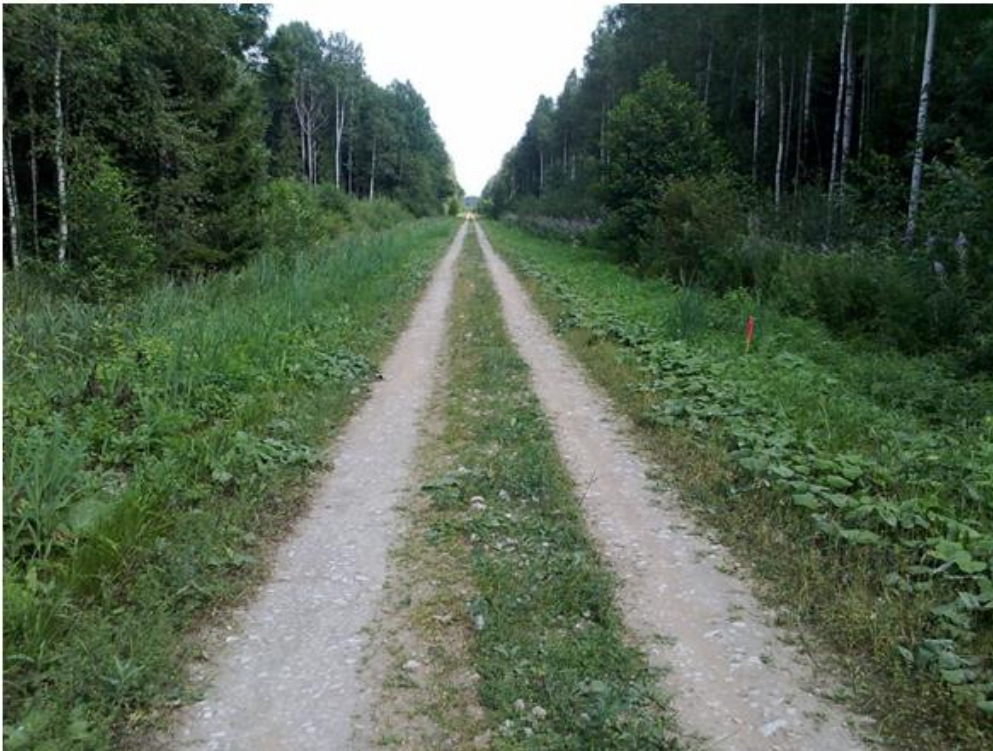




TALLINNA TEHNIKAKÕRGGKOO
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

**RMK metsateede katendite projekteerimise, ehitamise ja hooldamise
juhend**

Versioon 1.1 (aprill 2014)



Tallinn 2012

RMK metsateede katendite projekteerimise, ehitamise ja hooldamise juhend

Tellijä: Riigimetsa Majandamise Keskus

Viljandi mnt 18 b, 11216 Tallinn

Telefon: 676 7500

Kontaktisik: Toomas Kivisto (e-mail: Toomas.Kivisto@rmk.ee)

Teostaja: Tallinna Tehnikakõrgkool

Aadress: Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn

Telefon: 666 4500

Vastutav spetsialist: Sven Sillamäe (e-mail: sven@tktk.ee)

Juhendi koostamise nõuandjad ja retsenseerijad:

Prof. Priit Vilba (TTK)

Mati Toome (TTK)

Margus Reimann (RMK)

Genadi Vassiljev (Põllumajandusamet)

Enn Kulp

Tõnu Torim

Peeter Lond

Mait Mets (AS Geotehnika Inseneribüroo), Peeter Talviste (IPT Projektijuhtimine), Uile Lemberg (Eesti Keskkonnauuringute keskus, Geotehnikalabor), Rein-Erik Kaar (Kiili teed OÜ), OÜ Kivikandur, Jüri Tamm (ViaCon OÜ), Timo Vares (Roadservice OÜ), Hydroseal OÜ, BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Agne Minsér (Byggros), Raul Oja, Karel Saar (TTK), Reino Poom (AASAT Professional OÜ), Oliver Vilba.

SISUKORD

Eessõna.....	6
Sissejuhatus.....	7
Mõisted ja tähised	9
Osa I – Metsateede projekteerimine.....	15
1. Metsateede projekteerimistasemed	16
1.1 Teede liigitus.....	16
1.2 Teede läbitavus.....	17
2. Tee muldkeha.....	20
2.1 Muldkeha projekteerimine	20
2.1.1 Muldkeha materjalid	22
2.2 Eripinnastele rajatavate teede projekteerimine	27
2.2.1 Turba omadused.....	28
2.2.2 Turba käitumine	33
2.2.3 Turvas ja keskkond	36
2.2.4 Turba tehnilised omadused	36
2.2.5 Vajumiste hindamine turbas	39
2.2.6 Uuringud	47
2.2.7 Ehitusmeetodid	51
2.2.8 Geosünteedid ja eripinnased ehk muldkehade tugevdamine	56
2.3 Veeviimarid	61
3. Katend	63
3.1 Vajalik kandevõime.....	63

