutakse (viimasele kareda pinna saamiseks) matriitsi ka lisamaterjali kiht, mis sisaldab gaasi. Koheselt peale materjali matriitsist väljasurumist eraldub pealmisest kihist gaas, tekitades membraani pinnale kareda tekstuuri. Antud meetodi puhul on ohuks, et kuumast pinnamaterjalist eralduvad gaasid võivad kahjustada ka peamist membraanikihti.



Joonis 1.6 Puhutud lehe ekstrudeerimismeetodil toodetud geomembraan [17]

1.1.1.4. Geosüntetidest toodetud materjalid

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

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

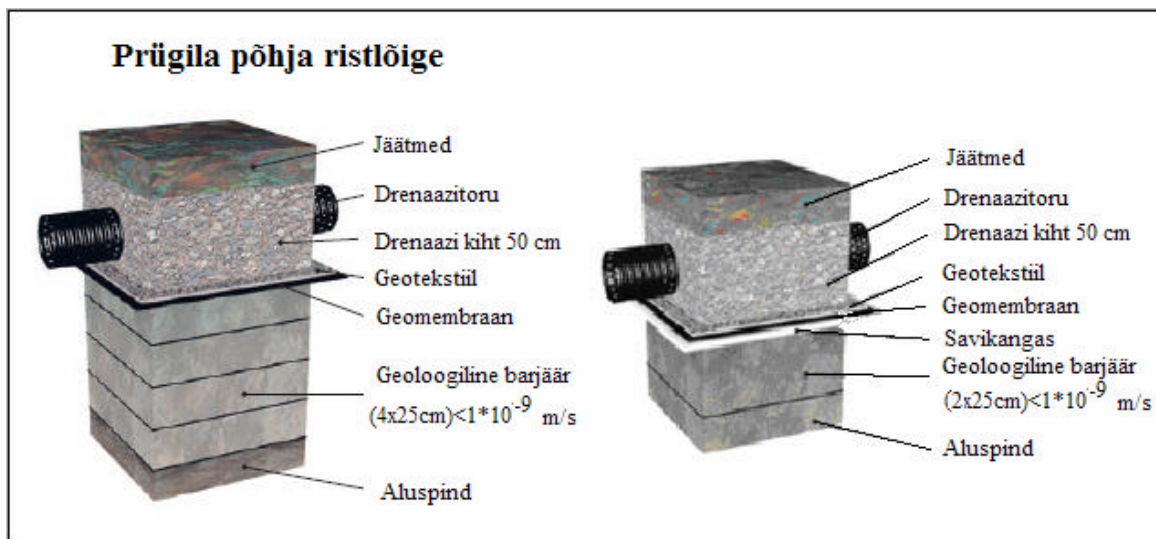
Geotorudest vee väljavoolamisel täitematerjali maht väheneb (kuni 65%) ning seetõttu tuleb neid täiendavalt täita pinnase lisapumpamisega, et kasutada kogu toru mahtu. Pinnaste tihenemisel geotorudes kasvavad pinnaste nihketugevusomadused ning seega võib geotorus kuivatatud pinnas osutada taaskasutatavaks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

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

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

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

Geosüntetilisi savivahekihte kasutatakse vedelike ja gaaside liikumise takistamiseks, leides laialdast kasutust keskkonnaobjektide ehitamisel, kus on oluline vältida vedelike ja gaaside imbumist ümbritsevasse keskkonda. Näiteks prügilate ehitusel on võimalik sobiva betoniitkanga kasutamisega asendada paks tihendatud sinisavi kiht (joonis 1.7).



Joonis 1.7 Prügila põhja isoleerimine traditsioonilise mitmekihilise geoloogilise barjääriga ja geosüntetilise savivahekihiga (savikangaga) [20]

1.1.2. Geosünteedide funktsioonid

Geosünteedid on laialdaselt kasutuses erinevates ehitussektorites: teede-, üld- ja keskkonnaehituses. Geosünteedide põhilisteks kasutusfunktsioonideks on:

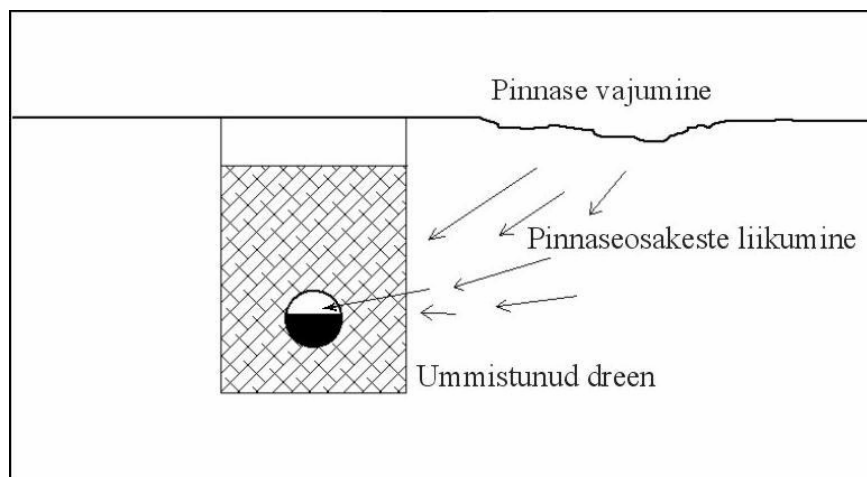
- filtreerimine;
- separeerimine ehk eraldamine;
- pinnaste tugevdamine ehk armeerimine;
- tasapinnaline vool ehk drenimine mööda oma pinda;
- vedeliku ja gaaside liikumise tõkestamine.

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

1.1.2.1. Filtreerimine

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

Filtreerimis- ja eraldamisfunktsioonide täitmiseks paigaldatakse geotekstiil tavaliselt pinnasekihtide vahele, risti pinnases esinevale veevoolu suunale. Vesi ja vees olevad peenosised, mis on väiksemad geotekstiili pooriava suurusest, voolavad läbi, ülejäänud pinnaseosakeste liikumine läbi geosünteedi on aga takistatud [3]. Et filterkangas täidaks oma funktsiooni normaalset pika aja jooksul, tuleb teda ümbritsevad pinnased korralikult tihendada. Sidumata ja tihendamata pinnastes saavad peenosised vabalt koos veega liikuda. Piisavalt väikese läbimõõduga pinnaseosakesed võivad koos voolava veega läbi geotekstiili pinnastest välja uhtuda, mille tagajärjel filterkangast ümbritsev pinnas võib vajuda, aga ka dren ummistuda (joonis 1.8) [14].



Joonis 1.8

Dreeni ummistumine tihendamata pinnase tõttu [14]

Enamlevinumaks kasutuspaigaks filtri funktsiooni täitvale geotekstiilile on drenide ehitus, kus tekstiil mässitakse drenitoru ümbritseva jämedateralise hästifiltreeruva täitematerjali ümber, takistamaks pinnase peenosiste imbumist filtreeruva täitematerjali kihti (joonis 1.8). Antud juhul takistab geotekstiil filtreeruva materjali pooride täitumist teda ümbritseva pinnase peenfraktsiooniga ja säilitab kuivendussüsteemi töövõime. Geotekstiili võime juhtida vett ei tohi olla väiksem kui pinnasel, millesse ta paigaldatakse, sest konstruktsioon peab võimaldama vetel (ja gaasidel) vabalt liikuda, et ei tekiks märkimisväärset hüdrostaatilise rõhu muutust.

Lisaks eeltoodule kasutatakse filterkangaid veel:

- kaldaerosiooni vältimiseks, kus kaldakindlustuse alla paigaldatud filterkangas takistab pinnaseosakeste uhtumist merre;
- muldkehades koos eraldamise funktsiooniga, võimaldades pinnasevee normaalse liikumise, hoides samas ära täitematerjali pooride täitumise veega koos liikuvate pinnase peenosistega ning tagades muldest väljuva vee normaalsed äravoolutingimused;
- süvendite nõlvade kindlustamiseks, kus süvendi kaevamise käigus läbi lõigatud pinnasekihtidest välja voolava vee tõttu on suur pinnase ärauhutuse ehk erosiooni oht;
- täidetud muldtest ja looduslikest nõlvadest väljuva pinnasevee tulemusel tekkiva erosiooni kaitseks.

Peamised geotekstiilide omadused, mis mõjutavad filtreerimist on:

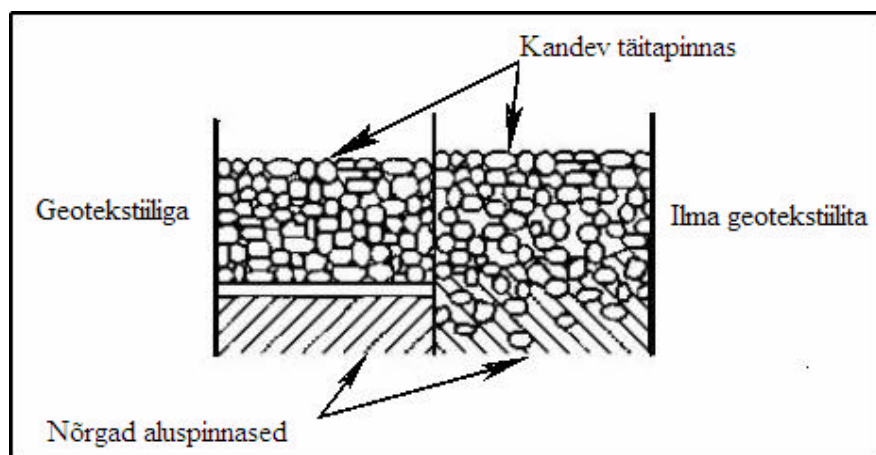
- iseloomulik pooriava suurus (EN ISO 12956),
- vee läbilaskvus pinnaga risti suunal ehk permitiivsus (EN ISO 11058) ja
- ummistuskindlus (ASTM D 5101).

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

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

1.1.2.2. Eraldamine (separeerimine)

Eraldamise funktsiooni juures on geosünteedide ülesandeks takistada erinevatel pinnasekihtidel omavahel seguneda (näiteks aluspinnase ja kivimaterjali või kahe erineva kivimaterjali kihi segunemise vältimine) (joonis 1.9).



Joonis 1.9 Geotekstiili kasutamine separeerimise eesmärgil väldib täite - ja aluspinnaste omavahelist segunemist [14]

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

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

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

1.1.2.3. Tugevdamine (armeerimine)

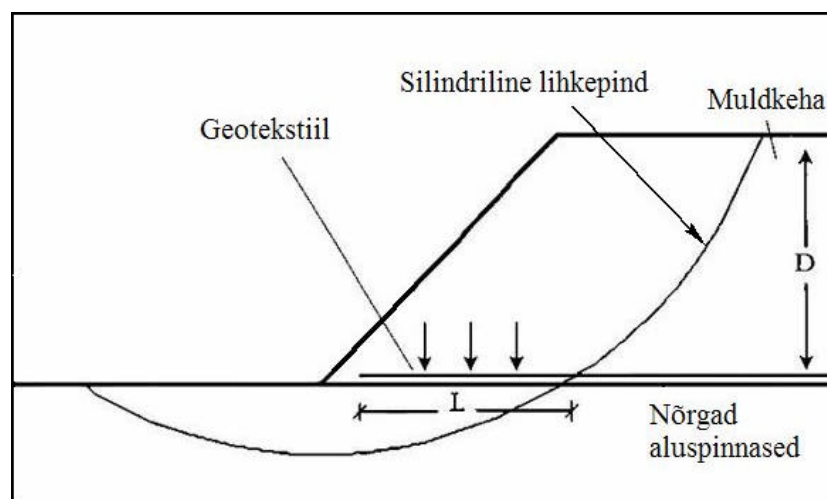
Põhiliselt kasutatakse geosünteede pinnaste tugevdamise otstarbel juhul, kui pinnas oma nõrkade tugevusomaduste tõttu ise ei suuda vastu võtta konstruktsiooni enda koormusest tingitud või ekspluateerimisel tekkivaid tõmbe- ja nihkepingeid. Need kantakse pinnastelt geosünteedile üle tekkivate nake- (haardumine)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

Muldkeha armeerimist saab vaadelda kui tavalist nõlvapüsivuse juhtumit, kus koormuste korral, mis ületavad aluspinnaste kandevõime, toimub konstruktsiooni deformeerumine mööda silindrilist lihkepinda. Seega on geosünteedi peamiseks ülesandeks võtta vastu koormustest tingitud nihkepinged vältimaks deformatsioonide teket (joonis 1.10).

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

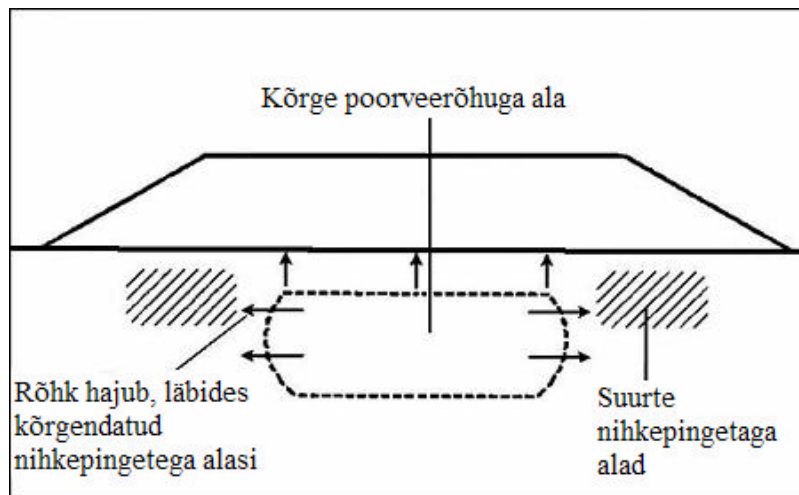
Projekteerimise algstaadiumis tuleb uurida aluspinnaste omadusi ja teha järeldused, kas ehitatav muldkeha:

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



Joonis 1.10 Geosünteediga (geotekstiil või -võrk) armeeritud muldkeha [14]

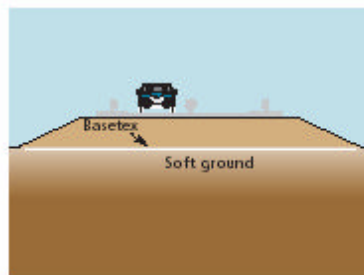
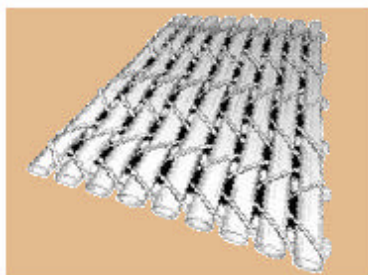
Enamlevinud on olukord, kus pinnased vajavad lisatugevdamist, kuna muldkeha rajamisel aluspinnase ülekoormamise tulemusena kasvanud poorivee rõhu tõttu on aluspinnaste kandevõime märkimisväärselt vähenenud. Sellises olukorras on geosünteedi ülesandeks vastu võtta tekkivaid pingeid senikaua, kuni poorivee rõhk normaliseerub ja pinnas saab tagasi oma tugevusomadused. Projekteerimisel tuleb arvestada asjaoluga, et poorivee rõhk väljub muldkeha all olevatest pinnastest külgede kaudu ning seega läbib ta mulde servade all olevaid väga suurte nihkepingetega alasid (joonis 1.11), mille tulemusel liiga nõrkade geosünteedide kasutamine võib viia kogu mulde (ebaühtlase) vajumiseni [14].



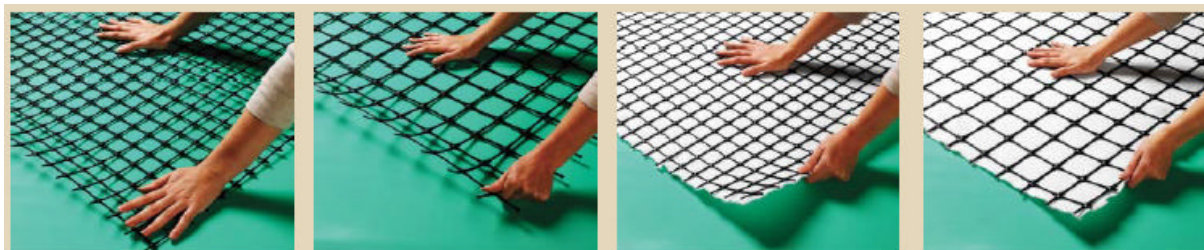
Joonis 1.11 Muldkeha tekitatud koormusest tingitud vee kõrge poorirõhu väljumine aluspinnastest [14]

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

Eeltoodud omaduste loetelu ja praktiliste näidete põhjal võib järeldada, et armeerimiseks ei sobi mittekoostud geotekstiilid oma suurte venivusomaduste tõttu. Antud funktsiooni juures leiavad kasutust koostud geotekstiilid, sest neil on väikesed roomavus- ja venivusnäitajad (joonis 1.12). Üldjuhul aga kasutatakse koostud geotekstiilide kalli hinna tõttu geovõrke eraldi või koos mittekoostud geotekstiilidega (joonis 1.13). Sellises liitkonstruktsioonis täidavad geosünteedid lisaks armeerimisele ka filtreerimise ja eraldamise funktsioone.



Joonis 1.12 Suure tugevusega geosünteed nõrga aluspinnase armeerimiseks [23]

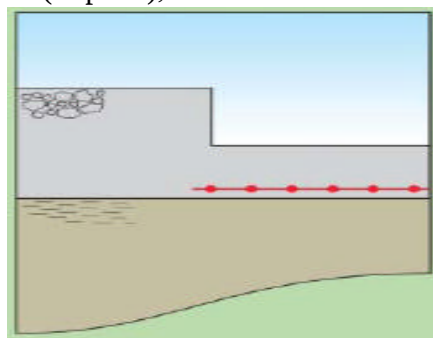


Joonis 1.13 Geovõrk ja geokomposiit (võrk+tekstiil) nõrga aluspinnase armeerimiseks [23]

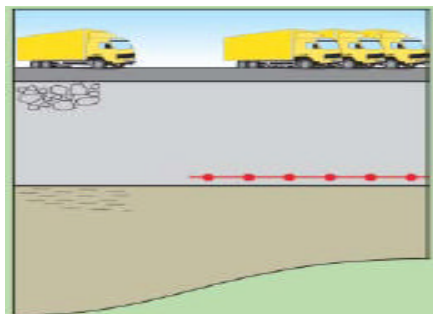
Geovõrgu ja killustiku koostöös tekib nn „lukustatud“ struktuur, kus killustikuterad tungivad võrgu avadesse ja „lukustuvad“ seal. Lukustuv süsteem aitab vähendada hilisemaid nihkumisi ja täitematerjali laialivajumist.

Pinnase geovõrkudega armeerimise põhilised tulemused [23]:

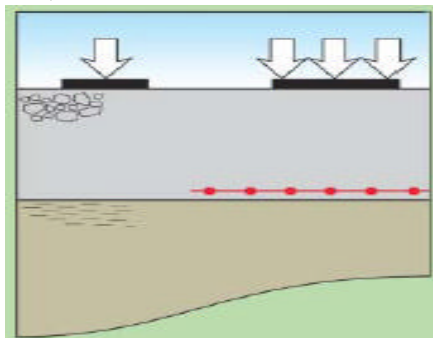
- Kihipaksuse vähendamine (vt p.1.3);



- Tööea pikendamine;



- Kandevõime suurendamine;



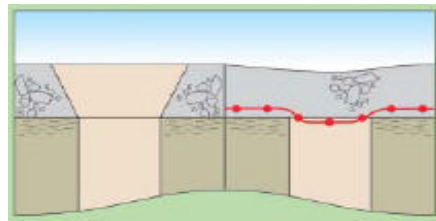
- Vajumite erinevuse ärahoidmine;



- Lokaalsete nõrkade kohtade katmine;

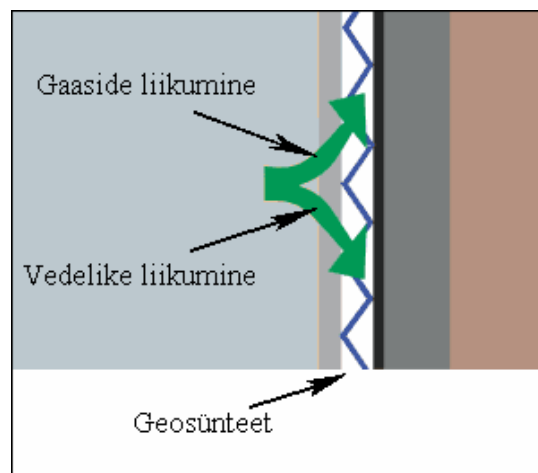


- Tühimike sillutamine.



1.1.2.4. Tasapinnaline vool

Geosünteedi omadust juhtida vett ja gaase mööda oma tasapinda vaadeldakse eraldi funktsioonina ja seda nimetatakse tasapinnaliseks vooluks ehk dreenimiseks mööda oma tasapinda. Erinevates situatsioonides peab kasutatav materjal koguma risti oma tasapinnaga endasse sade- ja pinnaseveed ning juhtima need mööda oma tasapinda vastavatesse kogumiskohtadesse või, vastavalt ette nähtud funktsioonile, olema ka suuteline oma tasapinnas koguma ja juhtima gaase pinnastest välja (joonis 1.14) [1].



Joonis 1.14

Vedelike ja gaaside liikumine pinnastes [20]

Tasapinnalise voolu funktsiooni omavate geosünteedide kasutusalaadeks on:

- Tasapinnalised drenid pinnastest liigse vee välja juhtimiseks, mille tulemusena väheneb mulde pinnase koormamisel tekkiv hüdrostaatiline rõhk ja paraneb kandevõime. [3]
- Vertikaaldrenid tihenemis- või vajumisprotsessi kiirendamiseks. Selleks paigaldatakse vastava seadmega pikad tahikujulised drenid pinnasesse ning koormatakse viimane üle. Vertikaaldrenid aitavad vähendada kokkusurutud pinnastes tekkivat poorirõhku ning kiirendavad konsolidatsiooniprotsessi [1].
- Heade tasapinnalise voolu omadustega geosünteed paigaldatakse geomembraanide vastu kontrollimaks pinnasevee taset ning ära juhtima membraani vastu kogunevaid gaase [14].

Kasutades geotekstiili drenidenä, tuleks valida suhteliselt paks mittekoatud materjal, millel on head drenivad omadused mööda oma tasapinda. Parema tasapinnalise voolu tagamiseks on välja töötatud spetsiaalsed geokomposiitmaterjalid, mis koosnevad heade tasapinnaliste veejuhtimisomadustega monokiudsest südamikust ja vähemalt ühest separeerimis-/filtreerimisfunktsiooni täitavast geotekstiili kihist (joonis 1.15).



Joonis 1.15 Hea tasapinnalise voolu omadusega geokomposiitmaterjalid [20]

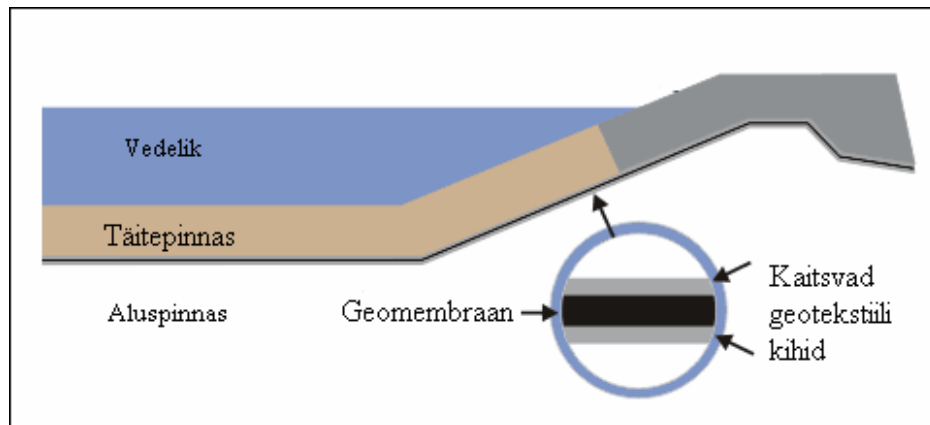
Projekteerides drenaazisüsteemi, mis põhineb geosünteedi tasapinnalisel voolul, on oluline peale tasapinnalise veevooluhulga (EN ISO 12985) näitaja jälgida ka selle materjali filtreerimis- ja eraldusfunktsioonideks vajalikke omadusi. Peamiseks riskiks on geosünteedi pikemaajalise ekspluatatsiooni käigus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

1.1.2.5. Vedeliku- või gaasitõke

Keskkonnatundlikes piirkondades ja kohtades, kus ehitus võib tugevalt saastata ümbritsevat loodust (näiteks: prügimäed), tuleb kasutada erinevaid vahendeid aluspinnaste ning põhjavee kaitsmiseks. Vedelike ja gaaside mittesoovitud liikumise vältimiseks kasutatakse geosünteetilisi

materjale: geomembraane, geosünteesilisi savivahekihte, aga ka tavalisi geotekstiile, millede poorid on täidetud vett mittejuhtiva materjaliga (näiteks bituumeniga). [15]

Geosünteeite kasutatakse vedelikutõkkena ka puhtaveekogude rajamisel (joonis 1.16). Sel juhul pole geosünteedi vedelikutõkke nõuded nii karmid, sest mõningane puhta vee imbumine aluspinnastesse ei kujuta endast ohtu keskkonnale ega ka veekogule (veekaod aurustumise teel on kindlasti suuremad kui lekete kaudu) [14].



Joonis 1.16 **Geomembraan vedelikutõkkena** [20]

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

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

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

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

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

1.1.3. Geosünteedide omadused

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

- filtreerimine,
- eraldamine,
- tugevdamine.