3.2 Tüüpkatendid.....	64
3.2.1 Kasutatavatele materjalidele esitatavad nõuded	68
3.2.2 Kulumiskiht	70
3.3 Geosünteedide kasutamine teekatendites – kokkuvõte	70
3.4 Erosioonitõkkematerjalid	73
Osa II – Metsateede ehitamine ja rekonstrueerimine Metsateede hooldamine.....	75
4. Metsateede ehitus	76
4.1 Keskkond.....	76
4.1.1 Üldine	76
4.2 Muldkeha.....	79
4.2.1 Tee ehitamise ettevalmistustööd	79
4.2.2 Veeviimari ehitamise nõuded	79
4.2.3 Tee muldkeha ehitamine	79
4.3 Geotekstiilide ja -võrkude paigaldus.....	81
4.4 Ehitamine eripinnastele	82
4.3 Katendid	85
4.3.1 Teekatendi ehitamise üldised nõuded	86
4.3.2 Kruusast teekonstruktsiooni ehitamine	87
4.3.3 Muud materjalid – aheraine ja killustik	92
5. Metsateede hooldamine ja rekonstrueerimine.....	98
5.1 Metsatee seisundinõuded.....	98
5.2 Metsateede hooldus	101
5.2.1 Vesi ja tee pinna kalded	102
5.2.1 Hõõveldamine	105
5.3 Valmistumine kevadeks	106
5.4 Rekonstrueerimine	108
5.4.1 Roobaste liigid	112

5.5 Turbale ehitatud teede korrashoid	113
Lisa – Geosüntetika olemus	114
6. Geosünteedid.....	115
6.1 Geosünteedide olemus	116
6.2.1 Geosünteedide kvaliteedikontroll ja omadused - üldine.....	117
6.2.2 Geosünteedide kvaliteedikontroll ja omadused – mullete armeerimine.....	120
6.2.3 Geosünteedide kvaliteedikontroll ja omadused – katendite armeerimine	121
6.2.4 Geosünteedide kvaliteedikontroll ja omadused – eraldamine ja filtreerimine	132
Kokkuvõte	136
Viidatud allikate loetelu	138
Lisa 1. CBR.....	140
Lisa 2. Pinnaste geotehniline liigitus	142

EESSÕNA

Käesolev juhend on koostatud eelkõige silmas pidades Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) vajadusi ning seega on juhendis viidatud teede liigitlemised projekteerimise, ehitamise ja hooldamise seisukohast rakendatavad just metsateede puhul.

Juhendis kasutatud lähenemisi võib kasutada ka maaparandusüsteemi teenindava tee katendi projekteerimiseks, ehitamiseks ja hooldamiseks; seosed metsateede järkude ja maaparandussüsteemi teede klasside puhul on esitatud. Juhendis toodud põhimõtteid võib kasutada ka kohalike omavalitsuste, era- ja ajutiste teede puhul.

Tee katendi tugevusarvutusel on võetud sõiduki arvutuslikuks teljekoormuseks 100 kN. Etalonveoki täismassiks on arvestatud 52t.

Juhend käsitleb vaid teede muldkehasid ja katendeid eelkõige kandevõime ja sõitetavuse mõttes. Juhend ei käsitle teede põhiparameetrite, nagu näiteks plaaniliste raadiuste, kallete ja ristmike omaduste määramist; ei käsitleta teerajatisi (sillad, truubid) ja teepäraldiseid (liikluskorraldusvahendid).

Versioonis 1.1 (aprill 2014) on täiendatud mõisteid, metsatee järkude liigitust, tüüpkatendeid, metsatee seisunditasemeid, hooldamise juhendeid ja geosüntetikat puudutavat informatsiooni ning korrigeeritud teksti keelelist poolt.

SISSEJUHATUS

Metsa majandamise juures mängib väga suurt rolli korralik infrastruktuur – kui teed pole korras või pole neid üldse, ei saa tegeleda metsa vääristamisega ja vajaliku väljaveoga. Metsa majandajad on läbi aegade ehitanud tuhandeid kilomeetreid teid ja ehitus jätkub tulevikuski. Teede ehitamine ja nende hilisem hoole nõuab suuri kulutusi, kuna tööd on mahukad. Seetõttu on vaja leida viise, kuidas muuta teid vastupidavamateks ehk vähem hoolet nõudvamateks; samas ei tohiks ehitamise maksumus kujuneda liiga kõrgeks.