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

1.1.3.1. Geosünteedide omaduste jaotus ASTM'i alusel

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

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

Tugevusomaduste alla liigitatakse:

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

Geosünteedide funktsioneerimist iseloomustavad näitajad on:

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

- läbijuhtimisvõime ehk tasapinnaline vool - geosüntetika võime juhtida vedelike oma tasapinnas.

Geosüntetikute vastupidavusomadused on:

- keemiline vastupidavus - lagunemiskindlus keemilistele lahustele;
- stabiilsus ultraviolettkiirgusele - võime säilitada tugevus tugevas UV-kekskonnas;
- ummistumiskindlus - pinnase ning geosüntetika moodustatud konstruktsiooni võime säilitada pikaajaline vool läbi süsteemi ilma märkimisväärse voolu vähenemiseta;
- bioummistuskindlus - pinnasest ning geosüntetikast moodustatud konstruktsiooni võime säilitada pikaajaline vool läbi süsteemi ilma märkimisväärse voolu vähenemiseta bioloogilise kasvu tingimustes;
- roomavus - ajast sõltuv geosüntetika deformatsioon konstantse koormuse juures;
- kulumiskindlus - pinna võime vastu seista hõõrde poolt tekitatavale kulumisele.

Erinevate funktsioonide projekteerimisel ei ole vaja teada kõiki eelnimetatud karakteristikuid. Projekteerijad peaksid täpsustama vaid neid geosünteedi omadusi, mis rakenduvad ainult peamise projekteeritava funktsiooni täitmisel. Funktsioonile vastavad vajalikud karakteristikud ASTM standardi järgi on ära toodud [tabelis 1.2](#).

1.1.3.2. Geotekstiilide omaduste jaotamine vastavalt kasutustingimustele Euroopa Standardi alusel

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

Geotekstiilide omadused ja nende olulisus teatud kasutamiskontsiooni juures ning vastavad katsemeetodid on esitatud [tabelis 1.3](#).

Omaduste olulisust ehk määramisvajadust väljendatakse järgmiselt:

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

Seega kõik Euroopas kasutatavate geotekstiilide sertifikaadid peavad sisaldama vastavalt oma kasutusfunktsioonile [tabelis 1.3](#) toodud karakteristikuid. Siiski esineb mõningaid erandeid,

Karakteristikud, mis on EN 13249 järgi vajalikud eriolukorras ([tabel 1.3](#)) [4] :

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

Tabel 1.2

Geosünteedi funktsioonile vastavad vajalikud karakteristikud [6]

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

Tabel 1.3

Geosünteedide funktsioonid, karakteristikud ja katsemeetodid [4]

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

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

1.2. GEOSÜNTEEDI VALIK JA KASUTAMINE

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

1.2.1. Muldesse sobiva geotekstiili valik eraldamiseks ja filtreerimiseks spetsifikatsiooni-profiili alusel

Teekonstruktsioonide ehitamisel kasutatakse geosünteede eraldamise eesmärgil erinevate pinnaste omavahelise segunemise vältimiseks, mille tulemusena säilivad teekonstruktsiooni tugevuse seiskohalt sellised olulised näitajad nagu kandva kihi paksus, terastikuline koostis ning tema struktuurne püsivus. Jämedad ja peeneteralised pinnased segunevad muldes ehitamise ja eksploatatsiooni käigus koormuste liikumise tulemusel tekkiva „pumba efekti” tõttu, kus koormuse liikumisel tõusevad aluspinnase peenosised jämedama terakoostisega

täitepinnase pooriavadesse. Geosünteedide kasutamine muldkeha ehitamisel nõrkadele pinnastele võimaldab vältida nn „pumba efekti” tekkimist ning ühtlasi võimaldab vähendada täitematerjali kogust ruutmeetritele. [6]

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

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

1.2.1.1. Põhjamaade klassifikatsioonisüsteem

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

Kõik kasutatavad geosünteedid peavad vastama EN 13249 „Geotekstiilid ja geotekstiilidega seotud tooted - teede ja muude liiklusalade ehitamisel kasutamiseks vajalikud karakteristikud” [4] esitatud nõuetele. Tabelis 1.4 on toodud geosünteedide omadusnäitajate väärtused spetsifikatsiooniprofiilidesse jaotamisel ja vastava näitaja väärtuse hälbe lubatavad maksimumväärtused. Hälve määratakse tootja poolt. Kõik tabelis esitatud väärtused on vastavad 95%-lisele tõenäosusele.

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

- Aluspinnase tüüp:
 - o *pehme* - pehmed savid nihketugevusega ≈ 25 kPa ning turvas;
 - o *kõva* – keskmine ja jäik savi nihketugevusega >25 kPa ning liiv ja kruus.
- Ehitustingimused:
 - o *tavalised* - juhul kui tingimustes on kaks või enam järgnevat olukorda: raske ehitusaegne liiklus, nurgeline ja terav purustatud täitematerjal, rasketehnikaga vibrotihendamine, ehitustranspordi liikumine täitekihtidel paksusega vähem kui 300 mm;
 - o *soodsad* - täitematerjalid maksimaalse terasuurusega <200 mm ja kihipaksusega $>1,5$ maksimaalse tera läbimõõtu.
- Liiklussagedus:
 - o *kõrge* - keskmise ja kõrge liiklustihedusega teed (rohkem kui 500 sõidukit ööpäevas);
 - o *madal* - madala liiklustihedusega teed (vähem kui 500 sõidukit ööpäevas)

Lähtudes eeltoodud tingimustest saab valida sobiva geotekstiili spetsifikatsiooniprofiili (tabel 1.5).

Tabel 1.4

Geosünteedide omadusnäitajate väärtused spetsifikatsiooniprofiilidesse jaotamisel [13]

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

Tabel 1.5

Spetsifikatsiooniprofiili valik [13]

Aluspinnas	Ehitus-tingimused	Liiklus-sagedus	Maksimaalne täitematerjali terasuurus D_{max} (mm)			
			$D_{max}<60$	$60<D_{max}<200$	$200<D_{max}<500$	$D_{max}>500$
Pehme	Tavaline	Kõrge	3	4	3	5
		Madal	3	4	3	5
	Soodne	Kõrge	3	3	4	5
		Madal	2	3	4	4
Kõva	Tavaline	Kõrge	2	3	3	4
		Madal	2	2	3	3
	Soodne	Kõrge	2	2	3	3
		Madal	2 (1*)	2	2	3

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

1.2.1.2. Saksa geotekstiilide klassifikatsioonisüsteem

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

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

Erinevat tüüpi geotekstiilide tugevusklasside nõutud punktugevuse, tõmbetugevuse ja pinnaühiku massi väärtused (95%-line tõenäosus) on esitatud tabelis 1.6.

Tabel 1.6

Geotekstiilide tugevusklassidesse jaotamine [16]

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

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

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

1.2.1.2.1. Paigalduspingete klassifitseerimine

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

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

Tabelis 1.7 on esitatud geotekstiilide katmiseks kasutatava täitematerjali klassifikatsioon.

Tabel 1.7

Täitematerjali klassifikatsioon [16]

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

Praktikas esinevad kõrvalekalded tabelis 1.7 antud klassifikatsioonist:

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

Koormuste hindamisel vaadeldakse geotekstiilile paigaldamisel ja ehitustööde käigus mõjuvaid koormuseid. Tabelis 1.8 on esitatud geotekstiilile mõjuvate koormuste neli alaliiki. [16]

Tabel 1.8

Koormuste klassifikatsioon [16]

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

1.2.1.2.2. Täitematerjali ja koormuste klasside kombinatsioonil sobiva geotekstiili spetsifikatsiooniprofiili leidmine.

Konkreetsesse situatsiooni sobiva geotekstiili valimiseks ehitusobjektile kasutatakse tugevusklassidele vastavaid spetsifikatsiooniprofiile (tabel 1.6). Teades konstruktsioonis kasutatavat täitematerjali ning ehitamise käigus tekkivaid koormusi, leitakse täitematerjali tüübi (tabel 1.7) ja koormuste liigi (tabel 1.8) klass. Nende alusel määratakse tabelist 1.9 sobiv geotekstiili tugevusklass GRK.

Tabelis 1.9 esitatud täitematerjali (AS) ja koormuste (AB) klasside kombinatsioonidele vastavad geotekstiilide stabiilsusklassid.

Tabel 1.9

Geotekstiili stabiilsusklassi määramine [16]

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

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

1.2.2. Geosünteedide kasutamine tugevdamiseks

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

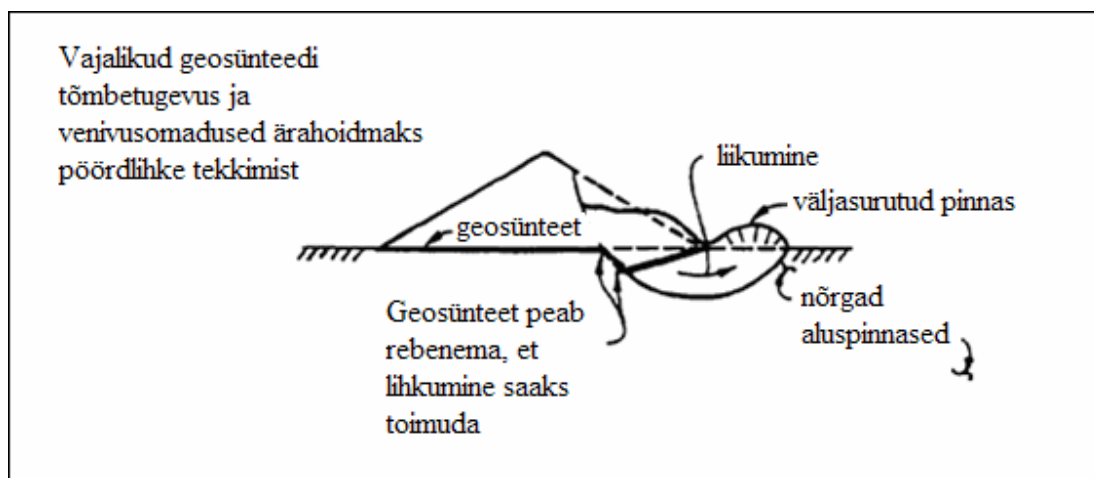
Savikatele ja teistele nõrkadele aluspinnastele ehitatud muldes kahjustuste tekkimine ja purunemine on peamiselt põhjustatud kolmest erinevast sündmusest [3]:

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

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

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

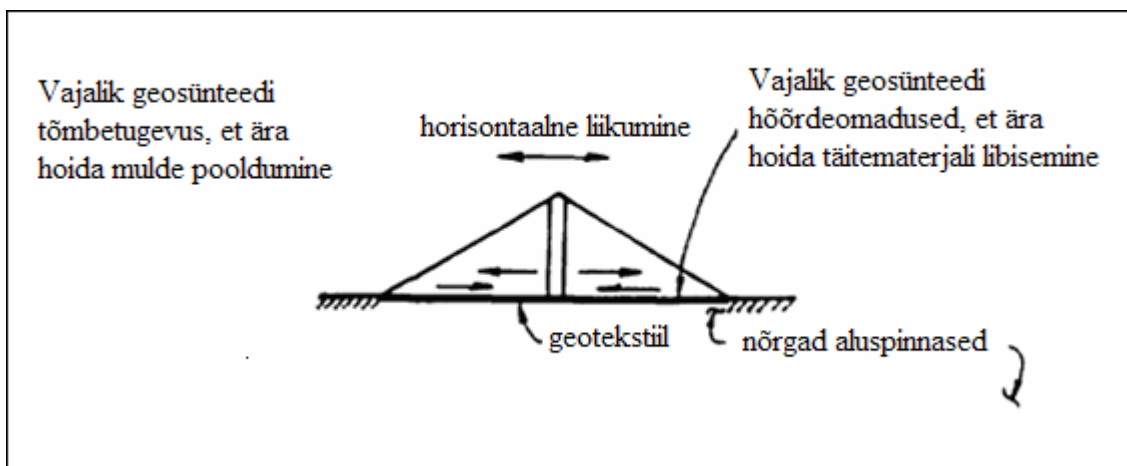
Ehitades mullet puistematerjalidest, millel puudub nidusus (c), ja projekteerides nõlvad laugemad kui puistematerjali sisehõõrdenurk (f), saab armeeritud muldkehas tekkida silindriline lihe vaid läbi aluspinnase ja geosünteedi, seega peavad kasutataval geotekstiilil olema küllaldased tõmbetugevusomadused. Kuna geosünteedidel puudub paindetugevus, siis tuleb ta projekteerida konstruktsiooni nii, et kriitiline kaar läbiks tema pinda (joonis 1.17) [3].



Joonis 1.17 Armeeritud mulde ja aluspinnase purunemine mööda silindrilist lihkepinda [3]

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

Muldkeha horisontaalset libisemist ning selle tulemusena tema laialivajumist põhjustavad jõud on tingitud mulde kõrgusest, oma mõju avaldavad ka nõlvakalded ning täitematerjali omadused. Seda tüüpi purunemine tekib muldkeha taldmikuosas seal indutseeritud horisontaaljõudude mõjul, kus seoses aluspinnase nõrkade omadustega ei teki tasakaaluks piisavaid mulde-aluse vahelisi hõõrdejõude. Kasutades muldetaldmiku ja aluspinnaste vahel geosünteeite, suurendatakse laialisuruvate horisontaaljõudude vastu mõjuvaid jõude (joonis 1.18).



Joonis 1.18 Mulde purunemine seoses horisontaalsete jõududega tema taldmikus [3]

Antud olukorras võib geosünteedidega armeeritud muldkeha stabiilsusele kriitiliseks osutada:

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

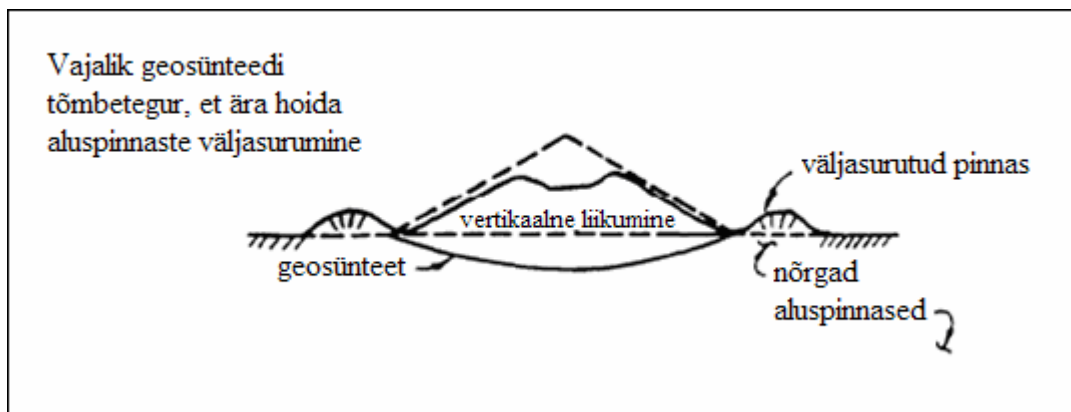
Et vältida eelloetletud tingimustest tulenevat armeeritud muldkeha purunemist, peab projekteerima vastavasse alus- ja täitepinnaste situatsiooni sobiva geosünteedi, millel oleks piisav tõmbetugevus ning venivus- ja hõõrdeomadused.

Armeeritud mulde aluse vertikaalse nihkumise tekkimisel on kaks põhjust:

- mulle ehitatakse kõrge ning liiga järskude nõlvadega (geotekstiilil ei ole piisavalt hõõrdepinda täitematerjaliga vajalike koormuste vastuvõtmiseks);

- tugevdamiseks kasutatava geotekstiili servad pole tekkiva koormuste jaoks piisavalt ankurdatud.

Ehitades muldkeha savikatele pinnastele, kasutades klassikalisi meetodeid, toimub aluspinnastele kanduva koormuse tulemusel neis konsolidatsiooniprotsess, kus pinnasekihtidest väljuva molekulaarvee tõttu nad tihenevad ning muutuvad tugevamaks. Samasugune protsess toimub ka geosünteedidega armeeritud mulde ehitamisel, kuigi siinkohal on tekkivad vajumid ühtlasemad. Projekteerimise käigus tuleb arvestada, et pehmetele aluspinnastele ehitatav mulle võib puruneda seoses aluspinnaste väljasurumisega kaasneva kogu mulde ristlõike vajumisega (joonis 1.19). Viimane on tingitud asjaolust, et konsolidatsiooni protsess pole jõudnud veel alata ning aluspinnastele kantava koormuse tulemusel neis kasvava poorveerõhu tõttu, on nad muutunud üliplastseteks. Siinkohal osutub vajalikuks piisavate tugevusomadustega geosünteedi kasutamine, armeeritud muldkeha on ühtne ja seega ei lase purunemisel tekkida [3].



Joonis 1.19 Armeeritud mulde aluse vertikaalne nihkumine [3]

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

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

1.2.2.1. Geosünteedi arvutus silindrilisele lihkele

Alustades uue muldkeha projekteerimist tuleb teostada mitmeid eelmainitud tasakaaluanalüüse, milledest üheks on ka mulde stabiilsuse kontroll tema purunemisele mööda silindrilist lihkepinna. See meetod kaasab endas kriitilise lihkepinna leidmist ja läbi



- pinnaste nihke tugevus ja geosünteedi tõmbetugevus rakenduvad konstruktsioonis

1 9 9 1

Lihke tekkimist valitud pinnal takistavad hõõrde- ja kohesioonijõud, seega lihele vastutöötav jõud H_i :

$$H_i = N_i \tan j_i + c_i l_i \quad [kN] \quad (1.2)$$

$$N_i = Q_i \cos a_i \quad [kN] \quad (1.3)$$

$$H_i = Q_i \cos a_i \tan j_i + c_i l_i \quad [kN] \quad (1.4)$$

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

$$M_{lihe} = R \sum_1^n T_i \quad [kNm] \quad (1.5)$$

$$M_{lihe} = R \sum_1^n Q_i \sin a_i \quad [kNm] \quad (1.6)$$

Ja lihele vastutöötav moment M_{vastu} vastavalt:

$$M_{vastu} = R \sum_1^n H_i \quad [kNm] \quad (1.7)$$

$$M_{vastu} = R \sum_1^n (Q_i \cos a_i \tan j_i + c_i l_i) \quad [kNm] \quad (1.8)$$

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

$$k_{lihe} = \frac{M_{vastu}}{M_{lihe}} = \frac{R \sum_1^n (Q_i \cos a_i \tan j_i + c_i l_i)}{R \sum_1^n Q_i \sin a_i} \geq 1,2 \dots 1,4 \quad (1.9)$$

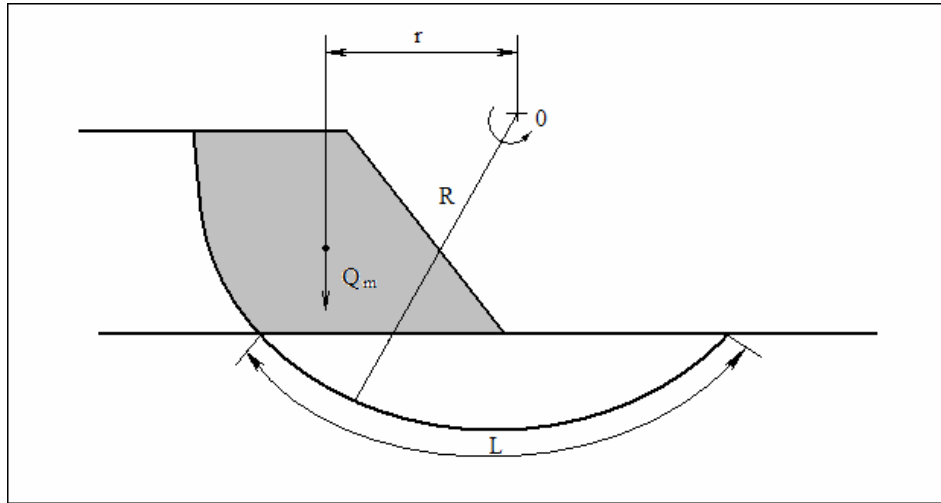
Kuna arvutuskäigu alguses valitakse suvaline silindriline pind, siis esialgne valitud pind ei pruugi olla võimalikes variantidest kõige ohtlikum. Seega tuleb kriitilise ringsilindrilise lihepinna leidmiseks korrata sama arvutuskäiku valides erinevaid raadiuse R ja punkti 0 asukohti. Edaspidistes sobiva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

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

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

Vastavate momentide arvutamiseks kasutatakse lihtsustatud valemeid. Lihet põhjustavad jõud tulenevad muldes kasutatava täitepinnase kaalust Q_m , mis mulde stabiilsuse kadumise korral liiguvad mööda kriitilist kaart. Tekitav moment M_{lihe} saadakse korrutades eelmainitud pinnase kaal Q_m jõuõlaga r , mis antud juhul on ringsilindrilise lihepinna keskpunkti ja lihkua pinnasemassi raskuskeskme horisontaalne vahekaugus (joonis 1.21):

$$M_{lihe'} = Q_m \cdot r \quad [kNm] \quad (1.10)$$



Joonis 1.21 Geosünteedi tõmbetugevuse arvutamiseks vajalikud parameetrid [14]

Lihke tekkimist takistavad vastujõud on tingitud nõrkade (savikate) aluspinnaste nihketugevusomadustest. Seoses lihkumise eel mulde pinnas tekkivate pragude nõrgendavale mõjule, jäetakse ohutuse mõttes geosünteedi projekteerimisel arvestamata täitematerjalide enda omaduste poolt tekitatavad vastujõud. Seega vastumoment $M_{vastu'}$ on võrdeline aluspinnase nihketugevuse t ja aluspinnaseid läbiva silindrilise lihkpinna kaare pikkuse L (joonis 1.21) korrutisega:

$$M_{vastu'} = t \cdot L \cdot R \quad [kNm] \quad (1.11)$$

Kuna eeldatavasti on tegu savikate aluspinnastega, mille sisehõõrdenurk f on võrdne nulliga ja niidus c on nullist erinev suurus, siis antud juhul nihketugevus võrdub:

$$j = 0 \text{ ja } c \neq 0$$

$$t = s_a \tan j + c = c \quad [kN/m^2 \text{ ehk } kPa] \quad (1.12)$$

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

$$M_{vastu'} = c \cdot L \cdot R \quad [kNm] \quad (1.13)$$

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

$$M_{text} = T_{text} \cdot R \quad [kNm] \quad (1.14)$$

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

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

$$M_{vastu'} + M_{text} = M_{lihe'} \quad (1.15)$$

Saadud tasakaalutingimuses (1.15) on geosünteedi tõmbetugevus tundmatuks suuruseks, lisades võrrandile varuteguri k_t , avaldub tõmbetugevus järgmiselt:

$$M_{vastu'} + M_{text} = k_t \cdot M_{lihe'} \quad (1.16)$$

$$t \cdot L \cdot R + T_{text} \cdot R = k_t \cdot Q_m \cdot r \quad (1.17)$$

$$T_{text} = k_t \frac{Q_m \cdot r}{R} - t \cdot L \quad [kN] \quad (1.18)$$

Võttes varuteguriks 1,3 ja arvestades, et aluspinnaste puhul on tegemist savikate materjalidega, mille sisehõõrdenurk on võrdne nulliga, saab valemist (1.18) avaldada geosünteedi tõmbetugevuse:

$$T_{text} = 1,3 \cdot \frac{Q_m \cdot r}{R} - c \cdot L \quad [kN] \quad (1.19)$$

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

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

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

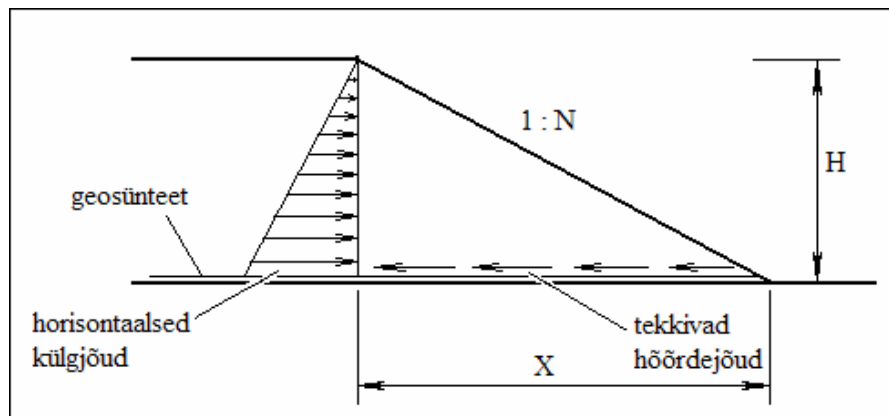
Nendest deformeerumise põhjustest tulenevalt, ei tohiks rajada uuele muldele koheselt püsikatet. Vaid kui vähegi võimalik, peaks kuus kuud kuni aasta hoidma püsikatteta muldkeha ekspluatatsioonis, et saaks vähesel täitematerjali lisamisega ja uuesti profileerimisega kõrvaldada tekkinud vajumised ning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

1.2.2.2. Armeeritud muldkeha kontroll täitematerjali libisemisele

Mulde püsivuse säilitamiseks on üheks tähtsaks kriteeriumiks ka täitematerjali ja aluspinnase vaheline haare. Püsivus on tagatud, kui mulde omakaalust taldmikku indutseeritud horisontaalsed külgjõud on tasakaalus täitematerjali ja aluspinnase vahel olevate hõõrde- ja nakkejõududega (joonis 1.22).

Projekteerides geosünteedidega armeeritud muldkeha, tuleb seoses aluspinnaste halbade omadustega (märjad, kohesiivsed ehk savikad materjalid), jätta arvestamata geosünteedi ja aluspinnase vahelised libisemist takistavad jõud. Seega peab geosüntee oma

tõmbetugevusega suutma vastu võtta, täitematerjali ja sünteedi vaheliste hõõrdejõudude kaudu, kõik mulde taldmikusse indutseeritavad horisontaaljõud [14].



Joonis 1.22 Mulde taldmikusse indutseeritud jõudude tasakaalu skeem [3]

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

$$F_k = 0,5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_H \text{ [kN]} \quad (1.20)$$

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

$$K_H = \tan^2 \left(45 - \frac{j}{2} \right) \quad (1.21)$$

Seega on mulde taldmikus tekkivad resultantkülgjõud:

$$F_k = 0,5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{j}{2} \right) \text{ [kN]} \quad (1.22)$$

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

$$F_v = 0,5 \cdot \gamma \cdot N \cdot H^2 \cdot \tan j_{pg} \text{ [kN]} \quad (1.23)$$

Antud valemis (1.23) on tähistatud N -iga dimensioonitu nõlvaparameter (joonis 1.21) ning f_{pg} on geosünteedi ja täitematerjali vaheline hõõrdenurk:

$$N = \frac{X}{H} \quad (1.24)$$

Et taldmikusse indutseeritud külgjõudude tulemusel ei kaotaks mulle oma püsivust, peavad tekkivad jõud olema võrdsed. Lähtudes eeltoodud püsivustingimusest (1.22) ning (1.23) ja lisades varuteguri k_L , mille väärtus on soovitatavalt suurem kui 1,5, saab välja kirjutada tasakaaluvõrrandi:

$$k_L = \frac{F_v}{F_k} \geq 1,5 \quad (1.25)$$

Eeltoodud tasakaluvõrrandist saab avaldada täitepinnase ja geosünteedi vahelise hõõrdenurga valemi (kraadides):

$$j_{pg} = \tan^{-1} \left[\frac{k_L}{N} \cdot \tan \left(45 - \frac{j}{2} \right) \right] \quad (1.26)$$

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

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

$$T_{text} = k_L \cdot F_k \text{ [kN]} \quad (1.27)$$

Seega saab mittekohesiivsete täitematerjalide kasutamisel leida geosünteedi nõutava tõmbetugevuse järgnevalt:

$$T_{text} = 0,5 \cdot k_L \cdot g \cdot H^2 \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{j}{2} \right) \text{ [kN]} \quad (1.28)$$

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

1.2.2.3. Muldkeha vertikaalne deformatsioon

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

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

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

1.2.3. Geosünteeite kasutamine muldkeha drenimiseks ja filtreerimiseks

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

Mulde ehitamisel kasutatakse geosünteeite drenimise otstarbel peamiselt kolmel põhjusel:

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2.3.1. Geotekstiili ummistuskindlus

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2.3.2. Geotekstiili veeläbilaskvus (filtratsioonimoodul)

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

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

$$K_p = (D_{10})^2 \cdot 0,01 \text{ [m/s]} \quad (1.29)$$

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

$$K_{\text{text}} \geq M \cdot K_p \quad \text{[m/s]} \quad (1.30)$$

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

1.2.4. Geosünteedide paigaldamine mulde ehitamisel

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

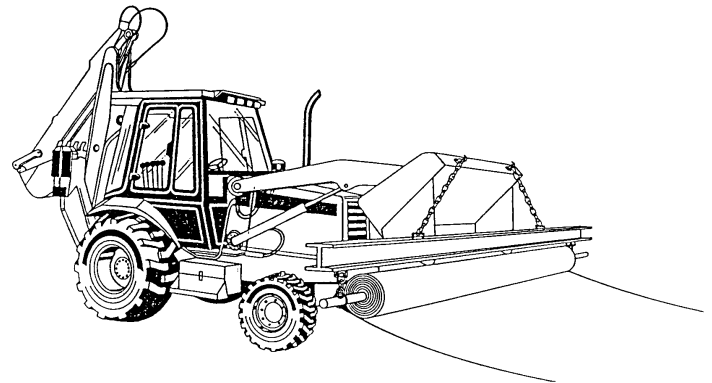
Geosünteedi rullide mahalaadimisel tuleb jälgida, et kattekile ei saaks vigastada. Mahalaadimine on soovitav teostada kahveltõstukiga, mille latid peavad olema võimelised kandma rulli raskust. Soovituslikult peab lati pikkus olema vähemalt kaks kolmandikku rulli laiusest, et vältida rulli keskmises oleva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

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

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

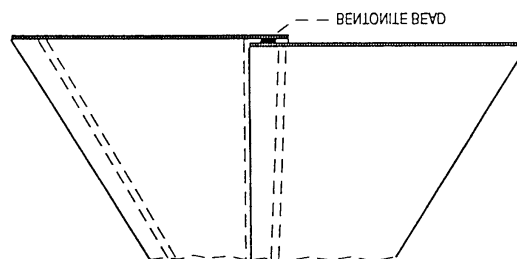
Kattekile eemaldatakse vahetult enne materjali kohale asetamist. Eelnevalt planeeritakse paigalduskoht, eemaldatakse kõik teravad või suured kivid, vältida tuleb geosünteedi

mehaanilist vigastamist ja aluspinnase segipöörast. Paigaldamine toimub käsitsi või ehitusmehhanisme kasutades (joonis 1.23). Geosünteeet laotatakse sirgelt (ilma voltideta) ning fikseeritakse, et vältida tuulest tingitud või täitematerjali paigaldamisel tekkivat nihkumist. Kinnitamiseks kasutatakse pinnasenaelu, täitepinnast või liivakotte.



Joonis 1.23 Geosünteeedi paigaldamine mehhanismidega

Geosünteeedi paanid tuleb laotada omavahelise ülekattega (joonis 1.24). Normaalsetes pinnasetingimustes on nõutavaks ülekatteks 30 cm. Kohtades, kus aluspinnas on väga pehme, tuleb kasutada suuremat ülekattet, mis on 50-100 cm, et tagada kõikjal nõutav ülekate ka peale täitematerjali paigaldamist. Vajadusel tuleb jälgida tootja antud juhiseid. Ülekate tuleb teostada vee voolamise või täitematerjali paigaldamise suunas. Juhul kui paigaldamise käigus on vigastatud geosünteeeti, see parandatakse, kasutades samast materjalist tehtud lappi. Paranduslapp peab ületama kahjustatud kohta igas suunas vähemalt 30 cm võrra [10, 12].



Joonis 1.24 Geosünteeedi paigaldamine ülekattega

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

Täitematerjaliga katmisel välditakse mehhanismide liikumist otseselt geosünteeedi peal. Täitematerjali planeerimisel ja tihendamisel ei tohi vigastada geosünteeeti, seetõttu on soovitatav kasutada väikse erisurvega ehitusmasinaid. Minimaalne paigaldatav kihipaksus on 20-30 cm

ja soovituslik maksimaalne terasuurus on väiksem 1/3 kihi paksusest. Esmase kihi tihendamisel ei ole lubatud kasutada vibrotihendamist [10]. (Joonis 1.25).



Joonis 1.25 Mineraalmaterjali laotamine geovõrgule

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

1.3. AASHTO KATENDI ARVUTUSMEETOD [24, 25]

AASHTO projekteerimismeetod kasutab kolme parameetrite gruppi:

I Projektsuurused

Analüüsiperiood on aeg, mille jooksul võetakse arvesse kõik remondid ja antakse majanduslik hinnang. Analüüsiperiood oli varem tavaliselt 20 aastat, viimasel ajal soovitatakse märksa pikemat (tabel 1.10).

Tabel 1.10

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

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

Kumulatiivne liikluskoormus määratakse 8-tonnisest normkoormusest. Kui kasutusperiood on võrdne analüüsiperioodiga, siis on vaja ainult kumulatiivset liikluskoormust. Kui

kasutusperiood on analüüsiperioodist lühem, siis on vaja määrata kumulatiivse liikluskoormuse sõltuvus ajast.

Usaldusväärsus (reliability level) on tõenäosus, et liikluskoormus ei ületa vähima tarvituskõlblikkuse taseme arvutamisel eeldatud koormussagedust. Usaldusväärsuse taseme määrab projekteerija kogemuslikult (tabelid 1.11 ja 1.12).

Tabel 1.11

Soovitav usaldusväärsuse tase

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

Tabel 1.12

Usaldusväärsuse ja standardhälbe normi vaheline seos

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

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

II Teenindustaseme indeks

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

Elastsetel katenditel arvutatakse teenindustaseme indeks valemiga

$$PSI=5,03-1,91\log(1+SV)-1,38RD-0,01v(C+P), \quad (1.31)$$

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

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

III Materjalide ja pinnase omadused

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

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

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

$$a_2 = 0,249 \log(E_{BS}) - 0,977, \quad (1.32)$$

kus E_{BS} -aluse elastsusmoodul.

Struktuurarv

$$SN = \sum a_i D_i, \quad (1.33)$$

kus a_i - kihitegur;
 D_i - kihi i paksus.

Niiskuse mõju võetakse arvesse drenaaži mõjuga (m) (tabel 1.13).

Tabel 1.13

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

Vajalik struktuurarv SN sõltub kumulatiivsest liikluskoormusest W_{18} .

$$\log(W_{18}) = Z_R(S_0) + 9,36 \log(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{2,7}\right)}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log(M_R) - 8,07 \quad (1.34)$$

1.3.1. AASHTO projekteerimismeetod geovõrgu kasutamisel

Geovõrgu kasutamise eesmärk on vähendada aluse paksust.

Geovõrguga armeeritud katendi struktuurarv

$$SN_r = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 LCR + a_3 D_3, \quad (1.35)$$

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

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

$$LCR = \frac{SN_r - \sum a_i D_i m_i}{SN_u - \sum a_i D_i m_i}, \quad (1.36)$$

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

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

$$LCR = 17,138 CBR^{-0,1246} - 29,514 CBR^{-0,0623} + 14,12 \quad (1.37)$$

kus CBR - aluspinnase kalifornia tugevustegur.

Teades geovõrgu kihiteguri suurust on võimalik arvutada aluse kihi paksus

$$D_2 = \frac{SN_r - \sum a_i D_i m_i}{LCR a_2 m_2} \quad (1.38)$$

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

$$N_8 = N_{10} \left(\frac{10}{8} \right)^4, \quad (1.39)$$

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

Kumulatiivne koormussagedus 15-le aastale:

$$\sum_{i=1}^{15} N_i = 365 N_1 \frac{(q^{15} - 1)}{(q - 1)}, \quad (1.40)$$

kus N_1 - koormussagedus ehitusaastal;
 q - koormussageduse kasvutegur.

Arvutusnäide geovõrgu esinemise mõjust killustikukihi paksusele:

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

Katendi dimensioneerimine

Katendikihid	Kihi paksus D		Kihitegur a	aD
	cm	toll		
TAB 12 I	6,5	2,6	0,44	1,13
PAB 16	13	5,2	0,34	1,76
Killustik	20	7,9	0,12	0,94
Jäme liiv	20	7,9	0,09	0,71
Turvas				
Kokku	60			4,54

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

Geovõrk

Katendikihid	Kihi paksus D		Kihitegur a	aD
	cm	toll		
TAB 12 I	6,5	2,6	0,44	1,13
PAB 16	13	5,1	0,34	1,74
Killustiku paksus ilma geovõrguta	20	7,9	0,12	0,94
Jäme liiv	20	7,9	0,09	0,71
Turvas				
Kokku	59,5			4,52
Geovõrgu kihitegur LCR (n. graafikult)	1,53		Sõltub aluspinnase CBR-ist (1.37)	
Killustiku paksus geovõrgu kasutamisel	13	5,3	$D_3 = (SN - a_1 D_1 - a_2 D_2 - a_4 D_4) / LCR / m_3$ (1.38)	

1.4. KOKKUVÕTE

Kokkuvõttes võib öelda, et maailmas on kasutusel väga lai valik erinevaid geosünteeete, mis on ette nähtud erinevate funktsioonide täitmiseks erinevates ehituskonstruksioonides ja nende osades, samuti ka teedehituses. Ka samaks otstarbeks kasutatavate geosünteedide omadused on erinevad. Geosünteedide tootjaid on maailmas kümneid, kellest vast Eestis on tuntumad Huesker Synthetics GmbH Saksamaalt (HaTelit^R), Tensar International Ltd. Inglismaalt (Tensar^R), Tenax USA-st (Tenax^R),

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

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

2. TEE MULDKEGA REMONDI PROJEKTEERIMINE

2.1. ÜLDIST

Muldkeha projekteerimisel, aga samuti ka muldkeha remondi projekteerimisel tuleb arvestada:

- maantee klassi,
- teekatendi tüüpi,
- mulde kõrgust ja süvendi sügavust,
- muldkeha- ja aluspinnaste omadusi ning
- ehitustingimusi,
- ehituspaikkonna looduslikke ja insenergeoloogilisi iseärasusi ning
- maanteede ehitamise, remondi ja hoolde varasemaid kogemusi.

Maantee ehitusgeoloogilised tingimused on määratud niiskuspaiikkonna tüübi (tabel 2.1), maapinna reljeefi, pinnaste omaduste ja geoloogilise, hüdroloogilise ning kliima omapäraga.

Tabel 2.1

Niiskuspaiikkonna tüübid [27]

Paik-konna tüübi nr.	Paik-konna tunnus	Paikonna tüübi kirjeldus
1.	Kuiv	Pinnavee äravool on tagatud; pinnasevesi on sügaval ega mõjuta kasvupinnase taimestikku. Pinnasteks on põhiliselt kruusliivad, liivad ja savikad liivad, kuid viimaste suhteline niiskus on alla $0,73W_L$. Kui mulde kõrgus on normides (tabel 2.2) nõutud vähimast kõrgusest vähemalt 1,5 korda suurem, on tegemist, sõltumata muudest asjaoludest, esimese paikkonnaga.
2.	Niiske	Pinnavee äravool pole ajuti tagatud; mille üheks tunnuseks on 0,003 lähedased, kuid suuremad sellest, maapinna looduslikud kalded. Esineb lühiajalist (alla 30 päeva) seisuvett. Pinnasvesi on külmumispiirist ainult vähe sügavamal ja mõjutab kasvupinnase niiskumist, mistõttu kasvavad niiskuslembelised taimed; võib esineda isegi pindmise soostumise tunnuseid. Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega alla $0,8W_L$. On võimalik piki- ja põikplaneerimisega ning kraavitamisega tee külgnevate alade niiskumist vähendada ja saavutada esimese paikkonna olukord. Kõik esimese paikkonna süvendid ja 0-profiilid (ka normidega ettenähtust madalamad muldkehad) kuuluvad teise paikkonda.
3.	Liig-niiske (märg)	Pinnavete äravool on raskendatud; esineb pikaajalist (üle 30 päeva) seisuvett. Maapinna lähedase pinnasevee tõttu esineb ilmseid soostumise tunnuseid. Pinnasevee tase on külmumispiirist kõrgemal. Peamiselt esinevad savikad pinnased suhtelise niiskusega üle $0,8W_L$. Paikkonna tüübi muutmine on võimalik ainult suureulatuslike kuivendustöödega. Kõik teise paikkonna tüübi süvendid ja normidega ettenähtust madalamad muldkehad kuuluvad kolmandasse paikkonda.

Märkus: W_L - voolavuspiir

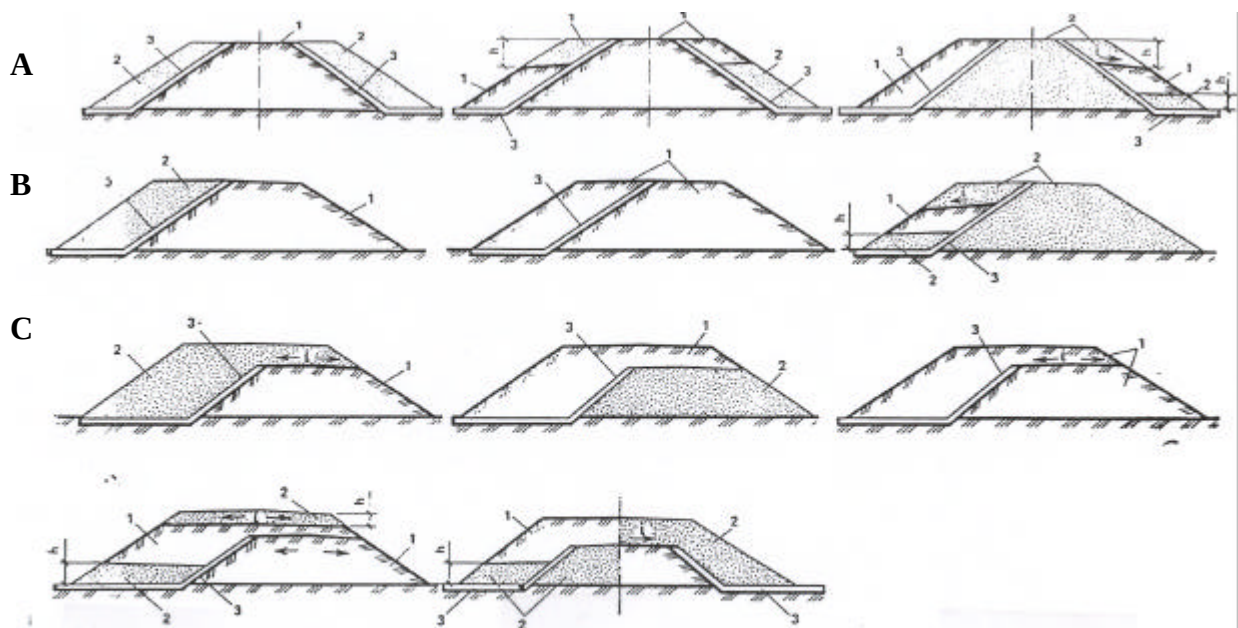
Muldkeha remondi projekteerimisel tuleb tagada muldkeha vajalik tugevus ja püsivus vähimate remondikuludega.

Kui vähegi võimalik, tuleb mulded rajada kogu muldkeha laiuses horisontaalsetest, ühtlastest pinnasekihtidest. Kihi paksus oleneb tihendamise meetoditest.. Tavaliselt õnnestub kogu mulde laiuste kihtide ehitamine ainult uute mullete ehitamisel. Olemasolevate mullete laiendamisel see tavaliselt ei ole võimalik ja tuleb täita allpool toodud eritingimusi. (Joonis 2.1).

Mulde nõlvade katmiseks kasutatavad pinnased ei tohi olla halvemini drenivad kui mulde pinnased. Halvemini drenivad pinnased tuleb asetada alumistesse kihtidesse, paremini drenivad ülemistesse. Erandiks on sellised mulded, mille alaosas peab olema dreniv kiht mulde kaitsmiseks pinnasevete ja kapillaarvete eest.

Dreeniva pinnase paigaldamisel mittedreenivale pinnasekihile peab allasuval kihil olema kalle teljest servade poole vähemalt 4 %. Mittedreeniva pinnase paigaldamisel drenivale (näiteks kapillaarniiskuse eest kaitsvale kihile mulde allosas) ehitatakse kokkupuutepind horisontaalsena.

Erinevate pinnaste korrapäratu puistamine muldesse on keelatud, sest selle tõttu võib mulde keskele moodustuda veekotte ja ülemised kihid võivad lihkuda mööda kallakulisi savikihte.



A – sümmeetriline laiendus, **B** – ühepoolne laiendus, **C** – pikiprofiili parandus

1 – siduspinnas, **2** – dreniv pinnas, **3** – eemaldatav kasvupinnas

h – pinnasekihi paksus, mis peaks olema suurem, kui antud pinnase kapillaartõus

Joonis 2.1 Erinevate pinnasetüüpide paigutus muldesse selle laiendamisel või pikiprofiili parandamisel

Olemasolevate mullete laiendamisel tuleb täita järgmisi tingimusi:

- Vanalt muldelt tuleb eemaldada mätas ja ehitada nõlv astmeliseks (astme laius vähemalt 1m ja kalle 10-20 % teest eemale). Liivaste pinnaste puhul astmeid ei tehta.
- Laiendamiseks kasutatav pinnas peab olema samasugune, kui vana mulde pinnas; pinnaste erinevuse korral peab juurdelisatav olema paremate drenivate omadustega.
- Olemasolevaid drenivatest pinnastest muldeid ei ole lubatud laiendada mittedreenivate pinnastega.
- Laiend tuleb ehitada horisontaalsete kihtidena ja need tihendada.
- Lõpetamata mullete pealispind tuleb enne pikaajalist töövaheaega hoolikalt tihendada ja tasandada sellise kaldega, mis tagaks vihmavete takistuseta äravoolu.
- Mullete, süvendite, kõigi kaitseehitiste ja veeviimarite nõlvad, mis on ehitatud pinnastest ja alluvad ilmastiku ning vete purustavale toimele, peavad olema kindlustatud.

Kui muldkeha materjal muutub või kui on vaja tasandada külmakerke, kandevõime või vajumiste erinevusi, peab ehitama siirdekiilud. Siirdekiilude lubatud kalded (1:n):

- Kiirteed, I klassi maanteed - 1:20
- II ja III klassi maanteed - 1:15
- IV ja V klassi maanteed - 1:10
- Jalgrattateed, jalgteed - 1:7
- Põhitänavad ja -teed lubatud sõidukiirusega 70...80 km/h - 1:15
- Põhitänavad ja -teed lubatud sõidukiirusega 50...70 km/h - 1:10
- Tänavad liiklussagedusega > 100 autot/tunnis - 1:10
- Tänavad liiklussagedusega = 100 autot/tunnis - 1:7

Siirdekiilu pikkus leitakse seosest $L = n \times S$, kus: L – siirdekiilu pikkus m; n – siirdekiilu kalde pöördarv; S – kihi paksus (m).

Muldkeha aktiivtsooni ja katendi tugevuse tagamiseks peab teekatte pinna vähim kõrgus vastama tabelile 2.2.

Tabel 2.2

Teekatte pinna vähimad kõrgused [27]

Aktiivtsooni pinnas	Maanteetarindi vähim kõrgus, m
Kruus, jämeliiv, keskliiv	$\frac{0,8}{Ei\ normita}$
Peenliiv, möllikas ja savikas liiv, möllikas ja savikas kruus	$\frac{1,1}{0,9}$
Mölline liiv ja kruus, savine liiv või kruus	$\frac{1,5}{1,2}$
Möll, savi	$\frac{2,2}{1,6}$
Möllsavi, savimöll	$\frac{2,4}{1,8}$

Märkused:

1. Lugejas on teekatte pinna vähim kõrgus pinnasevee või pikaajalise (>30 ööpäeva) seisuvee tasemest. Nimetajas on sama kõrgus maapinnast aladel, kus ei ole tagatud pinnavee äravool, või lühiajalise (<30 ööpäeva) seisuvee tasemest.

2. Pinnasevee arvutuslikuks tasemeks tuleb võtta katendi remontidevahelisel perioodil esinev maksimaalne võimalik kevadine või sügisene (külumiseelne) tase. Pinnasevee arvutuslik tase tuleb määrata väliuuringutel.
3. ühe sõidurajaga VI klassi kruusatee, mille kasutamist ebasoodsal aastaajal ajutiselt piiratakse, mulde kõrgus võib olla väiksem [tabelis 2.2](#) toodust

Teekatte pinna vähima kõrguse nõudeid võib mitte arvestada, kui muldkeha aktiivtsooni tugevuse ja püsivuse tagamiseks või katendi tugevdamiseks on kasutatud järgmisi meetmeid:

- külmatõrjekihhi rajamine;
- muldkeha vee-soojusrežiimi reguleerimine hüdroisolatsiooni-, soojusisolatsiooni-, dren- või kapillaare katkestavate kihtidega;
- aktiivtsooni pinnaste tugevdamine ja parendamine sideainete jt lisandite kasutamisega;
- armeeritud kihtide kasutamine;
- pinnaseveetaseme alandamine drenaaži abil;
- muldkeha eriristprofiilide kasutamine, kaitsmaks teda pinnavee eest (lamedad nõlvad, perved).

Kui aktiivtsoonis on erinevaid pinnaseid, tuleb katendi (teekatte pinna) kõrgus määrata külmakindla katendi arvutuse või külmakerke ohtlikema (vastavalt [joonis 2.3](#)) pinnase lõimise järgi.

Aktiivtsooni ülemises osas on soovitatav kasutada drenivaid pinnaseid, mille filtratsioonimoodul standardse *Proctorteimi* maksimaaltihedusel on vähemalt 0,5 m ööpäevas. Tsementbetoonkatete pinnast vähemalt 1,2 m sügavuseni ja asfaltkatete puhul vähemalt 1 m sügavuseni peab pinnas olema külmakindel.

2.2. PINNASED

2.2.1. Pinnaste klassifikatsioon

Teede projekteerimisel ja ehitamisel on pinnaste klassifitseerimine seotud muldkeha püsivusega s.h. külmakindlusega ja teekatendi arvutamisega. Järgnevas arutelus on välja jäetud mullete vajumise probleem ja põhiliselt käsitletakse mulde külmakindlust ning kandevõimet.

Praegusel hetkel on teedeinseneridel igapäevatöös kasutusel põhiliselt GOST 25100-95 [30] või ka sama normi 82. aasta variant [29]. Viimasel põhineb ka Elastsete tänavakatendite projekteerimise metoodika 2001-52. Maanteede projekteerimismid (TSM määrus nr 55 28.12.1999) lähtub Eesti projekteerimismid EPN-ENV7.1 lisast 9 [31]. Seni kinnitamata ja korrigeerimata Maanteede projekteerimismid eelnõu kasutab EVS-EN ISO 14688-1:2002 (pinnaste identifitseerimine ja kirjeldamine) [32] ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 [33]. Vahepeal on asi edasi nihkunud ja Eestis kehtib ka EVS-EN ISO 14689:2004 (kaljupinnaste identifitseerimine ja kirjeldamine) [34]. ([Tabel 2.3](#)).