Vastavalt RMK aastaaruandele 2010, kulus teede jooksvateks hooldus- ja uuendustöödeks 43,1 milj. EEK ning kapitaalmahus metsaparandussüsteemide ja teede rekonstrueerimiseks 71,8 milj. EEK. Teede ehitamine ja hooldamine ei kuulu RMK põhiülesannete hulka, seega ei tohiks teedele kulutada liialt ressursi, teed on samas väga oluliseks vahendiks täitmaks otseselt või kaudselt enamikke põhimääruses nimetatud tegevusalasid.

Otseselt teedest ja nende kvaliteedist sõltuvad näiteks:

- metsamaterjali väljavedu,
- metsade ja metsamaade hooldus,
- kuivendussüsteemide hooldus,
- tavainimeste ligipääs metsadele ja turismiobjektidele,

...ehk teed on otseselt seotud kogu metsasektori konkurentsivõime tõstmisega.

Oluline on hoida teedevõrgule tehtavad kulutused võimalikult madalana kaotamata seejuures kvaliteedis. Halvakvaliteedilised teed kahjustavad mehhanisme ja ligipääsetavust tuues kaasa kaudseid lisakulutusi. Näiteks Soomes on arvestatud, et kevadiste sulade tagajärjel halvenevad teeolud toovad kaasa aastas umbes 100 milj. euro suurusi lisakulutusi, mis tulenevad muuhulgas puitmaterjali liigsest hoiustamisvajadusest ja sealt tekkivast kvaliteedi langusest [19]. Seetõttu on vajadus juhendi järele, mille järgi projekteerida, ehitada ja hooldada metsa- (aga ka põllumajanduslikke ja väikese liiklussagedusega kohalikke) teid.

Koostatud juhend põhineb Tallinna Tehnikakõrgkoolis läbi viidud aherainet ja geosüntete sisaldavate konstruktsioonide täismõõdulistel katsetel; Tudu piirkonna metsateede seireprogrammile; Soome metsateid käsitlevatele materjalidele; Eestis 2012 kehtivatele metsateede

projekteerimist, ehitamist ja hooldamist puudutavatele juhenditele; Põhjamaade ROADEX-programmi materjalidele; muudele uuringutele, mis on tehtud metsa ja vähese liiklusega teede parandamiseks üle kogu maailma.

MÕISTED JA TÄHISED

Alus katendi osa, mis asub katte all; juhendis nimetatakse kandvaks kihiks.

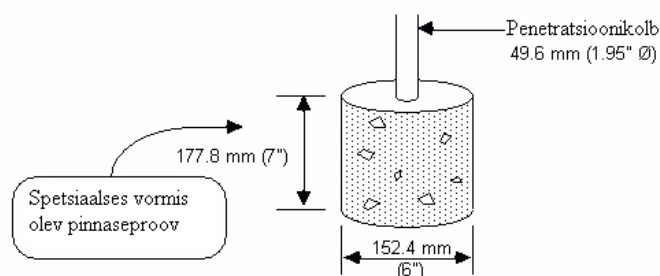
Aktiivtsoon mulde ülaosa, mida mõjutavad liikuvast koormusest tekkivad pinged.

Amorfsus amorfne aine on füüsikaliste omaduste poolest tahke, kuid muudab raskusjõu mõjul ajapikku oma kuju. Amorfset ainet puudub kristallstruktuur.

Arvutuslik pinnaveetase maksimaalne veetase teatud tõenäosuse järgi (nt korra 100a jooksul, korra 50a jooksul jne).

CBR ehk California Bearing Ratio on laboratoorne penetratsioonikatse hindamaks materjalide mehaanilist tugevust. Test on algselt välja töötatud California Department of Transportation'i poolt. Test viiakse läbi mõõtes vajalikku survet lävistamiseks kindlate mõõtmega silindriga pinnast standardsel alal kindlale sügavusele (joonis 0.1). Mõõdetud surve jagatakse survega, mis on vajalik saavutamaks võrdne penetratsioon standardse materjali puhul. Mida tugevam pinnas, seda suurem CBR-arv. Näiteks CBR 3 vastab haritud põllumaa tugevusele; 4,75 niiskele savile ja alates 10 võib olla juba niiske liiv. Kvaliteetne purustatud kivi on üle 80 CBR-i. Standardmaterjal testi jaoks on purustatud California lubjakivi, mille CBR-arv on 100.

CBR-arv on levinud nt geosüntetikate puudutavates arvutustes. Teisendamaks CBR-i teisteks pinnase tugevust iseloomustavateks suurusteks, on võimalik kasutada tabelit lisas 1.



Joonis 0.1 CBRi määramisseadme mõõtmed

Deformatsioon keha kuju või mõõtmete muutumine (ilma massi muutumiseta) välisjõudude toimel.

Dreenimata nihketugevus pinnase nihketugevus tingimustes, kus vesi ei pääse pinnasest välja.