EPN-ENV 7.1 lisa 9 ja EVS-EN ISO standardid on oma ülesehituselt sarnased ja klassifitseerivad pinnase terakoostise järgi ja edasi täpsustatakse omadusi ([tabelid 2.4](#) ja [2.5](#)). Terakoostise määramisel on EN standardites ettenähtud sõelad vastavalt ISO 3310-1 ja ISO 3310-2 (vastavalt punutud ja perforeeritud sõelad). Need erinevad Eesti

projekteerimisnormide omast vähe. Sõltel, millel projekteerimisnormides on ava mõõdus number kuus on ISO standardis kuue järel veel kolm (näiteks 0,06 ISO 0,063).

Tabel 2.3

Valik pinnaste ja teematerjalidega seotud normidest

Tähis	Pealkiri	Alapealkiri
GOST 25100-95	Gruntõ	Klassifikatsija
EPN-ENV 7.1 lisa 9:1998	Geotehniline projekteerimine	
EVS-EN ISO 14688-1:2002	Geotechnical investigation and testing- Identifications and classification of soils	Identification and description
EVS-EN ISO 14688-2:2004	Geotechnical investigation and testing- Identifications and classification of soils	Principles for a classification
EVS-EN ISO 14689:2004	Geotechnical investigation and testing- Identifications and classification of rock	Identification and description
ISO 3310-1	Test sieves- Technical requirements and testing	Test sieves of metal wire cloth
ISO 3310-2	Test sieves- Technical requirements and testing	Test sieves of perforated metal plate
EVS-EN 13286-43:2002	Unbound and hydraulically bound mixtures	Test method for the determination of the modulus of elasticity of hydraulically bound mixtures
EVS-EN 13043:2002	Asfaltsegude ning teede, lennuväljade ja muude liiklusalade pindamiskihtide täitematerjalid Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments roads and other trafficked areas	
EVS-EN 13242:2003	Ehitustöödel ja tee-ehituses kasutatavate sidumata ja hüdrauliliselt seotud materjalide täiteained Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction	
EVS-EN 13285:2003	Unbound mixtures- Specifications	
prEN 12271-2	Surface dressing- Specifications	Chippings
EVS EN 12591:2000	Bitumen and bituminous binder. Specifications for paving grade bitumens	
EVS-EN 13357:2003	Bitumen and bituminous binders - Determination of the efflux time of petroleum cut-back and fluxed bitumens	
EVS-EN 12595:2000	Bitumen and bituminous binders - Determination of kinematic viscosity	
EVS-EN 12596:2000	Bitumen and bituminous binders - Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary	
EVS-EN 12597:2001	Bitumen and bituminous binders - Terminology	
EVS 653:1994	Teedeehituse põlevkivibituumenid	

Neis dokumentides jagatakse pinnased 4 rühma: kaljupinnas, jämedateraline pinnas (kruus, liiv), peeneteraline (möll, savipinnas) ja eripinnased (turvas, muda jne). EPN-ENV 7.1 lisa 9 järgi jagunevad pinnased tera suuruse fraktsioonideks (tabel 2.4).

EVS-EN ISO 14688-1:2002 pinnase jaotus terasuuruse järgi on sarnane, juurde on tulnud suured rahnud ja fraktsiooni nimetused ning juba eespool juttu olnud sõelte läbimõõdud (tabel 2.5).

Tabel 2.4

Pinnase terasuuruse klassifikatsioon vastavalt EPN-ENV 7.1 lisa 9

Fraktsioon	Alafraktsioon	Osakeste suurus, mm
Rahnud		>200
Veerised		60...200
Kruusaterad	Kruusa jämeterad	20...60
	Kruusa keskterad	6...20
	Kruusa peenterad	2...6
Liivaterad	Liiva jämeterad	0,6...2
	Liiva keskterad	0,2...0,6
	Liiva peenterad	0,06...0,2
Mölliosakesed	Mölli jämeosakesed	0,02...0,06
	Mölli jämeosakesed	0,006...0,02
	Mölli jämeosakesed	0,002...0,006
Saviosakesed		=0,002

Tabel 2.5

Pinnaseosakeste liigitus fraktsioonideks terasuuruse järgi vastavalt EVS-EN ISO 14688-1:2002

Fraktsioon	Alafraktsioon	Rahvus-vaheline tähis	Osakeste suurus, mm
Väga jäme pinnas	Suured rahnud	LBo	>630
	Rahnud	Bo	>200 kuni 630
	Veerised	Co	63 kuni 200
Jäme pinnas	Kruus s.h.	Gr	>2 kuni 63
	Jämekruus	CGr	20 kuni 63
	Kesk kruus	MGr	6,3 kuni 2,0
	Peen kruus	FGr	2 kuni 0,63
	Liiv s.h.	Sa	>0,063 kuni 0,2
	Jämeliiv	CSa	0,63 kuni 0,2
	Keskliiv	MSa	0,2 kuni 0,063
	Peenliiv	FSa	0,063 kuni 0,02
	Möll s.h.	Si	>0,002 kuni 0,063
Peen pinnas	Jämemöll	CSi	0,02 kuni 0,063
	Keskmöll	MSi	0,0063 kuni 0,02
	Peenmöll	FSi	0,002 kuni 0,0063
	Savi	Cl	=0,002

Olulised on fraktsiooni rahvusvahelised nimetused ja nende lühendid: Boulder (Bo), Cobble (Co), Gravel (Gr), Sand (Sa), Silt (Si), Clay (Cl). Terasuuruse lühend peab olema suure tähega: L - Large, C - Coarse, M - Medium, F - Fine.

Enamasti on pinnaste puhul tegemist erinevate terasuuruste kombinatsiooniga. Sellisel juhul tähistatakse põhifraktsioon nimisõnaga ja teine väikse tähega tähistatud omadussõnaga. Näiteks sandy clay = saCl - liivane savi, gravelly coarse silt = grCSi - kruusane jämemöll, coarse gravelly coarse silt = cgrCSi – jämekruusane jämemöll. Kui kaks fraktsiooni on esindatud ligikaudu võrdsel määral, tähistatakse need kaldkriipsuga eraldatud suurte tähtedega. Näiteks fine cravel/sand = FGr/Sa - peenkruus/liiv.

Pinnased milles on veeriseid ja rahne alla 40% jagunevad EPN-ENV7.1 lisa 9 järgi jämeteralisteks ja peeneteralisteks pinnasteks.

Tabel 2.6

Pinnase liigitus EPN-ENV7.1 lisa 9 järgi

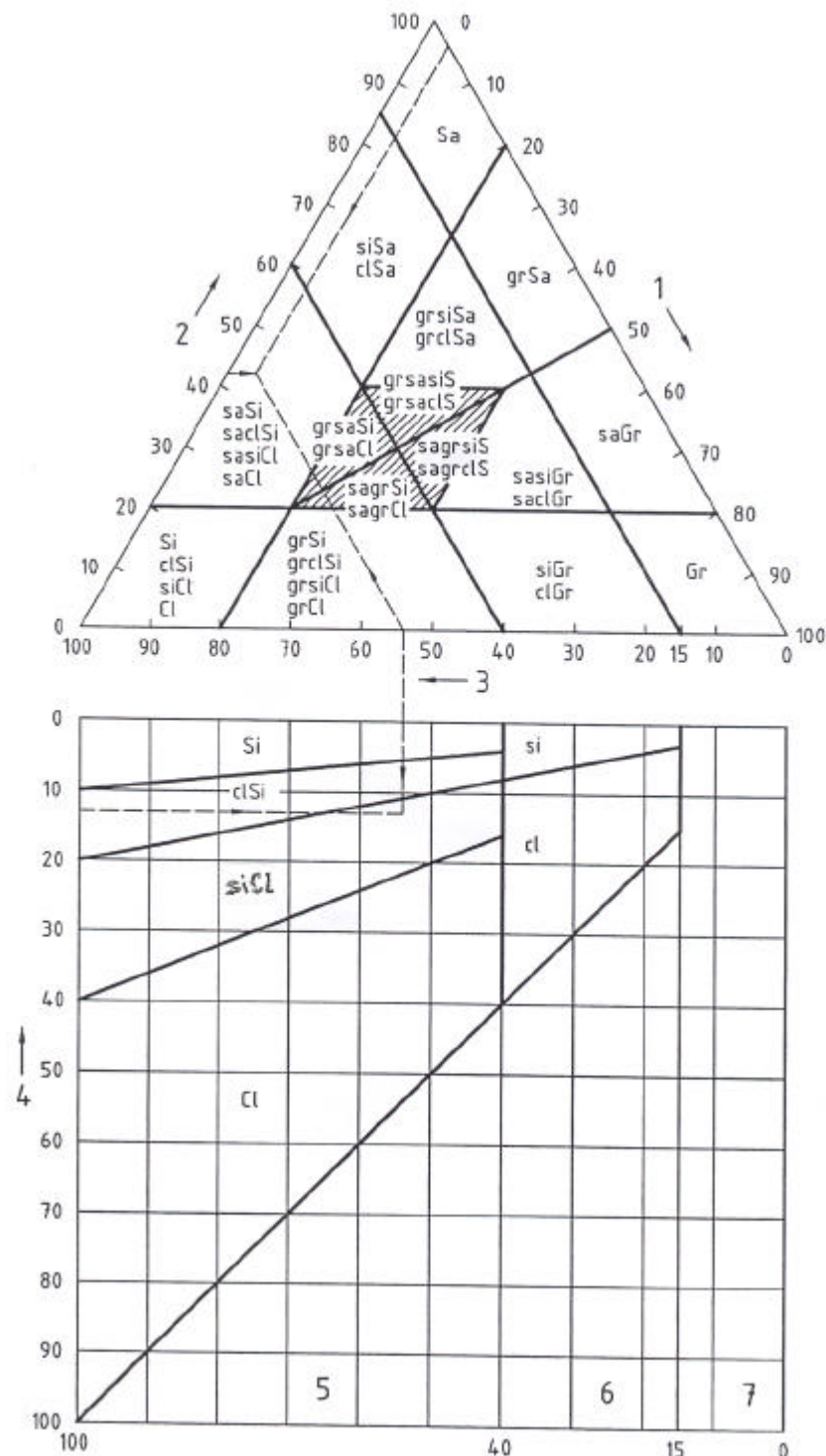
Rühm	Liik	Alaliik	Peeneosisisaldus <0,06 mm, %	Sauesisaldus peenosises <0,002/ <0,06 mm, %
Jämedateraline pinnas (jämepinnas) <0,06 mm =40%	Kruuspinnas 2–60 mm >50%	Kruus	<5	
		Möllikas kruus	5–15	<20
		Savikas kruus		=20
		Mölline kruus	>15–40	<20
		Savine kruus		=20
	Liivpinnas 0,06–2 mm >50%	Liiv	<5	
		Möllikas liiv	5–15	<20
		Savikas liiv		=20
		Mölline liiv	>15–40	<20
		Savine liiv		=20
Peeneteraline pinnas (peenpinnas) <0,06 mm >40%	Möllpinnas <0,002/<0,06 mm =20%	Möll	>40	<10
		Savimöll		10–20
	Savipinnas <0,002/<0,06 mm >20%	Möllsavi		>20–40
		Savi		>40

Märkused:

1. Alaliigi põhinimetuste «kruus», «liiv», «möll» ette võib lisada enam esineva alafraktsiooni nimetuse (jäm-, kesk-, peen-), nt peenliiv, savikas jämeliiv, mölline peenliiv.
2. Lisanimetused kruusa- või liivafraktsiooni sisalduse alusel, kui see ei kajastu juba pinnase nimetuses: 10 kuni 25% – lisatakse täiendsõna «kruusaga» või «liivaga», 25 kuni 50% – «rohke kruusaga» või «rohke liivaga», nt rohke liivaga savimöll, kruusaga mölline liiv.
3. Jämedateralist pinnast võib jaotada lõimiseteguri $C_U = d_{60}/d_{10}$ ja jaotusteguri $C_C = d_{30}^2/d_{10}d_{60}$ järgi: ühtlane, kui $C_U < 6$ ja $1 < C_C < 3$; ebahütlane, kui $C_U = 6$.
4. Peeneteralist pinnast ja jämedateralise pinnase väiksemad kui 0,425 mm osakesi jaotatakse ka plastsusomaduste järgi, vt EPN-ENV 7.1 lisa 9 punkt 5.

Tabelis on ebatäpsus. Ei ole märgitud kruus ja liivpinnase eraldamisel, millest võetakse 50 %. Kui kogumassist, siis mis pinnas on 2...60 mm 40 %, 0,06...2 40 % ja alla 0,06 20 % sisaldav pinnas. Peaks olema jämepinnas (0,03...60 mm 80 %), kuid nii liiva kui ka kruusa on alla 50 %. Teises veerus peaks olema 50 % järel sõnad jämefraktsioonist.

Standardis EVS EN ISO 14688-1:2002 on pinnase klassifitseerimise näitena esitatud kolmnurkdiagramm, kus on kõikvõimalike pinnasekombinatsioonide nimetused. Selles on arvestatud terakoostist, kuid mitte omadusi (joonis 2.2).



Joonis 2.2 Pinnaste jaotuskolmnurk nende klassifitseerimiseks (EVS EN ISO 14688-1:2002)

Pinnased milles on veeriseid ja rahne alla 40 % jagunevad EVS EN ISO 14688-1:2002 ja EN ISO 14688-2:2004 alusel jämeteralisteks ja peeneteralisteks pinnasteks, mis liigitatakse

terakoostise, loodusliku oleku ja orgaaniliste ainete sisalduse järgi. Otse sellist tabelit standardites pole, kuid seal olevad nõuded on paigutatud EPN sarnasesse tabelisse (tabel 2.7).

Tabel 2.7

Pinnaste liigitus EVS EN ISO 14688-1:2002 ja EVS EN ISO 14688-2:2004 alusel

Rühm	Liik	Alaliik	Peeneosise -sisaldus <0,063mm %	Savi sisaldus peenosises <0.002/<0.06 3 mm %	Tähis
Jämeda- teraline pinnas (jämepepinna) <0,063mm ≤ 40%	Kruuspinna 2-63mm >50% jämefraktsioonist	Kruus	<5		Gr
		Möllikas kruus	5-15	<20	Gr
		Savikas kruus		≥20	Gr
		Mölline kruus	>15-40	<20	siGr
		Savine kruus		≥20	clGr
	Liivpinna 0,063-2mm >50% jämefraktsioonist	Liiv	<5		Sa
		Möllikas liiv	5-15	<20	Sa
		Savikas liiv		≥20	Sa
		Mölline liiv	>15-40	<20	siSa
		Savine liiv		≥20	clSa
Peene-teraline pinnas (Peenpinna) <0,063mm >40%	Möllpinna <0,002/<0,063mm ≤ 20% peenfraktsioonist	Möll	>40	<10	Si
		Savimöll		10-20	clSi
	Savipinna <0,002/<0,06mm >20% peenfraktsioonist	Möllsavi		>20-40	siCl
		Savi		>40	Cl

Märkused:

1. Alaliigi põhinimetuste «kruus», «liiv», «möll» ette võib lisada enamesineva alafraktsiooni nimetuse (jäme-, kesk-, peen-), nt peenliiv, savikas jämeliiv, mölline peenliiv.
2. Lisanimetused kruusa- või liivafraktsiooni sisalduse alusel, kui see ei kajastu juba pinnase nimetuses: >20 kuni 40 % <63 mm mõõduga teri kogumassist– lisatakse täiendsõna «kruusane» või «liivane», nt liivane savimöll, kruusane mölline liiv.

Standardites on teise fraktsiooni vähese sisalduse tähistamiseks sõnad kergelt (näiteks kergelt savine), selles tabelis on kasutatud senist tähistust möllikas, savikas jne.

EPN alusel oli pinnas jaotatud lõimise- ja jaotusteguri väärtuste alusel vaid ühtlaseks ja ebaühtlaseks (tabel 2.6 märkus 3). EVS-EN ISO jagab nende näitajate alusel pinnased neljaks grupiks (tabel 2.8).

Tabel 2.8

Jämedateralist pinnast jaotus lõimiseteguri $C_U = d_{60}/d_{10}$ ja jaotusteguri $C_c = d_{30}^2/(d_{10}d_{60})$ järgi EVS-EN ISO 14688-1:2002 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004

Väga ebaühtlane	$C_U \geq 15$	$1 < C_c < 3$
Ebaühtlane	$C_U = 6$ kuni 15	$C_c < 1$
Ühtlane	$C_U =$ kuni 6	$C_c < 1$
Katkev	Tavaliselt suur	Mistahes (tavaliselt <0,5)

Peenpinnase alla 0,425 mm fraktsiooni kohta määratakse plastsusarvud Casagrande meetodil (I_{pC}) (EPN, EVS-EN ISO), GOST-i meetoodika põhineb nn. Vassiljevi meetodil, kus tera läbimõõt on <1mm (I_{pV}). Nende plastsusarvude vahel on seos

$$I_{pC} = 1,74 \cdot I_{pV} - 2,76. \quad (2.1)$$

Pinnase voolavuspiir on veesisaldus, mille juures pinnas muutub pehmest voolavaks. Voolavuspiir määratakse Casagrande meetodil, mis seisneb teatud niiskusega pinnase koputamises kuni vajub kinni sinna tõmmatud standardne vagu. Katset tehakse vähemalt kahe niiskussisaldusega ja graafikult leitakse niiskus, mille puhul tuleks koputada 25 korda. See ongi voolavuspiir. Ligikaudu võib voolavuspiiri arvutada valemiga

$$w_L = w_N \cdot (N/25)^{0,121}, \quad (2.2)$$

kus N on löökide hulk, kui niiskusesisaldus oli w_N .

Üleminekut poolkõvast olekust kõvasse tähistab rullpiir. Niiskest peenpinnasest rullitakse umbes 3 mm jämedusi rullikesi, kuni need hakkavad murenema. Sel hetkel määratud niiskuse sisaldus on rullpiir w_p . Voolavuspiiri ja rullpiiri vahet nimetatakse plastsusindeksiks või plastsusarvuks:

$$I_p = w_L - w_p. \quad (2.3)$$

Voolavusarv (I_L) ja konsistentsarv (I_C) iseloomustab pinnase plastsust mingil niiskussisaldusel w ja arvutatakse

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}; \quad (2.4)$$

$$I_C = \frac{w_L - w}{I_p} = \frac{w_L - w}{w_L - w_p}. \quad (2.5)$$

Tabel 2.9

Pinnaste jagunemine voolavuspiiri ja voolavusarvu järgi EPN-ENV7.1 lisa 9

Nimetus	Voolavuspiir w_L , %	Nimetus	Voolavusarv I_L , %
Väheplastne	<35	Kõva	<0
Keskplastne	35...50	Poolkõva	0...0,25
Väga plastne	>50...70	Sitke	>0,25...0,5
Uliplastne	>70	Poolpehme	>0,5...0,75
		Pehme	>0,75...1

EVS-EN ISO 14688-2:2004 oli antud pinnase klassifikatsioon voolavuspiiri ja plastsusarvu järgi, samuti ka konsistentsarvu järgi (tabel 2.10).

Tabel 2.10

Pinnatse jagunemine voolavuspiiri, plastsusarvu ja konsistentsarvu järgi EN ISO 14688-2:2004

Nimetus	Voolavuspiir w_L , %	Plastsusarv I_p	Nimetus	Konsistentsarv I_C
Mitteplastne		<12	Väga jäik	>1
Väheplastne	<30	12 kuni 25	Jäik	0,75 kuni 1
Keskplastne	30 kuni 50	25 kuni 4	Tahke	0,5 kuni 0,75
Uliplastne	>50	>40	Pehme	0,25 kuni 0,5
			Väga pehme	<0,25

Segadust tekitab mingil määral konsistentsi termin, mida käsitletakse erinevates ormdokumentides erinevalt. GOST 25100-95 kohaselt on konsistents määratud voolavusarvu kaudu. Vene teede projekteerimismid SNiP 2.05.02 p.6.7 nimetab muuhulgas nõrkadeks pinnased konsistentsarvuga üle 0,5. Seal peaks konsistentsarv olema asendatud voolavusarvuga (tabel 2.11).

Tabel 2.11

Pinnase jaotus voolavusarvu järgi GOST 25100-95

Nimetus	Voolavussarv I_L	
	Saviliiv	Liivsavi ja savi
Kõva	$I_L < 0$	$I_L < 0$
Plastne	$0 = I_L = 1$	
Poolkõva		$0 = I_L = 0,25$
Jäik		$0,25 < I_L = 0,50$
Pehme		$0,50 < I_L = 0,75$
Voolavplastiline		$0,75 < I_L = 1,0$
Voolav	$I_L > 1$	

Pinnase elastsumoodulit määratakse mõnedes projektides ödomeetriga (E_0) (GOST 23908-79) ja see on tavaliselt väga väike. Arvestatud on pinge langust ja suhtelist deformatsiooni dekompressioonil. BCH 46-83 meetodika lähtub vertikaalpaigutusest ja jälje läbimõõdust (E_{VSN}). Nende kahe vahel on seos

$$E_{VSN} = 2,3055 \cdot E_0 + 5,1 \quad R^2 = 0,998 \quad (2.6)$$

Pinnase orgaanilise aine moodustavad lagunemata ja poollagunenud taim- ja mikroorganismide jäänused ning huumus (tabel 2.12). Muldes võib kasutada vähese orgaanilise aine sisaldusega pinnast.

Tabel 2.12

Pinnaste jaotus orgaanilise aine sisalduse järgi [27]

Pinnas	Orgaanilise aine sisaldus (%) alla 2 mm teramõõduga kuivas pinnases
Vähese orgaanilise aine sisaldusega	2 kuni 6
Keskmise orgaanilise aine sisaldusega	6 kuni 20
Rohke orgaanilise aine sisaldusega	>20

Nõrkadeks loetakse peenpinnased, mille dreanimata nihketugevus looduslikus olekus $c_u < 40$ kPa või elastsusmoodul $E < 5,0$ MPa. Nõrkadeks pinnasteks loetakse samuti turvas ja turvastunud pinnased, mudad, sapropeelid ning savipinnased konsistentsarvuga alla 0,5.

Dreenivateks loetakse pinnased, mille filtratsioonimoodul standardse *Proctorteimiga* saavutatava maksimaalse tiheduse juures on vähemalt 0,5 m ööpäevas.

Tabel 2.13

Pinnaste jaotus veesisalduse järgi [27]

Nimetus	Niiskus W
Väheniiske	$< 0,9W_o$
Normaalse niiskusega	$0,9W_o$ kuni W_{lub}
Kõrgenenud niiskusega	W_{lub} kuni W_{max}
Liigniiske	$> W_{max}$

Märkused:

1. W_o – optimaalne niiskus (veesisaldus) standardse *Proctorteimil* (EVS-EN 13286-2:2004).
2. W_{max} – maksimaalne niiskus (veesisaldus) standardse *Proctorteimi* kohase tihendusteguri $K_t=0,9$ saavutamisel (vt tabel 2.14).
3. W_{lub} – lubatav niiskus (veesisaldus) standardse *Proctorteimi* kohase nõutava tihendusteguri $K_t=0,9-1,0$ saavutamisel (vt tabel 2.14).

Tabel 2.14

Pinnaste lubatav ja maksimaalne niiskus (veesisaldus) tihendamisel [27]

Pinnased	Niiskus nõutava pinnase tihendusteguri K_t saavutamisel			
	W_{lub}			W_{max}
	$K_t > 1,0$	$K_t = 0,98$	$K_t = 0,95$	$K_t = 0,90$
Mölline peenliiv, möll	$1,30 W_o$	$1,35 W_o$	$1,60 W_o$	$1,60 W_o$
Savine või mölline liiv	$1,10 W_o$	$1,15 W_o$	$1,25 W_o$	$1,50 W_o$
Liivane savimöll või liivane möllsavi	$1,05 W_o$	$1,10 W_o$	$1,20 W_o$	$1,40 W_o$
Savi, möllsavi	$1,00 W_o$	$1,05 W_o$	$1,15 W_o$	$1,30 W_o$

Märkused:

1. Suvel liivpinnasest mulde rajamisel niiskust (veesisaldust) ei piirata.
2. Käesolevad piirangud ei laiene mulde rajamisele hüdromeetodil.
3. Talvel ei tohi mulde rajamisel niiskus (veesisaldus) olla üle: $1,3W_o$ – liivpinnases; $1,2W_o$ – savises või möllises liivas; $1,1W_o$ – teistes seotud pinnastes
4. Pinnase lubatava niiskuse suurust võib täpsustada, arvestades konkreetsete tihendusmasinate tehnoloogilisi võimalusi.

Vastavalt GOST 25100-95-le klassifitseeritakse liivad ja kruusad terakoostise järgi (tabel 2.15) ja peenpinnased terakoostise ja plastsusarvu järgi (tabel 2.16).

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis 2001-52 on GOST 25100-95 järgi klassifitseeritud pinnased grupeeritud (grupid A_1 , B_1 , C_1 ja D_1) lähtudes nende tugevuskarakteristikutest (elastsusmoodul – E , MPa; sisehõõrdenurk – f , °; nidusus – c , MPa) (tabeli 2.16).

Tabel 2.15

Kruusade ja liivade jaotus GOST-is 25100-95

Liik	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
Rahnuline pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – munakivine)	Üle 200 mm kivide mass on üle 50 %
Rähane pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – klibune)	Üle 10 mm terade mass on üle 50 %
MüGINE pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – kruusane)	Üle 2 mm terade mass on üle 50 %
Kruusliiv	Üle 2 mm terade mass on üle 25 %
Jämeliiv	Üle 0,5 mm terade mass on üle 50 %
Keskliiv	Üle 0,25 mm terade mass on üle 50 %
Peenliiv	Üle 0,1 mm terade mass on üle 75 %

Tabel 2.16

Peenpinnaste jaotuse koondtabel GOST 25100-95 ja Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 alusel

Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsusarv	Terade läbimõõt, mm	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
A ₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	> 50
B ₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75
C ₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
	Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
D ₁	Tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50
	Raske tolme saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20
	Tolmne kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40
	Raske tolme liivsavi*	12 - 17	2 - 0,05	< 40
	Tolmne savi*	17 - 27	2 - 0,05	< 40

Märkus: * märgitud pinnaseid ei esine juhendis 2001-52, allikas E.Karu

Juhendis 2001-52 sõltuvad peenpinnaste tugevuskarakteristikud nende arvutuslikust niiskusesisaldusest w_1 (tabel 2.17, juhendi 2001-52 tabel L1.T5).