Drenaaž drenisüsteem liigse vee kogumiseks ja ärajuhtimiseks.

Elatusmoodul suurus, mis iseloomustab materjali elastsust: pinge ja sellele vastava elastse deformatsiooni suhe.

Filtratsioonimoodul (k) Darcy seaduse kohaselt laminaarse voolamise puhul on veega küllastunud pinnase filtratsioonimoodul k , vee äravoolu kiiruse (filtratsioonikiiruse) v , ja hüdraulilise gradiendi i , suhe (m/ööp) .

Fraksioneeritud killustik purustatud ja sõelutud jämetäitematerjal, mille teramöödud jäävad valdavalt etteantud fraktsiooni piiridesse.

Geosünteet üldnimetus toote kirjeldamiseks, mille vähemalt üks lehe-, riba- või kolmemõõtmelise tarindi kujuline koostisosa on valmistatud sünteetilisest või looduslikust polümeerist, ning mida kasutatakse kokkupuutes pinnase ja/või muude materjalidega geotehnilistel ja üldehituslikel rakendustel. Geosünteeatikaalaste mõistete tähendused on toodud standardis EVS-EN 10318 koos kasutusvaldkondadega.

Geotekstiil vedelikke läbi laskev tasapinnaline (sünteetilisest või looduslikust) polümeerist tekstiilmaterjal, mis võib olla mitte-kootud, punutud või kootud, mida kasutatakse kokkupuutes pinnase ja/või muude materjalidega geotehnilistel ja üldehituslikel rakendustel. Geotekstiilid jagunevad omakorda:

- mitte-kootud – suund- või korrapäratult paiknevatest kiududest, niitidest või muudest mehaaniliselt ja/või kuumtöötusega ja/või keemiliselt ühendatud elementidest valmistatud geotekstiil;
- silmuskootud - ühest või mitmest silmuskoeliselt seotud lõngast, niidist või muust elemendist toodetud geotekstiil
- kootud - kahest või enamast lõimelõngast, -niidist, -lindist või muust elemendist tavaliselt täisnurga all põimitud geotekstiil
- tekstiilipõhisteks toodeteks – geotekstiili määratlusele mittevastav vedelikku läbilaskev tasapinnaline (sünteetilisest või looduslikust) polümeerist materjal;

Geovõrk omavahel pressimise, sidumise või põimimise teel ühendatud tõmbelementidest koosnev lahtiste silmadega tasapinnaline võrk, mille avad on suuremad, kui võrgu koostisosad.

Geokomposiit tehases valmistatud liitmaterjal, mille vähemalt üks koostisosa on geosünteeit-toode.

Geokärg omavahel ühendatud (sünteesilistest või looduslikest) geosünteediribadest valmistatud kärjekujuline või sellega sarnanev vedelikku läbi laskev kolmemõõtmeline õõnestarind.

Hüdroloogia pinnase- ja põhjavett uuriv teadus, mis tegeleb vee äravooluga, sademetega ja veevarude haldamisega.

Jämetäitematerjal materjal terasuurusega 2-32 mm.

Kapillaartõus veetõus pinnastes üle gravitatsioonivee pinna pindpinevusjõu toimel.

Kandevõime elemendi, ristlõike või konstruktsiooni mehhaaniline omadus, mida mõõdetakse enamasti jõu või momendi ühikutes (näiteks paindekandevõime, nõtkekandevõime jne).

Kate katendi ühe- või mitmekihiline osa, mis paikneb alusel ja võtab vahetult vastu transpordivahenditelt tuleva koormuse (metsateedel nimetatakse ka kulumiskihiks).

Katend mitmekihiline konstruktsioon, mis võtab vastu transpordivahendite koormuse ja jaotab selle pinnasele; koosneb kattest, alusest ja drenkihist (põhikihid) ning lisakihtidest.

Katendi tugevdamine katendi remondi käigus selle tugevuse tõstmise kihipaksuse suurendamise või uute kihtide lisamise teel.

Kandev kiht teekonstruktsiooni kiht, mis võtab vastu peamise liikluskoormuse. Metsateedel tavaliselt kruusa- või killustikukiht. Kandvasse kihti ei kuulu kulumiskiht.

Killustik looduslike kivimite või tehismaterjalide purustusprodukt, mille väikseim teramõõt on 2mm ja mille teradel pole looduslikku pinda.

Killustikkate (makadam), sideainega töötlemata killustikust kate; ehitatakse fraktsioneeritud killustikust kiilumismeetodil või ridakillustikust.

Kraav üldine nimetus kaevikule, mille ülesanne on juhtida pinnavett.

Kruus loodusliku või tehisliku päritoluga ümardunud kujuga kivimitükkidest koosnev sõmermaterjal, valdavalt teramõõtudega 2 – 64 mm.