Tabel 2.17

Pinnaste tugevuskarakteristikud [26]

Pinnase grupp		Pinnaste tugevuskarakteristikud vastavalt arvutuslikule niiskusele w_1									
		0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
A ₁	E	70	60	56	53	49	45	43	42	41	40
	f	37	36	36	36	35	35	34	34	33	33
	c	0,015	0,014	0,014	0,013	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007
B ₁	E	96	90	84	78	72	66	60	54	48	43
	f	38	38	37	37	36	35	34	33	32	31
	c	0,026	0,024	0,022	0,018	0,014	0,012	0,011	0,010	0,009	0,008
C ₁	E	108	90	72	50	41	34	29	25	24	23
	f	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	c	0,045	0,036	0,030	0,024	0,019	0,015	0,011	0,009	0,006	0,004
D ₁	E	108	90	72	54	46	38	32	27	26	25
	f	32	27	24	21	18	15	13	11	10	9
	c	0,045	0,036	0,030	0,024	0,016	0,013	0,010	0,008	0,005	0,004

2004.a. teostatud teadustöö raames koostati juhendi 2001-52 pinnaste klassifikatsiooni ja EN ISO 14688-1 ja 2 pinnaste klassifikatsiooni vastavustabel, grupeerides EN ISO alusel klassifitseeritud peenpinnased nende tugevuskarakteristiku alusel pinnasegruppidesse A₁, B₁, C₁ ja D₁ (tabelid 2.18 ja 2.19).

Tabel 2.18

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste ja EN ISO 14688-1 ning 2 pinnaste klassifikatsiooni vastavus

Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)					EN ISO 14688			
Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
			Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %			Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
A₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	> 50	siSa, clSa	1 - 10	2 - 0,063	> 50
					saSi, sacSi, sasiCl, saCl			
B₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75	siSa, clSa	< 1	Ei määratleta	Ei määratleta
					saSi, sacSi, sasiCl, saCl			
					Si, clSi, siCl, Cl			
C₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)	siSa, clSa	10 - 18	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)
					saSi, sacSi, sasiCl, saCl			
					grsiSa, grclSa			
	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)	siSa, clSa	18 - 27	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)
					saSi, sacSi, sasiCl, saCl			
	Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)	siSa, clSa	27 - 44	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)
D₁	Tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50	sasiGr, sacGr	1 - 10	2 - 0,063	20 - 50
					grsiSa, grclSa			
					grsasiS, grsacS			
					sagrsiS, sagrcS			
	Raske tolme saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20	Si, clSi, siCl, Cl	1 - 10	2 - 0,063	< 20
					grSi, grclSi, grsiCl, grCl			
	Kerge tolme liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40	grsaSi, grsaCl	10 - 18	2 - 0,063	< 40
					sagrSi, sagrCl			
					grsasiS, grsacS			
					sagrsiS, sagrcS			
	Raske tolme liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	< 40	saSi, sacSi, sasiCl, saCl	18 - 27	2 - 0,063	< 40
					Si, siCl, clSi, Cl			
	Tolme savi	17 - 27	2 - 0,05	< 40	Si, siCl, clSi, Cl	27 - 44	2 - 0,063	< 40
					grSi, grclSi, grsiCl, grCl			

Tabel 2.19

Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi 2001-52 peenpinnaste ja EN ISO 14688-1 ning 2 pinnaste klassifikatsiooni vastavus

EN ISO 14688				Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)				
Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
		Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %				Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa	1 - 10	2 - 0,063	> 50	A ₁	Kerge saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	> 50
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl								
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa								
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl								
Möll - Si Savimöll - clSi Möllsavi - siCl Savi - Cl	< 1	Ei määratleta	Ei määratleta	B ₁	Tolmliiv	< 1	> 0,1	< 75
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa								
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl								
Kruusaga mölline liiv - grsiSa Kruusaga savine liiv - grclSa								
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa	10 - 18	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)	C ₁	Kerge liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl								
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa								
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl								
Mölline liiv - siSa Savine liiv - clSa	18 - 27	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)		Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Liivane möll - saSi Liivane savimöll - sacSi Liivane möllsavi - sasiCl Liivane savi - saCl								

EN ISO 14688				Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)				
Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
		Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %				Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Liivane möll – saSi Liivane savimöll – sacSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	18 - 27	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)	C ₁	Raske liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Mölline liiv – siSa Savine liiv - clSa Liivane möll – saSi Liivane savimöll – sacSi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl	27 - 44	2 - 0,063	≥ 40 (liivane)		Savi	17 - 27	2 - 0,05	≥ 40 (liivane)
Liivaga mölline kruus – sasiGr Liivaga savine kruus - sacGr Kruusaga mölline liiv – grsiSa Kruusaga savine liiv - grclSa Kruusaga liivane möllpinna – grsasiS Kruusaga liivane savipinna - grsacIS Liivaga kruusane möllpinna – sagrsiS Liivaga kruusane savipinna - sagrcIS	1 - 10	2 - 0,063	20 - 50	D ₁	Tolmne saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	20 - 50
Möll – Si Savimöll – clSi Möllsavi – siCl Savi - Cl Kruusane möll – grSi Kruusane möll-savi – grclSi Kruusane savimöll – grsiCl Kruusane savi - grCl	1 - 10	2 - 0,063	< 20		Raske tolme saviliiv	1 - 7	2 - 0,05	< 20

EN ISO 14688				Juhend 2001-52 (GOST 25100-95)				
Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Casa- grande)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist		Pinnase grupp	Pinnase nimetus	Plastsus- arv (Vassiljev)	Fraktsiooni sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist	
		Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %				Fraktsioon, mm	Fraktsiooni sisaldus, %
Kruusaga liivane möll – grsaSi Kruusaga liivane savi - grsaCl Liivaga kruusane möll – sagrSi Liivaga kruusane savi - sagrCl Kruusaga liivane möllpinna – grsasiS Kruusaga liivane savipinna – grsacIS Liivaga kruusane möllpinna – sagrsiS Liivaga kruusane savipinna – sagrclS	10 - 18	2 - 0,063	< 40	D ₁	Kerge tolmne liivsavi	7 - 12	2 - 0,05	< 40
Liivane möll – saSi Liivane savimöll – sacISi Liivane möllsavi – sasiCl Liivane savi - saCl Möll – Si Möllsavi – siCl Savimöll – clSi Savi - Cl	18 - 27	2 - 0,063	< 40		Raske tolmne liivsavi	12 - 17	2 - 0,05	< 40
Möll – Si Möllsavi – siCl Savimöll – clSi Savi - Cl Kruusane möll – grSi Kruusane savimöll – grclSi Kruusane möllsavi – grsiCl Kruusane savi - grCl	27 - 44	2 - 0,063	< 40		Tolmne savi	17 - 27	2 - 0,05	< 40

2.2.2. Pinnaste külmakerkelisus

2.2.2.1. Muldkeha veerežiim

Muldkehas asuva niiskuse hulk W ei ole aasta läbi konstantne ja muutub vastaval valemile:

$$W = (A + B + C) - (D + E + F) \quad (2.7)$$

- kus, A - mulkehale langevate sademete hulk;
B - ümbritsevast loodusest juurdevoolava vee imbumine muldkehasse;
C - veeaur + seotud vesi + niiskus pinnasevee kapillaartõusust;
D - vee äravool muldkehast;
E - vee aurustumine muldkehast;
F - vee imbumine muldkehast alumistesse kihtidesse.

Lisaks sademetele mõjutavad mulkeha veerežiimi märkimisväärselt veel aastaringsed temperatuurimuutused, millede tulemusena muldkehas sisalduv niiskus (vesi) on pidevas liikumises soojemast kihist külmemasse kihti.

Nagu looduses on neli aastaaega, nii jaotatakse ka muldkeha aastaringne niiskustsükkel neljaks perioodiks:

- niiskuse kogunemine muldkehasse sügisestest vihmavetest
- muldkeha külmumine ja talvine niiskuse ümberpaiknemine
- mulkeha sulamine ja sellega seotud niiskuse suurenemine kevadel
- muldkeha suvine kuivamine(tahenemine)

Meie tingimustes on suurema tähtsusega pinnasevee kapillaartõus (pinnasevesi asub suhteliselt kõrgemal) ja väiksema tähtsusega niiskuse aurustumine muldkehast.

Sõltuvalt veekile paksusest on veel kivimi pinnal erinevad omadused. Üldiselt on kivimi pinnal negatiivne laeng ja vahetult kivimi pinnal olevad vee molekulid orienteeruvad positiivse laenguga kivimi poole.

Sorptsioon on vedeliku neeldumine tahkes aines või kogunemine selle pinnale. Selline vesi on kivimiga tugevalt seotud. Solvatatsioon on lahusti (vee) molekulide liitumine lahustunud aine osakestega, tekkinud solvaadid on ebapüsivad. Vee puhul nimetatakse solvatatsiooni hüdratatsiooniks.

Sorptsioonvesi on liikumatu, solvatatsioonivesi raskelt liikuv ja tera pinnast üle 0,0005 mm kaugusel olev vesi liikuv s.o. vaba.

Lisaks veele on pinnase poorides ka vee aur, mis liigub raskusjõust sõltumatult.

Mida õhem on veekile seda tugevamini on vee molekulid kivimi pinnaga seotud ja seda tugevamini hoiab vesi pinnase teri koos. Jämeterise pinnase puhul neist jõududest ei piisa terade vahelise hõõrde ületamiseks ja vesi ei seo neid monoliidiks.

2.2.2.2. Külmakerke tekkimise protsess

Muldkeha külmumise protsessi käigus moodustub temperatuuride vahe $+4...+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ –st (pinnasevete paiknemise sügavuses) kuni miinuskraadideni pinnase ülemises külmunud kihis. Temperatuuride vahest põhjustatult hakkab vesi (veeaur) liikuma soojemast pinnasest külmumispiiri poole. Selleks on mitu võimalust:

- niiskuse ümberpaiknemine mööda pinnaseosakesi ümbritsevaid kilesid (soojematelt pinnaseosakestelt külmematele, kuna viimased omavad suuremat pinnaenergiat);
- altpoolt soojematest kihtidest mööda poore ülespoole liikunud veeauru kondenseerumine madalama temperatuuriga pinnaseosakeste pinnale ülemistes kihtides;
- veel külmumata vee kapillaartõus külmunud kihti (külmunud pinnase piirkonnas külmub vesi kapillaarides $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures, samal ajal tekivad üksikutes suurmates poorides jääkristallid);
- Jää kristallide tekkimisega kistakse osa sorptsioonivett kivimi pinnalt lahti mille tulemusel tsakaal rikutakse ja seda taastab allajahtunud vesi, mis liigub suurema rõhu piirkonnast väiksema rõhu piirkonda s.o. ülespoole.

Vee külmumise mõju võib jagada kaheks - esmane on vee paisumine poorides, teine sekundaarne, mis seisneb täiendavas vee juurdevoolus külmumispiirkonda ja jääläätsede tekkimises. Tee ehituse seisukohalt on oluline just viimane. Külma mõju sõltub pinnase teramõõdust, poorsusest, vee olemasolust ja temperatuuri muutusest. Temperatuur muutub põhimõtteliselt jäätumisel ühte moodi. Esialt langeb vee temperatuur alla külmumispunkti ilma jää tekkimiseta. Jääkristallide tekkimisel vabaneb soojus ja temperatuur tõuseb jämepeinnasel 0 kraadini, seotud pinnastel jääb mõnevõrra madalamaks. Edaspidi hakkab jää temperatuur langema

Normaalrõhul külmub vesi $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures. Rõhu suurenedes vee käitumine muutub. Sõltuvalt rõhust võib vesi olla jäätumata kuni $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures (jää I, suuremal rõhul tekivad jää III ja II).

Vee lisandumine külmumispiirkonda on intensiivne $0...-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures. Kiirel külmumisel ja madalamal temperatuuril teradel olev veekile külmub, poorid sulguvad ja intensiivne vee liikumine lõpeb. Vett koguneb seda rohkem, mida pikemat aega püsib selline nulli-lähedane temperatuur mingis pinnasekihis. Tee mulde ja katendi omakaalust tekitatud surve poorides olevale veele püüab vett välja tõrjuda, mille tulemusel vee liikumine külmumispiirkonda väheneb. See on põhjuseks, miks sügavamal vee kristalle tekkib vähem, kuigi nullilähedane temperatuur on just sügavamal muldes. Teatud külmumissügavuses vee kogunemine lõpeb. Peentel liivadel on see umbes 80 cm, savisel liival kuni 160 cm. Soodsates oludes külmumise tulemusel pinnas paisub $2...3\%$ külmumissügavusest, eriti halvades $15...20\%$.

Vee tõus pinnases suureneb, kui tera läbimõõt on alla 0,125 mm. Mida peenem on pinnas, seda suurem on vee tõus pinnases. Ühtlasi väheneb ka pooride läbimõõt, millega suureneb vee liikumistakistus ja vee tõus aeglustub. Seepärast on väga peened savipinnased vähem külmaohtlikud võrreldes möllpinnastega. Pinnased, milles pole alla 0,125 mm teri on hea filtratsiooni tõttu täiesti külmakindlad. Neis olev vesi külmub umbes $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures täies ulatuses ja maht suureneb ligikaudu 9% . Ühendatud pooride tõttu surutakse paisunud jää ja vesi mulde ja liikluse koormusel allapoole ja pinnase paisumist pole. Külmakerge võib esineda vaid survevabas vees.

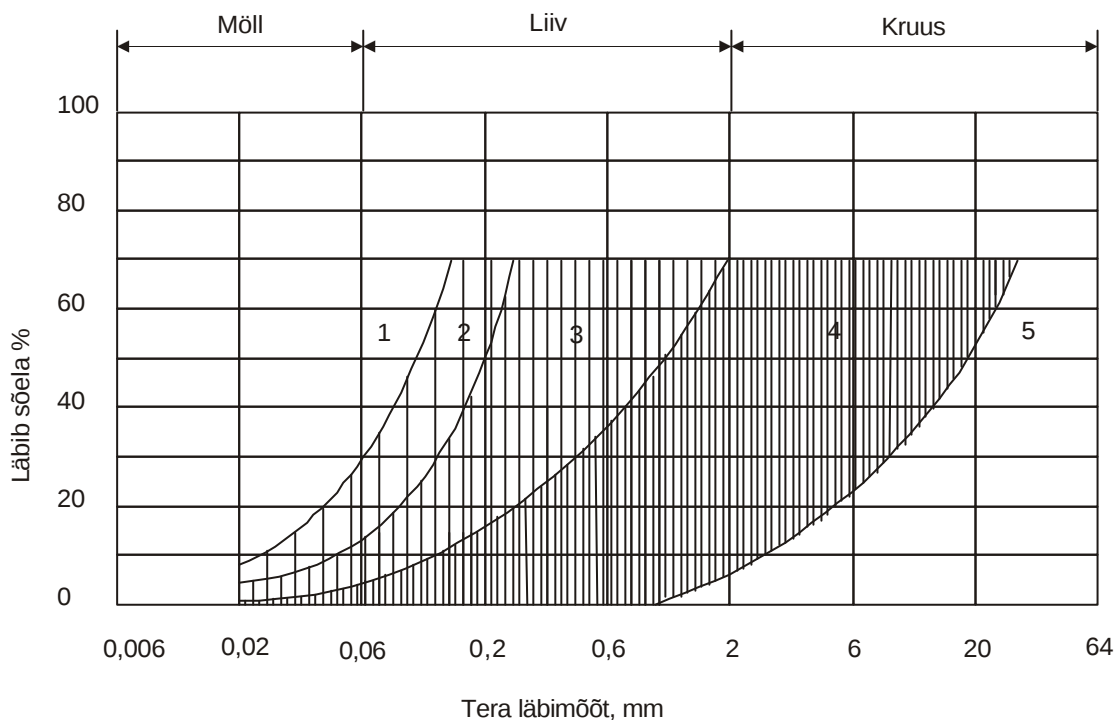
Seotud pinnastes tekkivad aeglasel külmumisel risti külafondile jääläätsed, mille paksus on alates millimeetrist kuni sentimeetriteni. Kiirel külmumisel jääläätsesid ei tekki.

2.2.2.3. Külmakerkeline pinnas

Külmakerkeline pinnas on külma ja kapillaartõusu tõttu veega küllastuv pinnas, mille maht veesisalduse suurenemise tõttu külmudes oluliselt suureneb ja mis sulades kaotab seetõttu kandevõime. Külmakerge on alati seotud vee olemasoluga pinnases.

Maanteede projekteerimismäärade eelnõu

Maanteede projekteerimismäärades hinnatakse pinnase külmakerkelisust ligikaudselt pinnase terastikulise koostise ehk lõimise alusel (joonis 2.3).



Joonis 2.3 Pinnaste külmakerkelisuse hindamine terastikulise koostise alusel [27]

Pinnase külmakerkelisuse hindamise aluseks on võetud Soome *RIL Pohjarakennusohjeet* 121-1988. Pinnas, mille sõelkõver jääb joonise alale 1, on külmakerkeohtlik. Eesti normides olev ala 2 on originaalis jagatud kolmeks. Pinnas, mille sõelkõver satub joonise aladele 2, 3 või 4 ei ole külmakerkeohtlik, kui sõelkõvera alumine ots jääb kogu ulatuses piirkonna ülemisest kõverast allapoole. Pinnase külmakerkelisuse täpsemaks hindamiseks tuleb teha kas laboratoorseid teime või välimõõtmisi.

Kõige külmakerkeohtlikumad on möllpinnased, mille terade eripind on väga suur ja neis on piisavalt poore vee kapilaartõusuks ja auru liikumiseks.

Tabel 2.20

Pinnase kapilaartõus	
Pinnas	Kapilaartõus, m
Kruus, liiv	Kuni 0,3
Peenliiv, möll	0,3...1,5
Möll	6...12
Sõmer pinnas, mölli sisaldus üle 20%	1,5...6
Savi	Väga suur, kuid väikese filtratsiooni tõttu aeglane

Saksamaa DIN normid

Hoopis põhjalikumad on Saksamaa DIN normides esitatud soovitused. Need pole normid vaid juhivad tähelepanu ja on õppimiseks küllaltki kasulikud (tabel 2.21).

Paigutades saksa täiesti külmakerkeohutud kruusad ja liivad meie normide graafikule oleksid nad nagu tinglikult külmakerkeohtlikud. Soome RIL normide järgi on nad 3 ja 4 piirkonna eraldusjoonel, seega külmakerkeohutud. Kruusa ja liiva segud savi või mölliga võivad olla nii külmaohtlikud kui ka –ohutud. Kõik möllid ja savid langevad Soome normide 1 piirkonda ja on seega külmaohtlikud.

Tabel 2.21

Saksamaa pinnaste külakerkelisuse jaotus

Rühm	Osa,%		Asend plastusjoonel	Pinnas	Tunnused	Näited	Külmakerke- lusis	Sobivus tee muldkehaks
	=0,06 mm	=2mm						
Kruus	Alla 5	Kuni 60		ühtlane	Järsk sõelkõver	Jõe- ja ranna- kruus	++	+
				ebaühtlane	Lauge sõelkõver		++	++
Liiv	Alla 5	Üle 60		ühtlane	Järsk sõelkõver	Düüniliivad	++	+0
				ebaühtlane	Lauge sõelkõver	Moreenliiv	++	+
Kruusa mõlli segu	5 kuni 40	Kuni 60		=0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis mõlline	Moreen- kruus	-0	+
			=0,06mm 15...40%	--			-0	
Kruusa savi segu				=0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis savine		-0	+
				=0,06mm 15...40%			-	+0
Liiva mõlli segu	5 kuni 40	Üle 60		=0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis mõlline	Tertsiaarliiv	0	+0
				=0,06mm 15...40%		Löss, luhasavi	--	-0
Liiva mõlli segu				=0,06mm 5...15%	Lauge sõelkõver, peenosis mõlline	Astanguliiv	-0	+0
				=0,06mm 15...40%		Rühksavi	-	0
Möll	Üle 40		$I_p=4\%$ ja allpool plastusjoont	Kergelt plastne $w_L < 35\%$			--	-0
				Kesk plastne $35=w_L=50\%$		Meresavi	--	-0
				kokkusurutav $w_L > 50\%$		Vulkaaniline pinnas	-0	-
Savi	Üle 40		$I_p=7\%$ ja ülalpool plastusjoont	Kergelt plastne $w_L < 35\%$		Rühkmergel	--	-0
				Kesk plastne $35=w_L=50\%$		Nõosavi	-0	-0
				Väga plastne w_L $> 50\%$			+/-	-

Tabeli 2.21 selgitused

Külmkerkelisus		Kasutatavus	
--	Väga suur	--	Sobimatu
-	Suur	-	Vähe sobiv
-0	Suur kuni keskmine	-0	Mõõdukalt kasutatav
0	keskmine	0	Kasutatav
+0	Väike kuni keskmine	+0	Sobiv
+	Väga väike	+	Hästi sobiv
++	Puudub	++	Väga sobiv

Nõukoode GOST ja SNiP

Endised nõukogude normid kirjeldavad külmakerkeohtlikkust küll erinevalt (tabel 2.22), kuid annavad üldiselt Soome ja Saksa normidega ühesuguse tulemuse

Tabel 2.22

Pinnaste ja nende külmaohtlikkuse klassifikatsioon GOST-i ja SNiP-i alusel

Pinnas	Tunnus	Külmakindluse kriteerium	Külmakerke grupp	
			Kuivalt	Niiskelt või märjalt
Kruusliiv	Ø 2 mm üle 25 %	Ø 0,05 mm alla 15 %	I	II
Jämeliiv	Ø 0,5mm üle 50 %	Ø 0,05 mm alla 15 %	I	II
Keskliiv	Ø 0,25mm üle 50 %	Ø 0,05 mm alla 15 %	I	II
Peenliiv	Ø 0,1mm üle 75 %	Ø 0,05 mm alla 2 %	I	II
		Ø 0,05 mm alla 15 %	II	III
Tolmliiv	Ø 0,1mm alla 75 %		III	V
Jäme, kerge saviliiv	plastsusarv 1...7	Ø 2...0,25 mm üle 50 %	II	III
Kerge saviliiv		Ø 2...0,05 mm üle 50 %	II	IV
Tolmne saviliiv		Ø 2...0,05 mm 20... 50 %	III	V
Raske tolme saviliiv		Ø 2...0,05 mm alla 20 %	VI	
Kerge liivsavi	plastsusarv üle 7...12	Ø 2...0,05 mm üle 40 %	III	IV
Kerge tolme liivsavi		Ø 2...0,05 mm alla 40 %	VI	
Raske liivsavi	plastsusarv üle 12...17	Ø 2...0,05 mm üle 40 %	III	IV
Raske tolme liivsavi		Ø 2...0,05 mm alla 40 %	III	V
Liivane savi	plastsusarv üle 17...27	Ø 2...0,05 mm üle 40 %	III	IV
Tolme savi		Ø 2...0,05 mm vähem, kui Ø 0,05 ...0,005 %	III	IV
Rasvane savi	plastsusarv üle 27		III	IV

I grupi pinnased –	ei ole külmaohtlikud,
II...III grupi pinnased -	vähe külmaohtlikud,
IV grupi pinnased -	külmaohtlikud,
V grupi pinnased -	väga külmaohtlikud,
VI grupi pinnased -	erakordselt külmaohtlikud..

2.2.3. Külmaohtlike pinnaste parendamine

Külmakerkeohututest pinnastest muldkehad on väga kindlad, kuid sageli kallid, mistõttu võib osutuda vajalikuks kohalike külmaohtlike pinnaste parendamine. Kohalike külmaohtlike pinnaste omaduste parendamiseks on mitmeid võimalusi (tabel 2.23).

Võimalik pinnase stabiliseerimise sügavus on praegu meil tehniliselt kuni 50 cm, mida võimaldavad segada Eestis olevad freesid (WR 2500).

Kasutatakse pinnaste

- mehaanilist,

- termilist või
 - keemilist stabiliseerimist,
- mille tulemusel muutub pinnase tugevus ja ka ilmastikukindlus.

Tabel 2.23

Külmakerkeohtliku pinnase tugevdamise võimalused

Meetod	Sobivad pinnased	Pinnase omaduste muutumine	Mõju külmakerkehule	Mõju kandevõime vähenemisele
Veetõkke kiht	Nõrgalt kuni tugevalt seotud	Vee ja pinnase ülestõusmise takistus	Mõjuta	Katte kahjustuste vähenemine
Filterkiht	Nõrgalt kuni tugevalt seotud	Läbimärgunud pinnase ülestõusmise takistus, drenimine	Mõjuta	Katte kahjustuste ja kihtide segunemise vähenemine
Mehaaniline stabiliseerimine	Nõrgalt seotud	Terakoostise muutumine	Vähenemine kuni vältimine	Vähenemine kuni vältimine
Lubi-stabiliseerimine	Nõrgalt kuni tugevalt seotud	Struktuurimuutus, mõningane siduv toime	Vähenemine	Vähenemine
Tsement-stabiliseerimine	Nõrgalt kuni keskmiselt seotud	Hüdrauliliselt seotud	Välditud	Välditud
Bituumen-stabiliseerimine	Nõrgalt seotud	Seotud, veetõke	Välditud	Välditud

Mehaaniline stabiliseerimine põhineb pinnase terakoostise muutmisel. Enamasti on tegemist jämedateralise sõrmermaterjali lisamisega. Selle tulemusel suureneb oluliselt pinnase nihkekindlus ja mõningal määral ka külmakerkekindlus. Põhimõtteliselt on võimalik lisades jämedamat pinnast saavutada piisavalt külmakindel pinnas, kuid tavaliselt lisatava pinnase kogused on üsna suured.

Lubistabiliseerimiseks sobivad kõik pinnased milles on mölli osakesi (0,063 mm) üle 20 %. Sõltuvalt pinnase veesisaldusest võib kasutada nii kustutamata kui ka kustutatud lupja. Lubja kogus on nõrgalt ja keskmiselt seotud pinnaste puhul umbes 5 %, tugevalt seotud pinnastel oluliselt kõrgem – 15...20 %. Suur savi sisaldus vajab hügroskoopsuse neutraliseerimiseks palju lupja, kui lubja kogus on väike suureneb vaid poorsus, mille tulemusel suureneb ka vee juurdevool. Tulemuseks on külmakerkelisuse suurenemine. Järelikult peab stabiliseerimise kavandamisel hoolega uurima pinnase omadusi, et mitte saavutada negatiivset efekti. Lubja reaktsioon savika pinnasega on aeglane, mistõttu soovitud tulemus ei selgu enne 10 nädalat.

Kvartspeenpinnased koos mõõduka savisisaldusega on sobivad tsementstabiliseerimiseks. 6..8 % tsementi väldivad täiesti jääläätsede tekkimise, külmakerkeohu ja tugevuse langemise niiskuse toimet. Stabiliseerimise eelduseks on pinnase sujuv terakoostis, mis vähendab pinnase poorsust. Sageli on poorsuse parandamiseks otstarbekas pinnast mehaaniliselt stabiliseerida.

Bituumenstabiliseerimise toime seisneb pinnaseosakeste kaitsmises vee eest. Bituumenit kasutatakse tavaliselt kas emulsioonina või vahtbituumenina. Pinnas peaks olema enam-

vähem kuiv. Pinnase bituumeniga segamise raskuse tõttu külmakerke ohu vähendamiseks seda vaevalt kasutatakse.

Külmakerkevastase toimega on külmumispunkti alandavad soolad (naatrium- ja kaltsiumkloriid). 2..3 % soola lisand väldib täiesti pinnase külmumise. Soolade mõju ei ole püsiv, sest väga hea vees lahustuvuse tõttu nad uhutakse pinnasest välja. Muldkehas, mis peab vastu pidama aastakümneid, on nad kasutud.

Nagu korduvalt öeldud sõltub mulde tugevus ja ilmastikukindlus mulde ja aluspinnase veesisaldusest. Vesi pääseb muldesse alt auru, kapilaartõusu ja kileveena ning pealt ja külgedelt sademeveena. Viimase tõrjeks on oluline tee veekindel katend ja kindlustatud peenrad. Kui siiski on vesi sattunud muldesse, tuleb ta kiiresti sealt välja juhtida. Olulised on katte ja peenarde ning ka aluse kihtide põikkalle ning küvetid.

Juhul kui pole võimalik ehitada kogu mullet külmakindlast pinnasest, ehitatakse meil enamasti drenkiht. Selleks kasutatakse jämedat või keskliiva, mille poorsus ja filtratsioonimoodul on suured. Sõltuvalt katte laiuselt peaks filtratsioonimoodul olema 3...5 m/ööpäevas (katte laius 6...12 m). Ühepoolse ristkalde puhul peaks ka filtratsioonimoodul olema poole suurem. Filtratsioonimoodul määratakse optimaalse tiheduse juures.

Külmaohtlike pinnaste omaduste parendamine tuleb projekteerida laboratoorselt järgides vastavaid juhiseid.

Külmakerkele sarnaseid, kuid märksa väiksemaid deformatsioone põhjustab pinnase pundumine niiskuse toimel. Sõltuvalt pinnasest ulatub pundumine kuni 10 %-ni.

Tabel 2.24

Pinnase klassifikatsioon pundumisastme järgi

Nimetus (niiskusel 0,5 W _o)	Suhteline pundumisdeformatsioon, % niiskunud kihi paksusest
Mittepunduvad	<2
Nõrgalt punduvad	2–4
Keskmiselt punduvad	5–10
Tugevalt punduvad	10

Märkus: W_o – optimaalne niiskus (veesisaldus) standardsel *Proctorteimil*.

2.3. KATENDI ARVUTUS EBASOODSATELE MÕJUDELE

2.3.1. Katendi arvut külmakerkele

Katendi arvutus külmakerkele toimub vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 [26].

Kõige ratsionaalsemad (just külmakindluse seisukohalt) on katendid, mis asuvad vähe- või mitte külmakerkeohtlikest pinnastest muldel ja kus katendi ülemise pinna kaugus arvutuslikust pinnasevee tasemest on suurem või võrdne arvutusliku külmumissügavusega.

Lõikudel ,kus seda nõuet pole võimalik täita, tuleb ette näha soojusisolatsioonikihid, et vähendada külmumissügavust või üldse külmumist ära hoida. Teine võimalus on ette näha

meetmed pinnasevee taseme alandamiseks. Tihti aitab ka veekindlate või kapillaartõusu takistavate kihtide ehitamine. Soojusisolatsioonikihid (näiteks fenoplastidest) tuleks ette näha ainult väga halbade niiskustingimuste puhuks nagu “märjad” süvendid, nullprofiilid ja madalad mulded.

Kohtades, kus saavad kokku kaks erineva külmakerkega konstruktsiooni, tuleb ette näha nn. üleminekuala (tavaliselt tehakse kiilukujuline), et vältida külmakerke puhul astme tekkimist teekonstruktsiooni pinnale.

Põhilised meetmed, mis aitavad parandada külmakindlust:

- väikese külmakerkeohtlikkusega pinnaste kasutamine;
- kindlustada katendi piisav kaugus pinnase- või pinnavetest;
- külmakaitsekihtide (materjalidest, mis ei muuda mahtu külmudes max niiskusesisalduse juures) või soojusisolatsioonikihtide (aeglustavad muldkeha külmumist ja vähendavad ühtlasi mulkeha külmumissügavust) ehitamine;
- pinnasevete taseme alandamine;
- veeisolatsioonikihi ehitamine (või ainult kapillaartõusu läbilõikav kiht).

Külmakaitsekihina võib kasutada looduslikku:

- kruusaliiva, kui ta sisaldab kuni 10% peenosiseid, mis läbivad sõela 0,063 mm ja
- liiva või sõelmeid, mille massist vähemalt 90 % läbib sõela 2 mm; märgsõelumisel võib looduslik liiv sisaldada kuni 10% peenosiseid, mis läbivad sõela 0,063 mm.

Külmakaitsekiht filtreerivatest materjalidest töötab tavaliselt ka veel dreniiva kihina, seetõttu tuleks üldjuhul teostada ka dreniivihiga seotud arvutused.

Soojusisolatsioonikihis tuleb kasutada palju paremate soojust isoleerivate omadustega materjale, kui seda on pinnased ja tavalised teedehitusmaterjalid. Näitena võiks tuua:

- polümeerimaterjalid (fenoplastid);
- kergbetoonid, milles sisalduvad poorsed täitematerjalid (keramsiit, agloporiit, polüstürooli graanulid, jahvatatud fenoplast);
- segistis valmistatud segud kohalikest materjalidest või pinnastest kergete täitematerjalide ja sideainetega;
- bituumenmineraalsegud.

Materjalide seletusi:

- *keramsiit* -mullstruktuuriga kerge granuleeritud materjal, mis on saadud kergsulavat savikivimit puhutumiseni põletades (1100-1200°C);
- *keramsiitbetoon* – keramsiit + tsement või kips või sünteetiline vaik;
- *agloporiit* –killustiku või kruusataoline tehisk poorne täitematerjal, saadakse savirikast materjali või kivisõe tootmise, rikastamise ja põletamise jäätmeid termiliselt töödeldes, purustades ja fraktsioonideks sõeludes;
- *polüstürool* e. polüstüreen – sünteetiline polümeer, suhteliselt väikese tugevusega, püsiv vee, leeliste ja hapete suhtes, odav;
- *fenoplast* – fenoolformaldehüüdvaikudest plastmassid (näiteks vahtplasti).

On leitud, et kattekonstruktsiooni talvine külmakeerge ei mõjuta oluliselt katte taset ja eluiga juhul, kui katte üldine kerkimine ei ületa järgnevas tabelis toodud suurusi (lubatavad külmakerked):

- püsiakatendid - 4 cm;
- kergakatendid – 6 cm;
- siirdekatendid – 10 cm ja
- pinnatud kruuskatted – 6 cm.

Katendi külmaskindluse arvutus seisneb tegelikult esineda võiva (eeldatava) külmakerke (l_{kk}) võrdlemises lubatavaga (l), s.o

$$l > l_{kk} . \quad (2.8)$$

Külmakerke arvutamiseks [joonis 2.4](#) või (2.9) abil vajalikud suurused on järgmised:

- kliimategur $a_0 = 75$, $\text{cm}^2/\text{ööp}$;
- arvutuslik külmumissügavus $z = 125 \text{ cm}$;
- pinnasetegur B , $\text{cm}^2/\text{ööp}$ ([tabel 2.23](#));
- katendi (soojustehniliselt) redutseeritud paksus z_1 , cm;
- katendikihtide materjalide soojustehnilised ekvivalendid e_i ([tabel 2.24](#)) ja
- pinnasvee arvutuslik (maksimaalne teadaolev sügisene külmumiseelne) sügavus tee teljel H' , cm.

$$l_{kk} = 1,67 * B * (H'/z - z_1/z) * \{(2,8 * M - 1) * \text{EXP}[2,8 * (M - 1)] + 0,061\}, \text{ cm} \quad (2.9)$$

$$M = (125 - z_1) / (H' - z_1) \quad (2.10)$$

Tabel 2.25

Pinnasetegur B

Pinnase nimetus	B, $\text{cm}^2/24\text{h}$	Külmaohtlikkuse aste 3.paikkonnas
Mittetolmne liiv, osiseid $<0,05 \text{ mm}$ 2-15%; jäme kerge saviliiv	1,5 – 2,0	Mõõdukalt külmaohtlik
Savid; kerge ja raske mittetolmne saviliiv; kerge saviliiv	3,0 – 3,5	Külmaohtlik
Tolmne saviliiv; tolme raske liivsavi; tolmlüiv	4,0 – 4,5	Väga külmaohtlik
Tolmne raske saviliiv; kerge tolme liivsavi	5,0 – 8,0	Eriti külmaohtlik

Märkus: väikesemad arvud kehtivad normikohase kõrgusega muldkeha korral. Eeldatav külmakeerge l_{kk} või z_1 , määratuna [joonis 2.4](#) või (2.9) abil, vastab kõikide katenditüüpide (v.a lihtkatend) 3. paikkonna olukorrale.

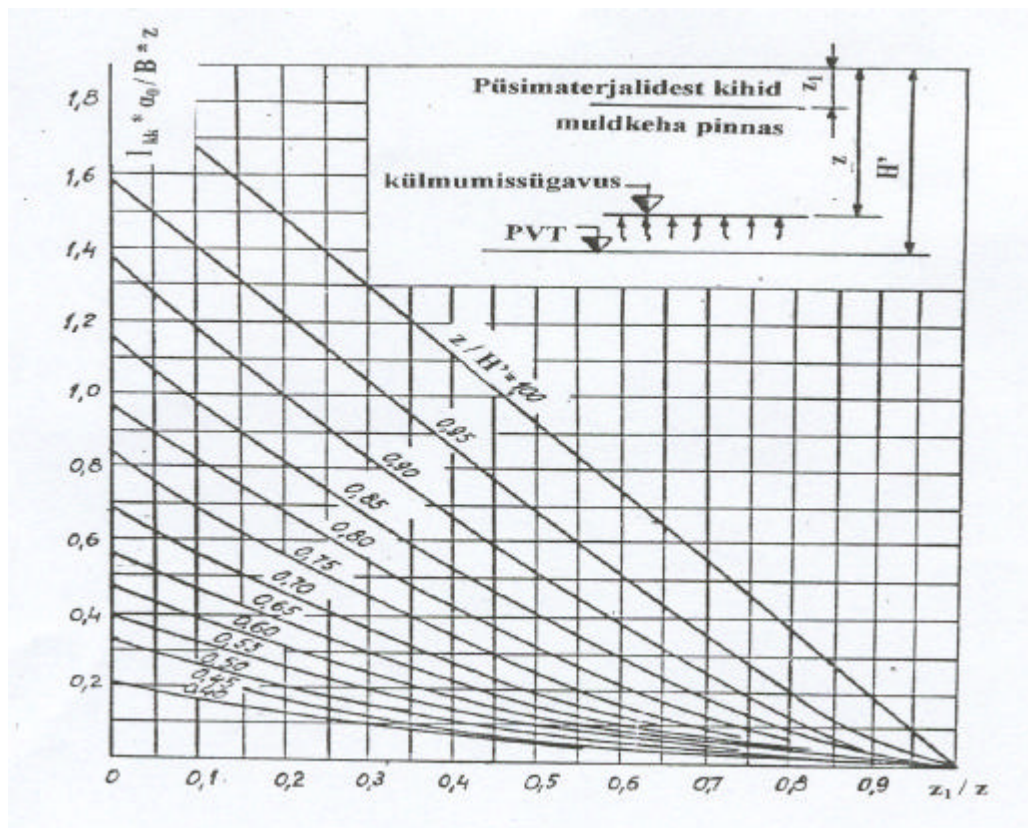
Kuna katendi- ja pinnasekihtidel on erinevad soojustehnilised parameetrid, siis võetakse see arvesse järgmiselt:

$$\text{katendi redutseeritud paksus } z_1 = h_1 * e_1 + h_2 * e_2 + h_3 * e_3 + \dots \quad (2.11)$$

kus $h_1, h_2, h_3, \dots$ - katendi- ja pinnasekihtide paksused;
 $e_1, e_2, e_3, \dots$ - katendi- ja pinnasekihtide soojustehnilised ekvivalendid ([tabel 2.26](#)).

[Joonis 2.4](#) ja (2.9) võimaldavad teha külmaskindluse arvutusi olukorras, kus pinnasvee sügavus H pole suurem külmumissügavusest $z = 125 \text{ cm}$. Kui esineb olukord, kus $z/H > 1,0$

(külumissügavus ulatub pinnasvette), mis on eriti külmaohtlik, tuleb suurendada muldkeha kõrgust või alandada sügavdrenaažiga pinnasvee taset.



Joonis 2.4 Nomogramm katendi külma kindluse arvutamiseks

PVT – pinnasvee tase;

l_{kk} – külmakerge, cm;

α_0 – kliimategur, $\text{cm}^2 / \text{ööp}$;

z – arvutuslik külumissügavus;

z_1 – katendi paksus, cm;

H' – pinnasvee arvutuslik (max teadaolev sügisene külumiseelne) sügavus tee teljel, cm;

B – pinnasetegur, $\text{cm}^2 / \text{ööp}$.

Nomogrammi (joonis 2.4) kasutamiseks tuleb leida vertikaaltelje suurus: $l_{kk} * \alpha_0 / (B * z)$. Teades nüüd projekti andmetest suhet z/H' , saame nomogrammi horisontaalteljel suhte z_1/z . Teades külumissügavust z on lihtne arvutada katendi püsimaterjalist kihtide paksus z_1 , mille puhul külmakerge jääb lubatavuse piiridesse.

Muidugi võib nomogrammi kasutada ka vastupidises järjekorras s.o. horisontaaltelje jaoks arvutatakse suhte z_1/z , teades suhet z/H' saadakse vertikaalteljel suurus $l_{kk} * \alpha_0 / (B * z)$. Kuna B , z ja α_0 on teada, siis on lihtne arvutada külmakerke l_{kk} .

Tabel 2.26

Materjalide ja pinnaste soojustehnilise ekvivalendid e_i

Materjal, pinnas	e_i
Asfaltbetoon – tihe	1,15
- poorne	1,22
- ülipoorne	1,30 – 1,36
Bituumenemulsiooniga tugevdatud saviliiv	1,13
Tsementtugevdatud (6 – 10%) segaterine liiv	1,0
Tsementtugevdatud (10%) ühemõõduline peenliiv	1,07
Lubitugevdatud nõrk lujakivikillustik	1,27
Tsementtugevdatud (6 – 12%) liivsavi	1,13
Komplekstugevdatud (tsement 2 - 6%, lubi 2 – 6 %) liivsavi	1,18
Tsementtugevdatud (8 – 10 %) saviliiv	1,11
Graniitkillustik	1,0
Lubjakivikillustik	1,15
Kruus	1,0
Jämeliiv – sulanud	1,03
- külmunud	0,88
Keskliiv - sulanud	0,98
- külmunud	0,87
Peenliiv - sulanud	0,98
- külmunud	0,89
Tolmliiv - sulanud	1,02
- külmunud	0,92
Saviliiv - sulanud	1,02
- külmunud	0,96
Liivsavi ja savi – sulanud	1,07
- külmunud	0,97

1.ja 2. paikonnas toimub külmakindluse arvutus vastavalt tabelis 2.27 esitatud skeemile. See skeem kehtib ainult muldkeha normidekohase kõrguse puhul. Kui muldkeha on normidest madalam või asetseb süvendis, tuleb igal juhul katend arvutada külmakindlusele.

Tabel 2.27

Külmakindluse arvutuse vajadus sõltuvalt katendi tüübist

Katendi tüüp	Niiskus-paikkonna tüübi nr	Märkused
Püsiakatend	1	Külmakindlusele ei arvutata, kuid tolmse saviliiva puhul tuleb võtta meetmeid takistamaks vee sattumist muldkehasse ülalt.
Püsiakatend	2	$z_{1,2} = 0,8 * z_1$
Kergakatend	1	Külmakindlusele ei arvutata.
Kergakatend	2	Külmakindlusele arvutatakse ainult tolmse saviliiva puhul
Siirdekakatend	1 ja 2	Ei arvutata.
Lihtkatend	1, 2 ja 3	Ei arvutata

Kui tingimus (2.8) pole täidetud, tuleb katendi alumiste kihtide paksusi suurendada, lisada üks kruusa-(ülespoole drenikihti) või mõnest spetsiaalmaterjalist soojusisolatsioonikiht.

Soojusisolatsioonikihte pole Eesti teedehituses seni kasutatud ja seetõttu ka nende arvutust siinjuures ei käsitleta. Vajaduse tekkides on võimalik kasutada BCH 46-83 [28] esitatud soojustisolatsioonikihtide arvutamise metoodikat.

2.3.2. Veerežiimiga seotud arvutused

Veeviimarite kompleksi ülesandeks on vee kogumine ja ärajuhtimine või ennetava abinõuna vee liikumise takistamine (muldkeha ülemistesse kihtidesse) eesmärgiga ära hoida muldkeha üleniiskumine ja kindlustada enam-vähem optimaalne niiskusrežiim.

Selleks, et ära juhtida kogu pinnavett (sadevesi + muldkehasse küljelt tungiv pinnavesi), antakse muldkehale ja kattele vajalik põikkalle ning planeeritakse ja kindlustatakse peenrad. Vee juhtimiseks pikiprofiilis nähakse ette külgkraavid, süvendite puhul ka mäekraavid.

Ühelt poolt tuleb vee ärajuhtimise kindlustamiseks põiksuunas anda seda suurem kalle, mida väiksem on katte tasasus, et vesi ei koguneks ega imbuks kattes. Teiselt poolt piirab kalde suurst sõidumugavuse tagamise nõue – põikkalle peaks olema minimaalne võimalik, mille puhul on veel tagatud vete ärajuhtimine (erinevatel katetel 1,5 .. 4%).

Peenardele antakse suurem põikkalle kui kattele, kuna viimaste väiksema tugevuse tõttu võivad seal tekkida eksploatatsiooni käigus ebatasasused – aga isegi kindlustatud peenarde puhul viib seisev vesi välja muldkeha üleniiskumiseni. Olenevalt katte tüübist antakse peenardele 1-2% suurem kalle kui kattele, s.t. ligikaudu 4%.

Üldjuhul rajatakse külgkraavid alati süvendites ja mulletele kõrgusega kuni 1,2 m. Nende kraavide ülesandeks on vihmavee, lumesulamisvee ja pinnavee ärajuhtimine. Kraavide sügavus määratakse kogemuslikult (kolmnurksed ~ 0,3 m, nelinurksed ~ 0,7..0,8 m, maksimaalne 1,2 m), kontrollides vajaduse korral konstruktsiooni hüdrauliliste arvutustega.

Kindlustamata kraavide pikikalle on enamasti vahemikus 1-2 %, kindlustatud 2-5 %. Tähtis on nõue, et drenikihi alumise pinna kõrgus peab olema vähemalt 20 cm kraavi põhjast kõrgemal. Edasi järgneb, olenevalt maastikust, vete võimalik kogumine ja truupide või väikesildade abil muldkeha alt läbijuhimine. Kuna ei ole otstarbekas ehitada kraave ristlõikega, mis arvestaks erakordsete vooluhulkadega, siis rajatakse mäepoolse külje olemasolul truubid ~ 0,5 km tagant.

Drenaaži puhul on tavaliselt tegemist kas

- kinnise drenaažiga – drenaažitorud (plast, asbesttsement, keraamiline, betoon) paigutatud pinnasesse - või
- lahtise drenaažiga – peidetud (kaetud) jämedast drenivast materjalist (näiteks killustik) kiht vettpidava pinnasekihi peal.

Kinnise drenaaži korral siseneb vesi torudesse neis olevatest perforeeritud piludest (plasttorud) või liitekohtadest. Nende ummistumise vältimiseks tuleb nad katta drenivast materjalist kihiga (näit. liiv, kruus). Drenaaži võib kasutada nii pinnasevee alandamiseks kui ka kogu muldkehasse küljelt imbuva vee kinnipüüdmiseks.

Viimasena tee veeviimarite süsteemis mainitakse tavaliselt aluse täiendava kihina drenikihti, mis rajatakse liivast, kruusast, killustikust ja teistest jämedatest sõrmermaterjalidest.

Olenevalt muldkeha laiuksst ja niiskustingimustest peaks drenkihi materjali filtratsioonimoodul olema vahemikus 2-10 m/ööp. Drenkihi ülesandeks on koguda kokku ja ära juhtida vesi, mis koguneb järgnevatest allikatest:

- peenardest alusesse imbunud vesi
- katte pragudest, aga ka vuukidest alusesse imbunud vesi
- kevadel külmunud katte ülemistest kihtidest (jääläätsedest) sulav vesi

Drenkihist juhitakse vesi reservidesse või külakraavidesse, seoses sellega peab drenkihi laius üldjuhul olema kogu pikkuses võrdne muldkeha laiuksaga. Heade hüdrooloogiliste tingimuste korral võib selle asemel, et drenkihti rajada kogu laiukses, kasutada vee kraavidesse juhtimiseks nn. lehtrite süsteemi. Viimased rajatakse hästidreenivatest materjalidest (näit. ridakillustik ϕ 40-60 mm) laiuksaga 0,4 m ja kõrgusega 0,2 m ning paigutatakse 4-6 m vahedega malekorras.

Kuna drenaažilehtrite läbilaskevõime on väike, siis vee ärajuhtimiseks kulub palju aega. Eriti pingeline on olukord kevadel. Kuna peenrad on talvel kaetud paksema lumekihiga, kui sõidutee, hakkavad nad ka sulama hiljem. Tänu sellele asjaolule ei ole drenkihi ääred (või siis lehtrid) veel sulanud, kui neid kõige rohkem vaja oleks. Seepärast on hakatud kõige ebasoodsamate niiskustingimustega kohtades lehtrite asemele rajama torudreene (nii põiki- kui ka pikidreene), mis juhiks vee külmunud pinnasest läbi.

2.3.2.1. Üldist kraavide arvutuse kohta

Kraavid arvutatakse vastavalt vedeliku ühtlase voolamise valemile. Üldjuhul tuleb kõigepealt määrata pindala (km^2), millelt vesi koguneb - tavaliselt kasutatakse selleks kaarti mõõtkavas 1:25 000 ... 1:50 000, seejärel kliimakaardilt sademete intensiivsus mm/min. Kindlustamata kraavides peaks veevoolu kiirus jääma alla 0,8 m/s.

2.3.2.2. Drenaaži arvutus

Drenaaž paigaldatakse selleks, et alandada pinnasevete taset. Otstarbekas on paigaldada drenid külakraavide alla, et neid vajadusel oleks võimalikult lihtne puhastada. Erijuht on nn. ekraniseeriv drenaaž, mis tavaliselt paigutatakse süvendite nõlvadesse juhul, kui süvend lõikab läbi vettpidava kihi. Sel juhul vee hulk 1m dreni pikkuse kohta leitakse:

$$q = K h i_v, \quad (2.11)$$

kus K – filtratsioonitegur, m/s (!NB mitte filtratsioonimoodul), määratakse katseliselt (jämeliiv 10^{-2} , peenliiv 10^{-2} - 10^{-3} , saviliiv 10^{-4} - 10^{-5} , liivsavi 10^{-5} - 10^{-7} m/s);
 h – vee sügavus vaadeldavas kihis;
 i_v – vettpidava kihi kalle.

Pikkusel l koguneb vooluhulk $Q = K h i_v l$. Sellise veehulga läbilaskmiseks on vajalik toru, mille läbimõõdu võib leida valemist:

$$Q_{vaj} = K_d i_d^{1/2} \text{ ja } K_d = 24 d^{8/3}, \quad (2.12)$$

kus i_d = drenaažitoru kalle;
 K_d = drenaažitoru kulutegur;
 d = toru diameeter, m (tavaliselt 0,05 või 0,1).