Kulumiskiht v.t kate

Külmakerkeline pinnas külma ja kapillaartõusu tõttu veega küllastuv pinnas, mille maht veesisalduse suurenemise tõttu külmudes oluliselt suureneb ja mille kandevõime sõltub suuresti veesisaldusest.

Külmakindlus materjali omadus veega immutatult taluda paljukordset vahelduvat külmumist ja ülessulamist.

Külmumissügavus sügavus, mille pinnasevesi talvel külmub.

Küvett/nõva 30cm kuni 60cm sügavune tee äärne kraav vee ärajuhtimiseks teekattelt ja muldkehalt.

Mahukaal pinnase mahumass korrutatud raskuskiirendusega ($\gamma = \rho g$, ühikuks kN/m^3)

Mahumass pinnase mass mahuühikus ($\rho = \text{kg/m}^3$)

Muldkeha tee ehituseks vajalik pinnase konstruktsioon koos selle juurde kuuluvate veeviimaritega.

Mulle iseloomustab tee paiknemist, mille korral tee on loodusliku maapinna tasemest kõrgemal.

Nidusus on materjali omadus mineraale koos hoida.

Nihketugevus pinnase nihketugevus on vastupanu ühe pinnasemassiivi osa nihkumisele teise suhtes. Pingete suurenedes massiivis teatava piirini tugevusvaru ammendub ja algab püsiva kiirusega nihkumine. Pinnase nihketugevust on vaja teada vundamendi kandevõime, nõlva püsivuse ja pinnase poolt piirdele avaldatava surve arvutamiseks. Pinnase kandevõime määrab tema nihketugevus (Jaaniso)

Nihkepinge jõud, mis surub ühte pinnasemassiivi nihkumisele teise pinnasemassiivi suhtes.

Nõva v.t küvett

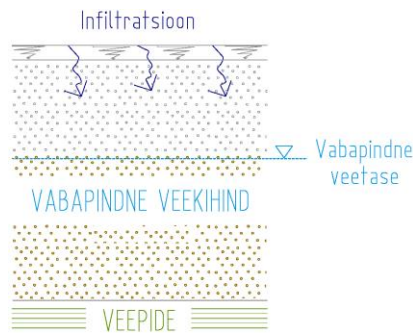
Omakaal materjali enda kaal ilma välise koormuseta (nt hooned, masinad).

Optimaalne segu ehk sidumata segu (vastavalt standardile EVS-EN 13285 Sidumata segud. Spetsifikatsioonid). Teraline materjal, tavaliselt kontrollitud terakoostisega, mille $d=0$ (väikseim tera läbimõõt) ja mida kasutatakse tavaliselt aluste ülemistes ja alumistes kihtides.

Perioodiline hooldus hoolduse liik, mille eesmärgiks on hoolduse koosseisu kuuluvate töödega teelementide kulumise ja kahjustuste tagajärgede kõrvaldamine ning maanteede seisunditasemete nõuetele vastavuse võimaliku mahajäämuse likvideerimine ühekordse või mahuliselt määratud tegevusega, tagades olemssoleva katte säilimise ja tee vastamise kehtestatud nõuetele.

Pinnas omavahel sidumata või nõrgalt seotud osakestest koosnev kivimimass.

Pinnasevesi (joonis 0.2) maapinnast esimene alaline veekihind, vabapindne (paikneb enamasti maapinna lähedal, esineb alumine veepide, toitub otseselt sademetest). Kõige maapinnalähedasemal vettpidaval kihil lasuv põhjavesi.



Joonis 0.2 Pinnasevee paiknemine

Pinnavesi maa pinda kattev vesi, paikneb veekogudes [24]. Alaliselt või ajutiselt maapinnal olev vesi.

Plastsus materjali võime purunemata muuta talle rakendatud väliskoormuse mõjul oma kuju ja mõõtmeid ning säilitada jäävat deformatsiooni pärast välisjõu lakkamist.

Profiilne maht teekonstruktsioonis paikneva materjali maht vajaliku tihedusastme juures

Põhjavesi maasisene vesi, mis paikneb küllastusvöös, esineb mitme veekihina, seostatakse aluspõhjakivimitega. Maakoore ülaosa kivimite ja setete poorides ning lähedes olev vaba vesi.

Rekonstrueerimine on tee plaanilahenduse ja/või mulde, katendi konstruktsiooni oluline muutmine. Viiakse läbi juhul, kui metsatee või selle lõik on amortiseerunud ja hooldamisega ei ole seisundinõuded saavutatavad.

Reserv võimalik pinnasevõtu koht

Ridakillustik täitematerjal, mille teramõõdud $D \geq 8$ mm ja $d \neq 0$ ning $D/d > 2$.

Seisuvesi maa pinna peal seisev vesi, ei ole alaline veekogu.