Näiteks: $Q = 0,01(=K) * 0,3(=h) * 0,003(=i_v) * 500(=l) = 0,0045 \text{ m}^3$
 $Q_{vaj} = 0,009 (=i_d) 24 0,1 (=d) ^{(8/3)} = 0,0049 \text{ m}^3$

Vee voolamise kiirus torus ei tohi olla liiga suur, kuid ei tohi olla ka liiga väike (et vältida ummistumist). Soovituslikult tuleks võtta kiirus mitte väiksem, kui 0,6 m/s ja mitte suurem, kui toru peal asetseva drenivast materjalist kihi jaoks suurim lubatav kiirus (et minema ei uhuks). Vee voolamise kiiruse torus võib arvutada valemiga:

$$v_d = W_d i_d^{1/2} \text{ ja } W_d = 30,4 d^{2/3}, \quad (2.13)$$

kus W_d – toru kiiruskarakteristik.

Ülaltoodud näite puhul: $v_d = 30,4 0,1 (=d) ^{(2/3)} 0,09(=i_d) ^{1/2} = 0,62 \text{ m/s}$

Teede rajamisel kohtadesse, kus pinnasevesi on kõrgel, võib loomulikult ehitada nii kõrge muldkeha, et drenaaži ehitamine pole vajalik. Esineb aga küllalt juhtumeid, kus muldkeha ülemise ääre kõrgus on ette antud ja seda muuta ei saa. Sel juhul on ainukeseks lahenduseks drenaaži rajamine. Külakraavide all paiknevad drenid peavad olema nii sügaval, et tekiks vajalik pinnasevee taseme alanemine. Erijuhul, kui vahetult drenide all on vettpidav kiht ja on olemas põikkalle, võib piirduda ühe dreniga, mille arvutamise käik langeb kokku ülaltooduga (veekihi läbilõikamine).

Kui aga vettpidav kiht asub sügavamal, tuleb rajada mõlemad drenid, paigutades nad sümmeetriliselt kahele poole teed. Kumbki dren alandab vee taset mingis ruumiosas laiuseni, mida saab leida valemiga

$$H/R = \tan \alpha, \quad (2.14)$$

$$\text{ehk enamkasutatavam kuju} \quad R = H / \tan \alpha, \quad (2.14a)$$

kus R – nn. depressioonilehtri raadius;
 H – kaugus drenist kuni pinnasevee tasemeni;
 α – lehrile joonistatud kõõlu nurk horisondi suhtes.

Depressioonijoone võrrand kujutab endast teise astme kõverat. Veevoolu jooksvat kõrgust kajastab valem

$$h = H \ddot{O}(1-x/R), \quad (2.15)$$

kus x = kaugus depressioonilehtri äärest.

Kui $x=0$, siis alanemist pole ja $h=H$, kui $x=R$, siis $h=0$ ja veetase on alandatud kõrguse H võrra.

Kahe sümmeetriliselt paigutatud dreni puhul on minimaalne alanemine tee keskel:

$$S = H - h = H(1 - \ddot{O}(1 - L/2R)), \quad (2.16)$$

Kus L – drenidevaheline kaugus;
 S – pinnasevee minimaalne alanemine keskel;
 H - pinnasevee alanemine dreni juures.

Kogu arvutuskäik koosneks kolmest etapist:

- 1) tingimusest, et drenikiht ei tohi olla kapillaartõusust põhjustatud veest küllastunud, määratakse pinnasevee alandamise vajadus S.
- 2) teades kahe rippuva dreni vahelist kaugust L, ja suurusi S ning α , määratakse järgnevast võrrandist suurus S/H;

$$\left(\frac{S}{H}\right)^2 + \left(2 + \frac{L \tan \alpha}{2S}\right) \frac{S}{H} + 1 = 0$$

ja H saab järelilikult S / (S/H)

- 3) Vee hulk 1 m dreni pikkuse kohta tuleb järelilikult (arvestades, et vesi voolab dreni poole mõlemalt küljelt

$$2q = 2Kh \frac{dh}{dx} \text{ (!NB pidevalt muutuv kalle), arvestades ülaltoodud valemeid}$$

$$2q = KH^2/R = K h \tan \alpha$$

kogu dreni pikkusele tuleb vooluhulk $Q = l K h \tan \alpha$

Pinnaste filtratsioonitegur tuleb määrata pinnaseproovide alusel, mis on võetud ilma pinnase struktuuri lõhkumata. Orienteeruvate arvutuste jaoks kõlbab ka [tabel 2.28](#).

Tabel 2.28

Pinnaste filtratsioonitegurid

Pinnas	K, m/s	tan a, %
Kruus või jämeliiv	10^{-2}	0,15-0,3
Peenliiv	$10^{-2} \dots 10^{-3}$	0,3-1
Saviliivad	$10^{-4} \dots 10^{-5}$	1-2,5
Liivsavid	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	2,5-5
Savid	10^{-7}	5-8
Rasked savid	10^{-7}	8-10
Turvas	$10^{-3} \dots 10^{-4}$	1-7

2.3.2.3. Dreenkihi arvutus

Dreenkihi arvutus toimub vastavalt Elastsete teekatendite projekteerimise juhendile 2001-52 [26].

Seoses niiskuse ümberpaiknemisega, koguneb talvel alumistest soojadest kihtidest külmumispiirile vesi, mis seal külmub jääläätsedeks. Kuna külmumine on pikaajaline protsess, siis tekib jää loomulikult mitmesse kihti alates ülevalt kuni külmumissügavuseni. Ebasoodsate niiskustingimuste korral võib vee hulk olla märkimisväärne.

Kevadel algab sulamine loomulikult tumedama asfaltkatte alt, peenarde alt algab sulamine üldjuhul ~ nädala jagu hiljem. Külmunud pinnas teekatte all omandab küna kuju ja kuna vee äravool ei ole veel tagatud (võimaliku dreenkihi ääred on alles külmunud ja ka muud veeviimarid ei tööta veel), siis algab eelpoolmainitud künassee vee kogunemine. Autode sõitmisel sellisel teel tekib üleniiskunud pinnases hüdrodünaamiline surve, pinnase vastupidavus nihkele väheneb ja tihti lõpeb kogu protsess katte purunemisega. Järelikult peab olema garanteeritud vee õigeaegne äravool dreenkihi kaudu (või dreenkihti!).

Vee hulk, mis kevadisel sulamisperioodil alusesse koguneb, on peamiselt kahte päritolu:

- 1) vesi, mis vabaneb katte ja peenarde all oleva pinnase sulamisel;
- 2) ülevalt läbi pragude, vuukide ja peenarde imbunud kevadine vihmavesi.

Meie kliimas on pinnase sulamise kiirus katte all umbes 5 cm päevas, peenardel umbes 3 cm päevas. Järelikult tuleb leida koht kuhu mahutada 3-6 päeva jooksul kogunev vesi. Üks võimalus on kogu vesi mahutada dreenkihi pooridesse.

Sulav pinnas on võimeline mahutama vee hulka, mis on ligikaudu 0,75 voolavuspiirile vastavast niiskusest, ülejäänud osa surutakse üles dreenkihti. Kuna on väga raske täpselt määrata, kui suur on vee kogus mingil konkreetsel teelõigul, kasutatakse kogemuslikul teel (vaatlused, mõõtmised) saadud keskmisi ööpäevaseid veehulki. Arvutuslik vee hulk q_a , mis võib sattuda dreenkihti ööpäevas, leitakse valemiga

$$q_a = q \cdot k_e \cdot k_h / 1000, \quad (2.17)$$

kus q – normatiivne dreenkihti sattuda võiva vee hulk ööpäevas (tabel 2.29);

Q – normatiivne dreenkihti sattuda võiva vee koguhulk (tabel 2.29);

k_e – tegur, mis arvestab pinnase ebaühtlast ülessulamist ja sademete hulka (tabel 2.30)

k_h – hüdroloogiline varutegur, mis arvestab dreenkihi filtratsioonivõime vähenemist eksploatatsiooni käigus (peente osakeste sattumine liivakihti jms.) (tabel 2.30).

Tabel 2.29

Normatiivne dreenkihti sattuda võiva vee koguhulk Q [l/m^2] (murru lugejas) ja hulk ööpäevas q [l/m^2 ööpäevas] (murru nimetajas)

Niiskus- paikkonna tüüp	Mulde pinnas			
	Kerge mittetolmne saviliiv, tolme liiv	Mittetolmne liivsavi ja savi	Tolmne liivsavi	Tolmne saviliiv
1	15/2,5	25/2,5	43,75/3,75	100/4,38
2	25/3	62,5/3,75	100/5	162,5/5,6
3	60/3,5	112,5/5	162,5/5,6	225/6,25

Märkus: Mittetolmsetest pinnastest mullete puhul mille kõrgus on normatiivsest suurem, võetakse q võrdseks $1,5 \text{ l/m}^2$ ööpäevas. Haljasriba (eraldusriba) olemasolu korral tuleb normatiivsetest madalamate mullete puhul nullprofiilis suurendada tabeli 2.29 väärtusi 20 %.

Tabel 2.30

Tegur, mis arvestab pinnase ebaühtlast ülessulamist ja sademete hulka (k_e) ja hüdroloogiline varutegur (k_h)

Niiskus-paikkonna tüüp	Mittetolmne pinnas	Tolmne pinnas	
	k_e	k_e	k_h
1	1,5	1,5	1,0/1,0
2	1,5	1,6	1,2/1,2
3	1,6	1,7	1,3/1,2

Märkus: Mittetolmsete mulde pinnaste puhul k_h on 1,0; k_h lugejas on kiirtee, I ja II klassi ning nimetajas III-IV klassi teele vastavad arvud.

Kogu arvutuslik veehulk sulamise hilinemisest:

$$Q_a = q_a T_{\text{tag}}, \quad (2.18)$$

kus T_{tag} – veeviimarite sulamise hilinemine, meie kliimatsoonis 4-6 päeva, suurem hilinemine vastab peenliivadele.

Abinõud, mis aitavad vähendada pinnavete tungimist alusesse ja pinnasesse (ühtlasi ka drenikihti):

- peenarde kindlustamine koos vajaliku põikkalde andmisega (0,5-0,75 m);
- piirete ehitamine sõidutee äärde;
- õigete nõlvakallete kasutamine;
- külgekraavide läbimõeldud paigutus;
- aluse monoliitsete kihtide ehitamine laiemana kui katte ülaosa;
- soojusisolatsioonikihtide rajamine (vähendab niiskuse tungimist ~ 20 %).

Dreenihi arvutamisel on vaja teada, et mitte iga igasugune materjal ei sobi drenikihi ehitamiseks. Materjali sobivuse drenikihi jaoks määrab (peamiselt) üksainus näitaja – filtratsioonimoodul K_f (tabel 2.31).

Tabel 2.31

Filtratsioonimooduli K_f soovitatavad minimaalsed väärtused

Paikkonna tüüp	Sõidutee laius (m)	Min K_f (m/ööp)
2	6	3 (2)
	7..7,5	4
	12 ja enam	5
3	6	4
	7..7,5	6
	12 ja enam	10

Dreenihi materjalidena võib kasutada (v.a peen-) liiva, sõelmeid, kruusa või killustikku, mille $K_f = 2$., kui tee asetseb 2.paikkonnas; 3.paikkonna puhul $K_f > 3 \text{ m / ööp}$.

Kui katendi külmakindluse või tugevusarvutustest tulenevalt on liivakihi paksus = 40 cm, siis võib drenkihi materjalina kasutada ka peenliiva, mille $K_f = 2 \text{ m / ööp}$.

Nõuded drenkihi materjali terakoostisele on samad nagu külmakaitsekihtide puhul.

Kui muud asjaolud seda võimaldavad, võib sõrmermaterjalist drenkihi asemel kasutada tootja poolt garanteeritud näitajatega filtreerivat geotekstiili või geokomposiiti.

Drenkihi arvutusviis sõltub drenkihi materjali filtratsioonimoodulist:

- kasutades materjali, mille $K_f < 4 \text{ m/ööp}$, arvutatakse tingimusele, et oleks garanteeritud kogu vee õigeaegne ärajuhtimine; mahutavusarvutust ei teostata, kuna kogemused näitavad, et sel juhul on tagatud ka sulamisperioodil tekkiva vee mahtumine;
- kasutades materjali, mille $K_f > 7 \text{ m/ööp}$, arvestatakse ainult sulamisperioodil tekkiva vee mahtumise võimalust drenkihi materjali pooridesse; eeldatakse, et hilisema vee ärajuhtimisega ei teki mingeid probleeme;
- kasutades materjali, mille $K_f = 4..7 \text{ m/ööp}$, tuleb kontrollida nii sulamisperioodil tekkiva vee mahtumise võimalust drenkihi materjali pooridesse kui ka vee õigeaegset ärajuhtimist.

Sõltumata arvutustulemustest ei tohi drenkiht olla õhem kui 0,20 m. Sama kehtib ka juhul, kui mulde pinnas ($K_f > 0,5 \text{ m/ööp}$) ei tingi drenkihi ehitamist, kuid liivakiht on vajalik kui katendi konstruktiivne kiht. Ka selline filtratsiooni arvutuste seisukohalt mittevajalik liivakiht ehitatakse kogu mulde laiusena; kõik teised konstruktiivsed kihid on muldest kitsamad.

Drenkiht, olles katendi kõige alumine osa, on samaaegselt madaldreanaažiks, mille peamiseks ülesandeks on ülaltpoolt, s.o läbi katte ja aluse imbuva sademetevee eemaldamine muldkeha nõlvadele, kust see valgub veeviimaritesse või filtreerub teemaa pinnasesse.

Drenkihi ülesandeks pole kapillaartõusu katkestamine. Muldkeha peab olema nii projekteeritud, et kapillaarvee tõus ei ulatuks drenkihi alapinnani. See tagatakse muldkeha kõrgusega pinna- ja pinnasevee suhtes või erandjuhtumil muldkeha sisse ehitatud kapillaartõusu katkestavate spetsiaalsete kihtide või pinnaseveetaseme alandamisega sügavdreanaaži abil. Sügavdreanaaži olemasolul on võimalik ja soovitatav drenkihist vee juhtimine sügavdreanaaži.

Drenkihi konstruktsiooni projekteerimisele eelnevalt tuleb järgmiste tunnuste järgi projektiga käsitletav tee(lõik) jagada iseloomulikeks osadeks:

- süvendid;
- mulded;
- paikkonna tüübid;
- muldkeha pinnased;
- normidest madalam muldkeha;
- pikiprofiili muud iseärasused;
- põikprofiilide iseärasused (näiteks sõidutee ühepoolse kaldega teelõigud);
- veeviimarite ja eesvoolude olemasolu ja
- muud (projekteerija äranägemisel).

Nende tunnuste järgi määratakse arvutusprofiilid ja rakendamise ulatus. Igale arvutusprofiilile valitakse drenikihi konstruktsioon. Peamine valik tuleb teha kahe variandi vahel:

- filterpikitorudeta muldkeha laiune drenikiht või
- muldkeha laiune pikifiltertorudega drenikiht.

Pikifiltertorudeta drenikihi puhul peab arvestama, et muldkeha nõlvadele avanevad drenikihi otsad võivad aja jooksul osaliselt või täielikult ummistuda. Korraliste remontide ajal tuleb drenikihi otstes materjal uuendada. Pikifiltertorudeta drenikihis voolava vee filtratsioonitee pikkus on suurem kui pikifiltertorudega drenikihi puhul. Seda tuleb arvestada drenikihi materjali valikul.

Pikifiltertoru paigutatakse drenikihi all asetsevasse filterpuistega 30 cm sügavusega kraavi, mis asetseb sõidutee serva kohal.

Muldkeha laiune pikifiltertorudega drenikiht valitakse siis, kui:

- tee(lõik) asetseb süvendis;
- muldkeha on normidest madalam;
- 3. paikkonnas on muldkeha pinnaseks mittetolmne liivsavi või savi;
- 2., 3. paikkonnas on muldkeha pinnaseks tolme liivsavi või tolme saviliiv;
- projekteerija peab seda vajalikuks muudel põhjendatud olukordadel.

Sõltumata drenikihi konstruktsioonist peab drenikihi põhja põiklalle olema $\geq 40\%$.

Drenikihi ühepoolse kalde puhul (viraažidel, kiir- ja I klassi teedel), kui filtratsioonitee pikkus on >10 m, sõltumata muudest asjaoludest, tuleb projekteerida pikifiltertorudega drenikiht. Viraažidel, kui filtratsioonitee pikkus on < 10 m, võib projekteerida kahepoolse kaldega pikifiltertorudeta drenikihti.

Teades katendi ja drenikihi konstruktsiooni kõiki mõõtmeid, ka mulde nõlva kaldeid, on võimalik filtratsioonitee pikkust iga konkreetse juhtumi jaoks täpselt määrata. Orienteeruvad pikkused on toodud tabelis 2.32.

Tabeli 2.32

Filtratsioonitee orienteeruvad pikkused (m)

Sõidutee	Drenikihi konstruktsioon	
	Sõidutee laiune drenikiht ja torudreenid piki sõidutee serva	Drenikiht kogu mulde laiuse ulatuses
Laius 7-7,5 m, kahepoolne põiklalle	3,75 ... 4	7,5
Laius 7-7,5 m, ühepoolne põiklalle	8	10,5
Neljarealine kahepoolse põikkaldega sõidutee	8	10,5

Pikifiltertorudest (läbimõõt 8 ... 10 cm) väljalasud tehakse põiktorudega, mille

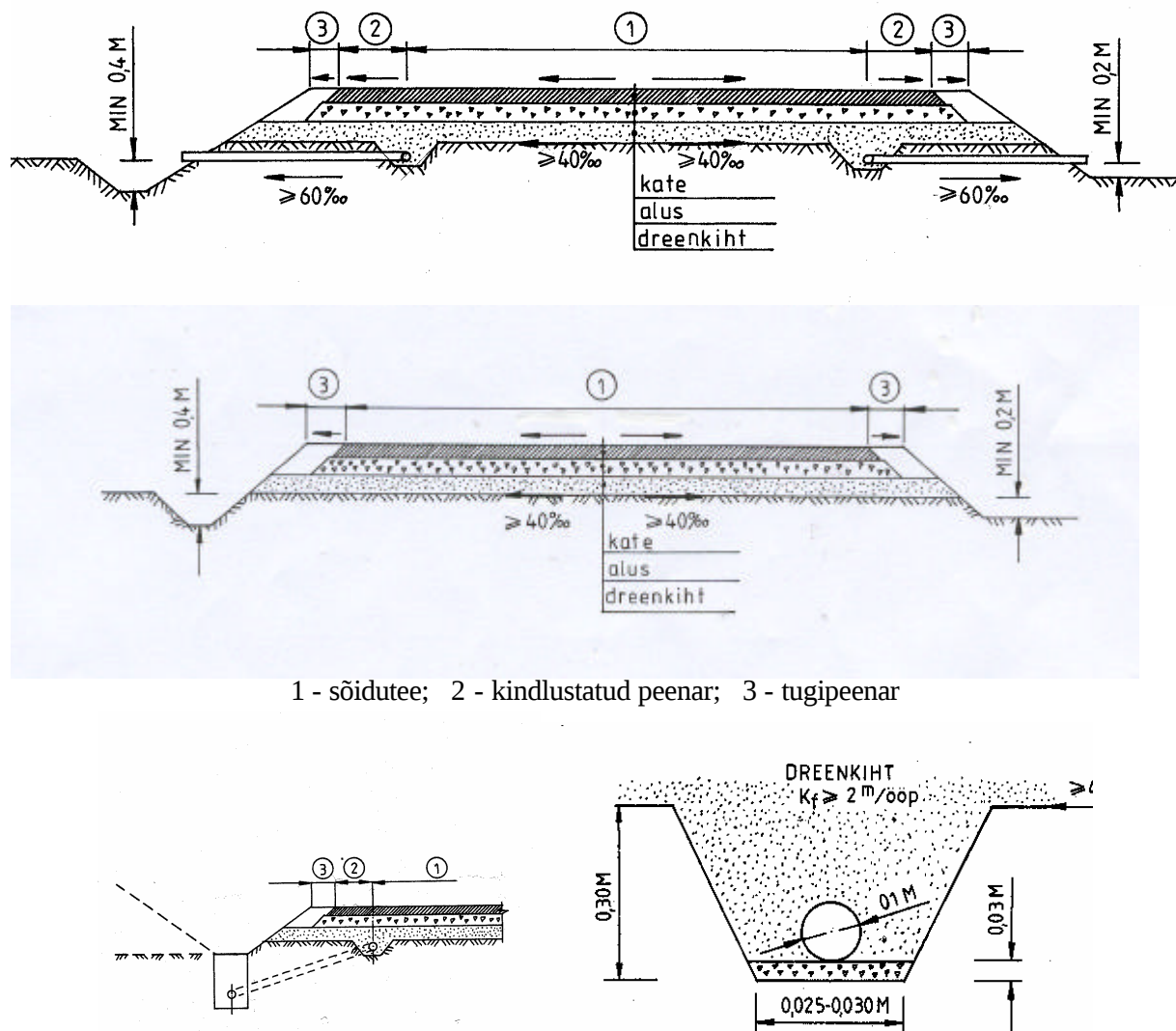
- läbimõõt on 8 ... 10 cm;
- kalle peab olem suurem pikifiltertoru kaldest, kuid vähemalt 40‰;
- vahekaugused pole suuremad kui 200 m ja mis asetsevad sõidutee telje suhtes 45° nurga all.

Pikifiltertoru algab ja lõpeb põikväljalasuga, mis alguses on sõidutee telje suhtes 145° ja lõpus 45° all.

Pikifiltertoru pikikalle võrdub sõidutee pikikaldega, kuid peab olema $\geq 5\%$.

Pika ühesuunalise pikikaldega, kui see on suurem põikkaldest, lõikudel ja pikiprofiili nõgusatesse murdepunktidesse asetatakse drenkihi alla muldkeha põiksuunas läbivasse 30 cm sügavusega filterpuistega kraavi filtertoru läbimõõduga 8 – 10 cm. Selliste põikfiltertorude (põikdrenaaži) vahekaugus ühesuunalise pikikaldega lõikudel on 50 m.

Dreenkihi konstruktsiooni näidisskeemid on esitatud [joonisel 2.5](#).



Joonis 2.5 Dreenkihi konstruktsiooni näidisskeemid

Esialgu määratakse projekteerimisel drenkihi (liivakihi) paksus konstruktiivselt või lähtudes külmakindluse kaalutlustest. Seejärel kontrollitakse kihti pooride mahutavusele. Seejuures tuleb arvestada, et veega küllastumist võib lubada ainult liivakihi alumises osas, ülemises osas

võib olla ainult kapillaartõusust tulenev vesi. Niisiis, sõltumata drenikihi materjali filtratsioonimoodulist ja konstruktiivsetest iseärasustest, koosneb drenikihi kogupaksus H kahest osast:

$$H = h_k + h_v, \quad (2.19)$$

Kus h_k – veest täielikult küllastunud kihi paksus; drenikihi kogupaksuse määramisel arvutatakse ainult selle kihi paksus;
 h_v – paksuse varu, ei arvutata vaid võetakse tabelist 2.33 võrdseks h_1 -ga.

Tabel 2.33

Kapillaartsooni veejuhtivustegur ja kapillaarvee liikumise taseme kõrgus

Liiva kirjeldus	Kapillaartsooni veejuhtivustegur K_w (m/ööp)	Kapillaarvee liikumise taseme kõrgus h_1 (m)
Jämeliiv	0,55	0,10-0,12
Keskliiv	0,60	0,14-0,15
Peenliiv	0,65	0,18-0,20

Dreenikihi arvutus vee ärajuhtimisele

Matemaatiliselt oleks drenikihi arvutus vee ärajuhtimisele sarnane torudreeni arvutusele (kasutatakse Darcy valemit):

$$Q = K_f h (i - dh / dx), \quad (2.20)$$

kus Q – drenikihi 1m laiuse riba läbilaskevõime;
 K_f – drenikihi filtratsioonimoodul, m/ööp;
 i – drenikihi põhja kalle;
 h – muutuva kõrgusega veekiht drenikihis.

Teiselt poolt on 1 m laiuse riba kohta tulev veehulk Q [m³/ööp] kevadel:

$$Q = q x, \quad (2.21)$$

kus x – kaugus tee teljest.

Pannes mõlemad pooled võrduma, saame:

$$q x dx / K_f = i h dx - h dh \quad (2.22)$$

Integreerides x 0-st kuni L -ni ja h h_1 -st kuni h_2 -ni, saame valemi:

$$L^2 Q / (2K_f) = i L (2h_1 + h_2) / 3 + (h_1^2 + h_2^2) / 2 \quad (2.23)$$

h_2 – võetakse tavaliselt 0,05 m (veevoolu sügavus torudreenis).

Valem võimaldab leida drenikihi paksuse h_1 , teades i , L , Q ja K_f väärtuseid, või siis teades ülejäänud parameetreid, leida vajaliku filtratsioonimooduli K_f .

Dreenihi arvutus sulamisvee mahutavusele.

Dreenihi paksust, mis on võimeline mahutama kogu kevadel koguneva vee saab arvutada järgneva valemi abil:

$$h = (((q k_e k_h T_{tag})/n + h_v(1-f_k))/(1-f_{talv})), \quad (2.24)$$

kus n – dreenihi materjali poorsus;
 ϕ_k – ülemise, kapillaarvett sisaldava kihi täitumus (võetakse ~ 0,7);
 ϕ_{talv} – tegur mis arvestab dreenihi materjali pooride täituvust veega enne sulamise algust, võetakse sõltuvalt poorsusest ja kihi paksusest 0,3-0,7 (tabel 2.34).

Tabel 2.34

Tegur mis arvestab dreenihi materjali pooride täituvust veega enne sulamise algust

Dreenihi paksus, cm	ϕ_{talv} dreenihi poorsuse n puhul			
	0,4	0,36	0,32	0,28
kuni 20	0,4	0,5	0,6	0,7
20-40	0,35	0,4	0,5	0,6
> 40	0,3	0,35	0,45	0,55

Valemi (2.24) lihtsustatud kuju:

$$h = ((Q/n + 0,3h_v)/(1-f_{talv})). \quad (2.24a)$$

Dreenihi arvutamise tulemusi on võimalik korrigeerida, muutes:

- dreenihi materjali filtratsioonimoodulit;
- dreenihi põikkallet;
- filtratsioonitee pikkust.

2.4. PROBLEEMSE TEEKATENDI KONSTRUKTSIOONIKIHI LEIDMINE FWD MÕÕTMISTULEMUSTE ALUSEL – PRAKTILINE NÄIDE [35]

AS Teede Tehnokeskuse PMS-grupp mõotis AS ASPI tellimusel augustis 2006 aastal maanteel nr 18 Niitvälja-Kulna teekonstruktsiooni kandevõimet kokku 26-s punktis.

Niitvälja-Kulna maantee aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus (2006.a. liiklusloenduse andmetel) on maantee alguses (0,5 km kaugusel) orienteeruvalt 1500 autot ööpäevas ja maantee lõpus (3,9 km kaugusel) orienteeruvalt 1200 autot ööpäevas. Normatiivne liikluskoormus on kogu maanteel 358 normtelge ööpäevas. Liiklussagedus on viimase 10 aastaga kasvanud 2 korda. Vastavalt hetke koormussagedusele on nõutav teekonstruktsiooni elastsusmoodul 235 MPa. Enamus kandevõime mõõtmistulemustest vastavad nõutavale teekonstruktsiooni kandevõimele. Ainult 5-s punktis 26-st, ehk 20 % jääb mõõdetud teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul alla nõutava väärtuse. Juhul kui koormussagedus kahekordistub, siis kasvab nõutav teekonstruktsiooni üldine elastsusmoodul 260 MPa-ni.

Rahvusvahelises praktikas on kasutusel erinevaid parameetreid katendi seisukorra määratlemiseks. Antud parameetreid on täpsemalt uurinud magistrant Priit Paabo oma 2006.a. valminud magistritöös [36].

Katendi üldise seisukorra võimalikult täpseks hindamiseks vaadeldakse katendi kihte eraldi, eristades seotud kihid, aluse ja aluspinnase. Selline kihtkihiline analüüs võimaldab osutada katendikonstruktsiooni kihile, kus võimalikud probleemid (nt. ebasobiv materjal) paiknevad.

Katendi erinevate konstruktsioonikihtide hindamiseks on võimalik kasutada:

- Seotud kihtide puhul – Surface Curvature Index (SCI) e. pinna kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D1 ja D2 lugemite vahe ($d_0 - d_{300}$);
- Aluse puhul – Base Damage Index (BDI) e. aluse vigastatuse tegur – FWD läbivajumisandurite D2 ja D3 lugemite vahe ($d_{300} - d_{600}$);
- Aluspinnase puhul – Base Curvature Index e. aluse kõverustegur – FWD läbivajumisandurite D6 ja D7 lugemite vahe ($d_{1200} - d_{1500}$).

Kõikide nende väärtuste leidmisel on arvestatud, et 50 kN koormuse puhul on vajalik kontaktsurve ekvivalent 300 mm plaadil 707 kPa.

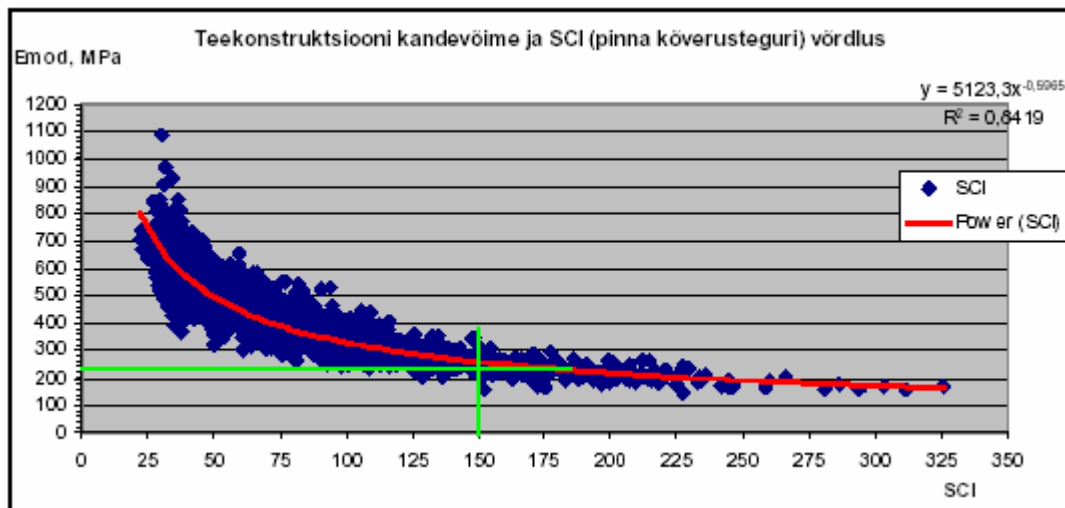
Pinna kõverusteguri ehk SCI (Surface Curvature Index), aluse vigastatuse teguri ehk BDI (Base Damage Index) ja aluse kõverusteguri ehk BCI (Base Curvature Index) kasutamise eeliseks on asjaolu, et vajalikud arvutusvalemid on lihtsad. Eestis on neid parameetreid seni vähe kasutatud ja otsesed piirväärtused antud parameetritele vajavad veel täpsustamist, kuid lähtudes võrdlusemomendist (võrreldes toodud väärtusi nendes kohtades, kus katendis probleeme ei ole, nende kohtadega, kus probleemid esinevad) on võimalik neid siiski ka juba praegu kasutada.



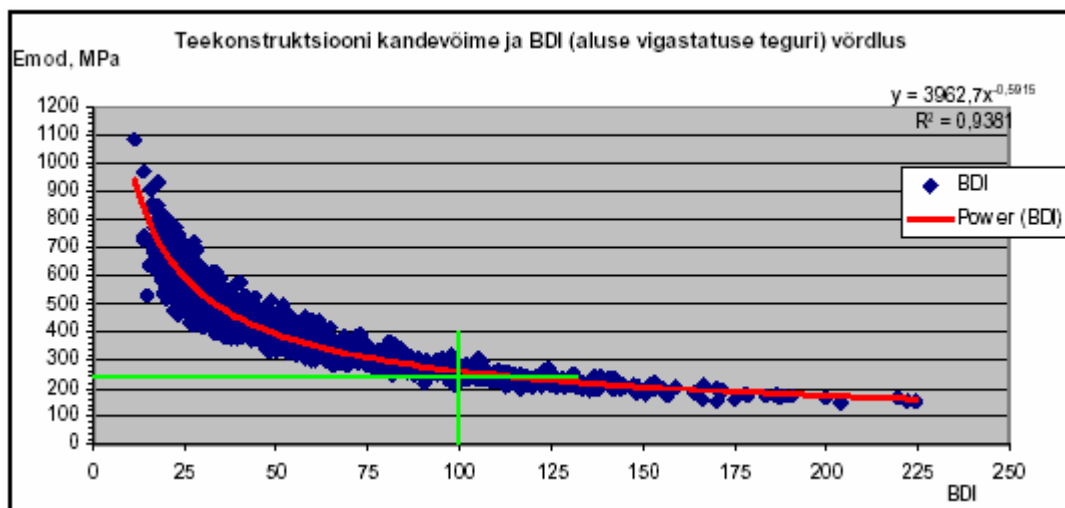
Joonis 2.6 Roobas maanteel nr. 18 Niitvälja-Kulna vasakpoolsel sõidurajal aadressil 18_1_1_1150

Piirväärtused eelpool toodud parameetritele on teekonstruktsiooni seisukorra kirjeldamiseks kehtestatud lähtudes 2005.a. Eesti teedevõrgul teostatud FWD mõõtmistulemuste põhjal arvutatud SCI, BDI ja BCI väärtuste ja neile vastavate teekonstruktsiooni kandevõime väärtuste vaheliste seoste alusel (joonised 2.7 ... 2.8). Lähtudes leitud seostes võime piisava usaldusväärsusega kehtestada järgmised piirväärtused:

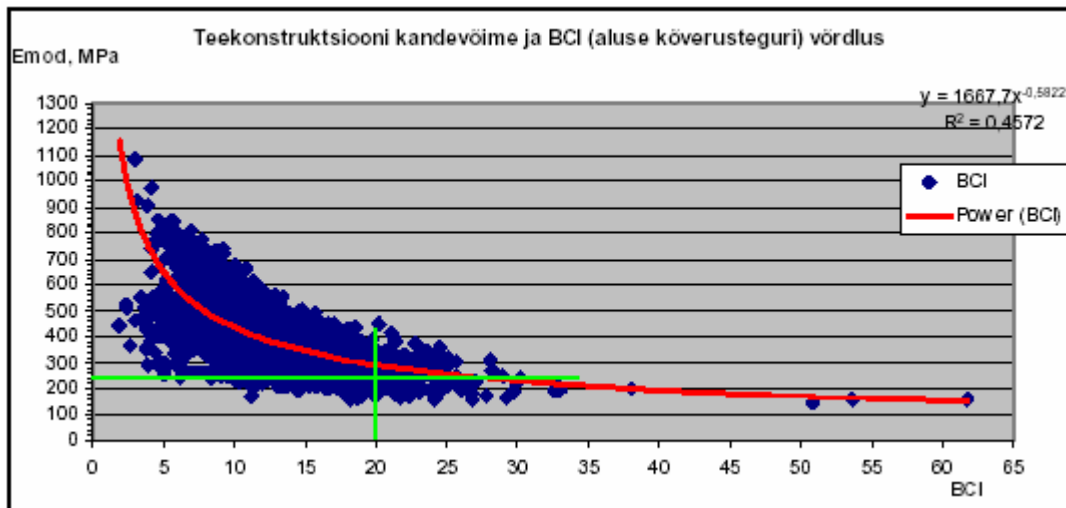
- SCI > 150 - seotud kihtides esineb probleeme;
- BDI > 100 - aluskihis esineb probleeme;
- BCI > 20 - aluspinnases esineb probleeme.



Joonis 2.7 Teekonstruktsiooni kandevõime ja SCI vaheline võrdlus

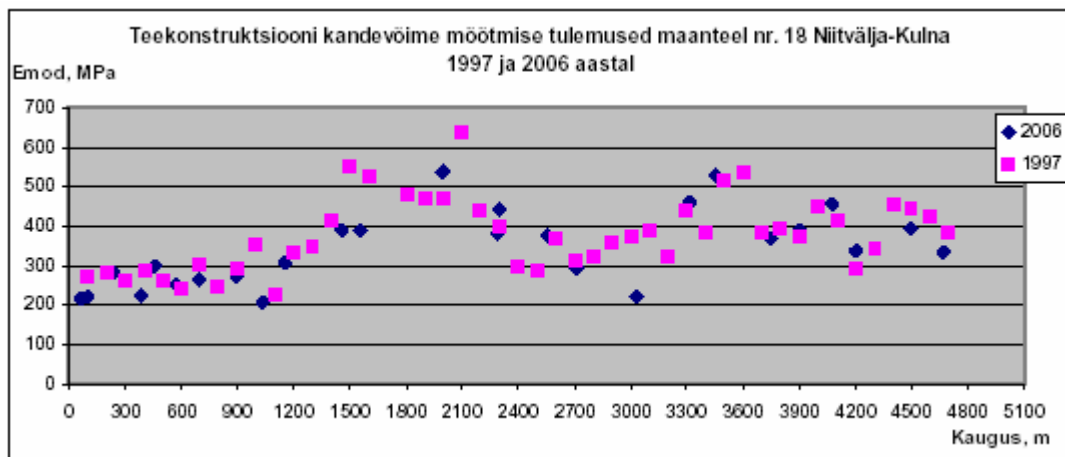


Joonis 2.8 Teekonstruktsiooni kandevõime ja BDI vaheline võrdlus



Joonis 2.9 Teekonstruktsiooni kandevõime ja BCI vaheline võrdlus

Võrreldes teekonstruktsiooni seisukorda praegu (2006 aastal) ja 1997 aastal (10 aastat tagasi), on näha, et teekonstruktsiooni üldine kandevõime ei ole aja jooksul praktiliselt üldse muutunud (joonis 2.10). Kuna antud maanteel niiskuspõlde ei esine, siis on see tulemus üsna ootuspärane.

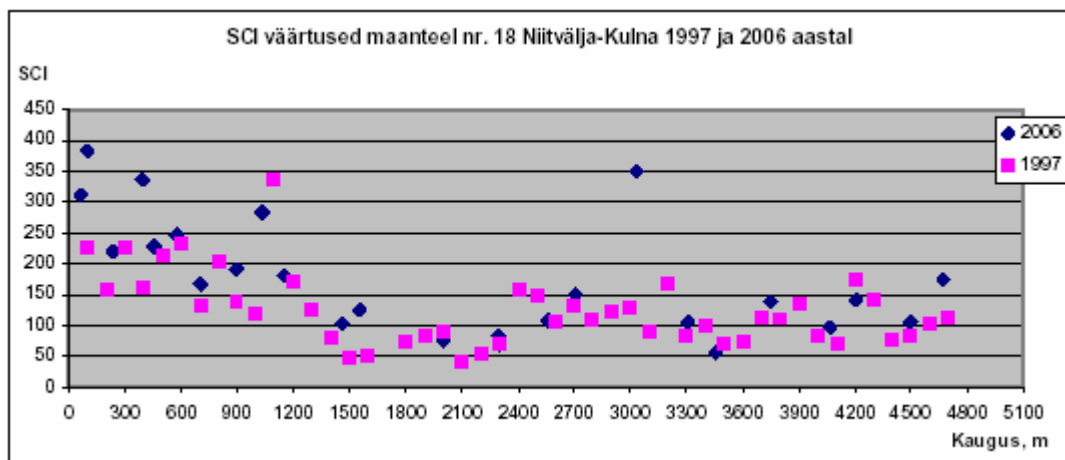


Joonis 2.10 Teekonstruktsiooni kandevõime 1997 ja 2006 aastal

FWD mõõtmistulemuste alusel arvatud SCI, BDI ja BCI parameetrite väärtused näitavad, et Niitvälja-Kulna maanteel on probleemid eelkõige teekonstruktsiooni ülemistes kihtides.

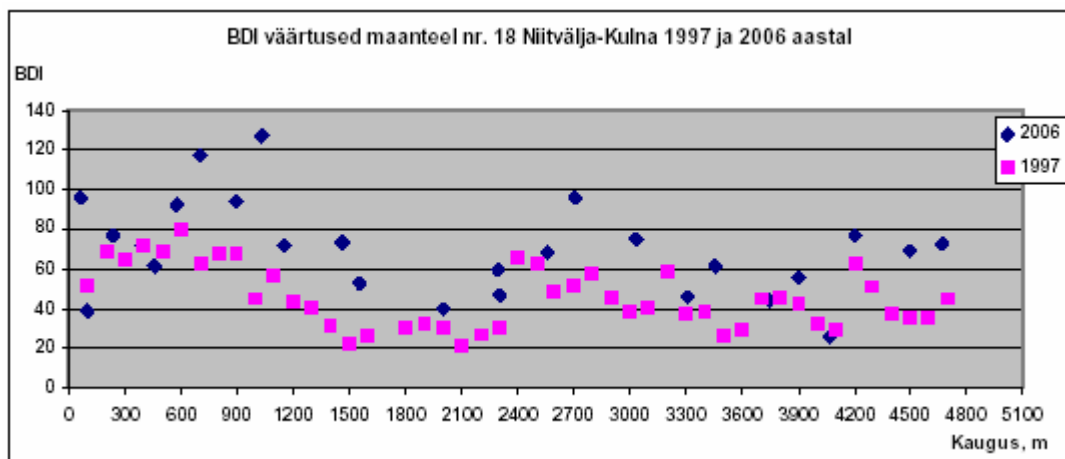
Pinna kõverusteguri SCI võrdlus näitab, et see ei ole viimase kümne aasta jooksul eriti muutunud. Erandiks on ainult maantee esimene kilomeeter, kus on võimalik täheldada SCI teguri mõningast kasvu, ehk siis teekonstruktsiooni ülemised kihid on muutunud nõrgemaks. SCI väärtused on kohati, eriti mõõdetud lõigu algusosas (umbes 1 km ulatuses), selgelt üle piirväärtuse 150. Lisaks on SCI väärtused kogu lõigu lõpuosa ulatuses (km 2,7-4,6) piirväärtuse lähedased. Selle tulemusena võime järeldada, et sellel lõigul esinevad suured probleemid katendikonstruktsiooni ülemistes (0-30 cm) kihtides. (Joonis 2.11). Seda

illustreerib ka katte tegelik seisukord (joonis 2.6), kus valdavaks on nihkejõudude toimetel katte ülemistes kihtides tekkinud roopad.



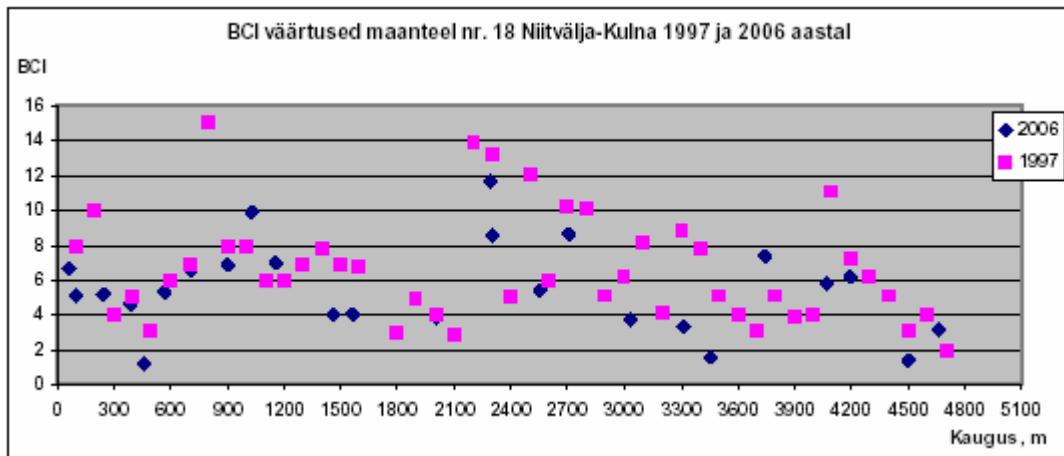
Joonis 2.11 SCI väärtuste muutumine ajavahemikul 1997 kuni 2006 a.

Aluskihi seisukorda iseloomustav BDI tegur on viimase 10 aastaga kogu maantee ulatuses selgelt kasvanud (joonis 2.12), mis näitab, et aluse (sügavusel 30-60 cm) seisukord on selle aja jooksul märkimisväärselt halvenenud. Mõnes kohas on BDI piirväärtus (100) ületatud või lähedal sellele.



Joonis 2.12 BDI väärtuste muutumine ajavahemikul 1997 kuni 2006 a.

BCI väärtused, ehk siis aluspinnase tugevust iseloomustav näitaja ei ole viimase 10 aasta jooksul praktiliselt üldse muutunud. Aluspinnase seisukorda iseloomustav BCI väärtus on kõigis mõõdetud punktides selgelt allpool piirväärtust (20) ja seega aluspinnasega probleeme ei esine. (Joonis 2.13).



Joonis 2.13 BCI väärtuste muutumine ajavahemikul 1997 kuni 2006 a.

Eeltoodud analüüsi tulemusena võime järeldada, et maanteel nr. 18 Niitvälja-Kulna on probleemid - ja kohati väga tõsised – peamiselt teekonstruktsiooni ülemistes kihtides. Mõõtmistulemuste põhjal on selgelt näha, et teekonstruktsiooni ülemised kihid vajavad uuendamist, kuna nende töötamisvõime on praktiliselt ammendunud. Lisaks on võimalik täheldada katendikonstruktsiooni tugevuse vähenemise siirdumist alumistesse konstruktsiooni kihtidesse (teekatte pinnast 30-60 cm sügavusele). Aluspinnase (teekatte pinnast 1,2-1,5 m sügavusel) tugevus on hetkel hea ja see antud analüüsi alusel uuendamist ei vaja.

2.5. KOKKUVÕTE

Muldkeha remondi projekteerimisel tuleb üldjuhul juhendada samadest nõuetest, mis kehtivad ka uue tee projekteerimisel. Üheks olulisemaks momendiks on olemasoleva katendikonstruktsiooni, mulde ja aluspinnaste seisukorra hindamine selleks, et teha kindlaks vastavate konstruktsioonikihtide välja vahetamise vajadus.

Eriti tähtis on mulde pinnase ja aluspinnase tüübi ja muude omaduste täpne määratlemine, kuna sellest sõltuvad suuresti neile projekteeritavate katendikonstruktsiooni kihtide paksused. Viimased moodustavad tee maksumusest olulise osa ja juba väike kokkuhoid nende paksuses annab märkimisväärse rahalise kokkuhoiu.

Muldkehas olemasolevad/(kasutatavad) pinnased peavad vastama Maanteede projekteerimismõnides esitatud nõuetele. Kui olemasolevad pinnased kehtivatele normidele ei vasta, tuleb nad muldkeha remondi käigus asendada uutega või näha ette meetmed olemasolevate pinnaste omaduste parendamiseks.

Olemasoleva mulde laiendamisel tuleks eelistada pinnase muldesse sobivusel viimase laiuli lükkamist kogu uue laiendatava mulde laiuselt, millele siis veetakse vastavalt projektile näiteks täiendav kogus sobivat pinnast mulde tõstmiseks vajalikule kõrgusele. Sellega välditakse kõrvutiasetsevate erinevate pinnaste võimalikku erinevat käitumist mulde soojus- ja niiskusrežiimi muutumisel ja pikiprao tekkimist mööda olemasoleva mulde ja selle laienduse kokkupuutepinda.

Kui olemasoleva muldkeha laiendamisel ei ole mingitel põhjustel võimalik seda kogu laiendatava mulde laiuselt laiali lükata, vaid laiendus tuleb ehitada juurde veetavast pinnasest, tuleb teha kõik selleks, et vältida võimalikke tekkida võivaid probleeme. Selleks tuleb erilist tähelepanu pöörata:

- laienduse mulde ehituseks kasutatava pinnase valikule,
- laienduse nõuetekohasele tihendamisele ja
- vajadusel erimeetmete (näiteks geosünteedide, kergete mulde materjalide – näiteks kergkruus ja vahtpolüstirool) kasutamise.

Olemasoleva muldkeha remondi projekteerimisel tuleb sobiv lahendus leida igal üksikjuhul eraldi, vastavalt kohapeal eksisteerivatele tingimustele. Üldist ja kõikjale sobivat ühest lahendust muldkeha remondi projekteerimiseks ei ole olemas.

Muldkeha remondi projekteerimise võib põhimõtteliselt jagada järgmisteks etappideks:

- Olemasoleva teekonstruktsiooni tugevuse hindamine (näiteks FWD);
- Geoloogilise uuringud olemasoleva konstruktsiooni kindlaksmääramiseks (kihipaksused, materjalide ja pinnaste tüübid, pinnasevee tase jmt.);
- Geoloogiliste uuringute käigus võetud materjali- ja pinnaseproovide laboratoorsed katsetused;
- Olemasoleva katendikonstruktsiooni, mulde ja aluspinnase seisukorra hinnang ja asendamisele kuuluvate kihtide määratlemine;
- Uue katendi arvutus arvestades geoloogilise ja laboratoorse uuringu tulemusi ning teatud materjalide/pinnaste välja vahetamise otsust nende mitesobivuse tõttu.

KASUTATUD INFORMATSIOONIALLIKAD

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

24. TENAX Design of Flexible Pavements with Tenax Geogrids, Technical Reference Grid-de-2, 2001
<http://www.tenaxus.com/roads/designinformation/designmanual/FlexiblePavement.pdf>
25. AASTHO Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. ISBN 1-56051-055-2. Washington DC, 1993.
26. Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52. Maanteeamet. Tallinn, 2001. 50 lk.
27. Maanteede projekteerimisnormid. Eelnõu. TTÜ teedeinstituut, 2005.
<http://www.mnt.ee/atp/?id=811>
28. ?????????? ?? ?????????????????? ?????????? ?????????????? ??????. BCH 46-83.
? ?????????????? CCCP. Moscow, Transport, 1985. 157 p.
29. GOST 25100-82 Gruntõ. Klassifikacija. Moskva, 1981. 9 lk.
30. GOST 25100-95 Gruntõ. Klassifikacija. lk.6, 20-22.
31. Eesti projekteerimisnormid, EPN-ENV 7.1. Lisa 9, Geotehniline projekteerimine. Eesti Ehitusinformatsioon, ET-1 0113-0237. Juuni 1998. 6 lk.
32. EVS-EN ISO 14688-1:2002. Geotechnical investigation and testing- Identifications and classification of soils. Identification and description.
33. EVS-EN ISO 14688-2:2004. Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of soils. Principles for a classification.
34. EVS-EN ISO 14689:2004. Geotechnical investigation and testing- Identification and classification of rock. Identification and description.
35. Teekonstruktsiooni kandevõimest mnt nr. 18 Niitvälja-Kulna. AS Teede Tehnokeskus, PMS grupp, Tallinn 2006. 17lk.
36. Priit Paabo. Teekatendite tugevuse hindamine dünaamilise koormusseadmega. Magistritöö, TTÜ teedeinstituut, Tallinn 2006. 77 lk.