Sisehõordenurk üks pinnase tugevusparameetritest, mis leitakse eksperimentaalselt. Koos nidususega iseloomustab pinnase nihketugevust.

Skelett materjali skeleti moodustavad terastikulise koostise järgi suuremad terad.

Sõelmed killustiku tootmisjäák fraktsiooniga 0 kuni 8 mm.

Süvend iseloomustab tee paiknemist, mille korral tee on loodusliku maapinna tasemest madalamal.

Tavahooldus hoolduse liik, mille eesmärgiks on hoolduse koosseisu kuuluvate töödega teede nõutavate seisundinõuete tagamine. Töödeks on nt tee profiili tasandamine materjali lisamisega kuni 30t kilomeetrile, tee servalt vee äravoolu takistavate vallide kõrvaldamine ja muldkeha nõlvade niitmine.

Teekate teekonstruktsiooni kõige pealne osa.

Teekonstruktsioon insenerrajatis, mis koosneb muldkehast ja teekatendist koos kõigi lisakihtidega.

Terastikuline koostis osakeste jaotumine terasuuruse järgi, väljendatuna teatud arvu sõelte läbindite massiprotsendina (v.t standard EVS-EN 13285 Sidumata segud. Spetsifikatsioonid).

Uuendamine v.t perioodiline hooldus

Uusehitis täiesti uue ehitise ehitamine; olemasoleva või vana ehitise täielik asendamine uuega

Veeviimar pinnavete ärajuhtimissüsteem: kraavid, küvetid/nõvad, rennid jm.

Veesisaldus poorse või sõmera pinnase või materjali poorides sisalduva vee protsentuaalne hulk materjali massist

Vesiliiv eristatakse ehtsat vesiliiva – vettsiduvaid kolloide sisaldav peeneterine pinnas – ja ebavesiliiva – hüdrodünaamilise surve tõttu püsivuse kaotav pinnas, enamasti möll ja peenliiv

Ületihendustegur mulde pinnase vajaliku ja loodusliku mahumassi suhe.

Osa I – Metsateede projekteerimine

1. METSATEEDE PROJEKTEERIMISTASEMED

1.1 Teede liigitus

Metsatee on Teeseaduse tähenduses riigi omandisse jäetud maal paiknev valdavalt riigimetsa majandamiseks kasutatav tee.

Metsatee liigid on:

- Kattega tee on metsatee, mille sõidu- või käiguosa pinna moodustab orgaanilise või mineraalse sideainega töödeldud mineraalmaterjali kiht (asfaltbetoonkate, tsementbetoonkate, mustkate jne).
- Kruusatee on metsatee, mille pealiskiht on kruusast, kruus- või killustikliivast või killustikusõelmetest.
- Pinnaste on metsatee, millel puudub pealiskiht ja mis on pikaajalise kasutamisega väljakujunenud liikumistee looduslikul pinnasel.

Metsateed on jagatud järkudeks vastavalt eeldatavale väljaveomahule, mis on esitatud RT I, 26.02.2014, 12 „Metsatee seisundi kohta esitatavad nõuded“.

Metsateed jaotatakse järkudeks järgmiste tunnuste alusel:

- 1. järgu metsatee on tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine metsamaterjali väljaveo kogus on rohkem kui 10 000 tm aastas ning metsateed kasutatakse väljaveoks aastaringselt, v.a kevadisel intensiivsel teede lagunemise ajal;
- 2. järgu metsatee on tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine metsamaterjali väljaveo kogus on 1000 kuni 10 000 tm aastas ning metsateed kasutatakse väljaveoks aastaringselt, v.a kevadisel intensiivsel teede lagunemise ajal;
- 3. järgu metsatee on tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine metsamaterjali väljaveo kogus on 1000 kuni 10 000 tm aastas ning metsateed kasutatakse väljaveoks külmal või kuival ajal;
- 4. järgu metsatee on tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine metsamaterjali väljaveo kogus on vähem kui 1000 tm aastas või tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine

metsamaterjali väljaveo kogus on 1000 kuni 10 000 tm aastas ning metsateed kasutatakse väljaveoks külmal ajal;

- 5. järgu metsatee on tee, millel üldjuhul ei toimu metsamaterjali väljavedu.

Põllumajandusministri väljaantud Maaparandussüsteemi projekteerimisnormid jaotavad **maaparandussüsteemi teenindavad teed klassideks I...III-M**. Tabelis 1.1 on sellest kokkuvõte.

Tabel 1.1

Maaparandussüsteemide projekteerimisnormide klassid

Tee	
Klass	Otstarve
I-M	tee, mis ühendab ulatuslike kuivendussüsteemidega maatulundusmaa massiive. Maksimaalne veomaht üle 10000t (neto) kuus
II-M	Kuivendussüsteeme ühendav tee, mis teenindab nii üld- kui ka eritransporti (kombainid, metsaveokid). Maksimaalne veomaht kuni 10000t (neto) kuus
III-M	Üksikut kuivendussüsteemi teenindav tee

1.2 Teede läbitavus

Metsateede järkude kirjeldused annavad selge info, mis perioodil mingit teed peab saama metsamaterjali väljaveoks kasutada: esimese ja teise järgu teed aastaringelt v.a kevadisel intensiivsel teedelagunemise ajal; kolmanda ja neljanda järgu teed kuival või külmal ajal.

Järelikult esimesed kaks teede järku erinevad üksteisest vaid teekatendi vajaliku kandevõime suhtes, kui nõuded katendis kasutatavatele materjalidele peavad olema identsed. Ülejäänud järkude teekatendite kandevõimed võivad olla väiksemad, kuid seoses piiratud väljaveoajaga, võib kasutada ka niiskustundlikumaid (madalamate kvaliteedinõuetega) materjale katendi ehituses. Kasutatavad madalamate kvaliteedinõuetega materjalid peavad siiski tagama sõiduauto liikluse aastaringelt.

Sisuliselt jagunevad metsateed kaheks läbitavusklassiks: aastaringne (v.a kevadine) ja piiratud ajaga metsavedu. Kõik teed peaksid suutma tagada sõiduautode liikumise aastaringelt. Peatükis 3 on esitatud tüüpkatendid ning nõuded seoses kahe eelnevalt nimetatud kasutatavusnõudega.

1.2.1 Teede läbitavusklasside konseptsioon

Seoses teede kasutamise vastavalt vajadusele, aastaajale ja valitsevatele ilmastikuoludele, on võimalik luua seos läbitavusklassidena järgnevalt:

- A: tee peab olema võimeline kandma nii koormaga veokeid kui sõiduautosid aastaringselt (st. teekatend peab olema vee- ja külmakindel);
- B: tee peab olema võimeline kandma raskeveokeid aastaringselt v.a kevadise sula ajal. Sõiduautosid aastaringselt;
- C: tee peab olema võimeline kandma raskeveokeid aastaringselt, v.a kevadise sula ja suurte vihmasadude ajal. Sõiduautosid aastaringselt, v.a kevadise sula ajal (ehk tee suletakse täielikult kevadiseks sulaperioodiks).
- D: tee kannab raskeveokeid peamiselt siis, kui teekonstruktsioon on külmunud. Tee peab suutma kanda sõiduautosid suvel.

Metsatee seisundi kohta esitatavates nõuetes toodud järgud vastaksid läbitavusklassidele „B“, „C“ ja „D“. Selline liigitus on vajalik teadmaks, missuguste omadustega materjale kasutada katendikihtide ehitamisel või mida teha, kuid teed oleks vaja kasutada aastaringselt, k.a kevadisel intensiivsel teede lagunemise ajal. Peatükis 3 on esitatud täpsem selgitus.

Läbitavusklasse ja tee projekteerimistasemeid saab kombineerida omavahel tabelis 1.2 esitatud viisil.

Tabel 1.2

Teede projekteerimistase ja läbitavusklassid kombineerituna omavahel

Teede klassid	Korralik kulumiskiht		Tee ilma spetsiaalse kulumiskihita	
Läbitavus	Dimensioneeritud liikumiskiirus km/h			
	70	50	40	30
Raskeveokid ja sõiduautod aastaringselt	A1	A2	A3	-
Raskeveokid aastaringselt v.a kevadised sulad. Sõiduautod aastaringselt	B1	B2	B3	-
Raskeveokid aastaringselt v.a kevadised sulad ja vihmaperioodid. Sõiduautod aastaringselt v.a kevadised sulad	C1	C2	C3	-
Raskeveokid peamiselt talvel. Sõiduautod suvel	-	-	-	D4

Numbrid 1...4 vastaksid sarnastele teedele, mis on defineeritud metsatee järkudena

2. TEE MULDKEHA

Tee projekteerimine saab alguse teetrassi määramisest, mille puhul tuleks seada eesmärgiks, et:

- tee pind jälgiks võimalikult palju olemasolevat maapinda ning vajalikud süvendid ja täitmised oleks võimalikult väikesemahulised;
- muldkehades kasutatav materjal saadakse kohapealt;
- väga kivistel aladel välditaks süvendeid;
- väga väikese kandevõimega piirkondi välditakse; kui see pole võimalik, tuleb kasutada tugevdusmeetodeid (peatükk 6).

2.1 Muldkeha projekteerimine

Metsatee projekteerimisel tuleb arvestada tee projekteerimistaset, mulde kõrgust ja süveni sügavust, muldkeha- ja aluspinnaste omadusi ning ehitustingimusi, ehituspaikkonna looduslikke ja insenergeoloogilisi iseärasusi ning metsateede ehitamise ja hoiu varasemaid kogemusi. Tee vajalik tugevus ja püsivus tuleb tagada vähimate ehitus- ning hoiukuludega, säilitades väärtuslikke kõlvikuid ja kahjustamata looduskeskkonda.

Metsatee ehitusgeoloogilised tingimused on määratud niiskuspaiikkonna tüübi (tabel 2.1), maapinna reljeefi, pinnaste omaduste ja geoloogiliste, hüdrogeoloogiliste ning kliimaatiliste omapäradega.

Tee muldkeha projekteerimine hõlmab süvendeid, muldeid ja pinnaste tugevdamisi. Planeeritava tee alusesse jääva materjali olemus tehakse kindlaks uuringutega. Uuringud tehakse siis, kui maapind on sulanud. Uuringutulemused esitatakse tee piki- kui põiksuunas nii, et saadakse piisav info olemasolevast olukorrast.

Tabel 2.1

Niiskuspaikkonna tüübid [28]

Niiskuspaikkonna tüübid		
Paikkonna tüübi nr	Paikkonna tunnus	Paikkonna 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 2.4) 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 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 $0,8 W_L$. Võimalik on piki- ja põikplaneerimisega ning kraavitamisega tee külgnervate alade niiskumist vähendada ja saavutada esimese paikkonna olukord. Kõik esimese paikkonna süvendid ja 0-profiilid (ka normidega ettenähtust madalamad muldkehad) kuuluvad teise paikkonda.
3	Liigniiske (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 $0,8 W_L$. Paikkonna tüübi muutmine on võimalik ainult suureulatuslike kuivendustöödega. Kõik teise paikkonna tüübi süvendid ja normidega ettenähtust madalamad muldkehad kuuluvad kolmandasse paikkonda.

Märkus: W_L – pinnase voolavuspiir

2.1.1 Muldkeha materjalid

Üldjaotuses eristatakse järgmisi pinnaseid [3]:

- Kalju (lubjakivi, dolomiit, mergel, liivakivi);
- Poolkalju (survetugevus alla 5 MPa, Eestis osa liivakivisid ja enamik paleosoikumi savisid);
- Jäme purdpinnased (kruus, killustik);
- Peen purdpinnased (liivad, savid);
- Eripinnased (muda, alliklubi, järvelubi, turvad, sapropeel);
- Tehispinnased (täide, tööstusjäätmed, kultuurikiht, prügi).

Materjalide geotehnilisel liigitusel on soovituslik lähtuda standardist EVS 1997-1 (liigitus toodud lisas 2), mida geotehnikaasjatundjad peavad heaks [14]. Teedeinseneridel on igapäevatöös kasutusel põhiliselt GOST 25100-95 (toodud lisas 2) või ka sama normi 1982. aasta variant, millel põhineb Elastsete teekatendite projekteerimise meetoodika 2001-52 [17].

Antud juhendis antakse lihtsustatud juhised katendi konstrueerimiseks tee aluses olevast pinnasest lähtuvalt. Lihtsuse mõttes jaotatakse muldkeha sõltuvalt olemasoleva materjali terakoostise ja veesisalduse (niiskuspakkonna) alusel kandevõimeklassidesse A...G vastavalt külmakerkelisusele ja materjali nimetusele (mis antakse lähtuvalt terakoostisest) (tabel 2.2). Materjali külmakerkelisus määratakse terasikulisest koostisest lähtuvalt jooniselt 2.1.

Tabelis 2.2 olevad nimetused on *põhimõttelised* – nimetused tulenevad vastavalt GOST 2500-95 ja EVS 1997-1 – ning ei hõlma kõiki standardites esitatud pinnaseniimetusi (sarnased materjalid käituvad sarnaselt; üldjuhul määrab pinnaste tugevus- ja külmakerkeomadused peenosiste sisaldus ja kvaliteet koos veesisaldusega). Vajadusel tuleb jaotust täpsustada laboratoorse teimiga ja pinnase kandevõimet määrata uuringutega (lihtsamad on näiteks staatiline plaatkoormuskatse või mõõtes Inspector-seadmega).

Muldkeha projekteerimise juhendid maanteede ehitamiseks ning GOST 2500-95 ja EVS 1997-1 omavahelised seosed on toodud MNT juhendis „Muldkeha remondi projekteerimise juhised“ (leitav Maanteeameti kodulehelt „Juhendid ja juhised“ alt (<http://www.mnt.ee/index.php?id=10666>)). Kuna kattega metsatee nõuab oluliselt suuremat külmakindlust, kandevõimet ja stabiilsust, kui tavaline katteta metsatee, siis selle projekteerimiseks tuleks kasutada Maanteeameti poolt välja antud juhiseid.

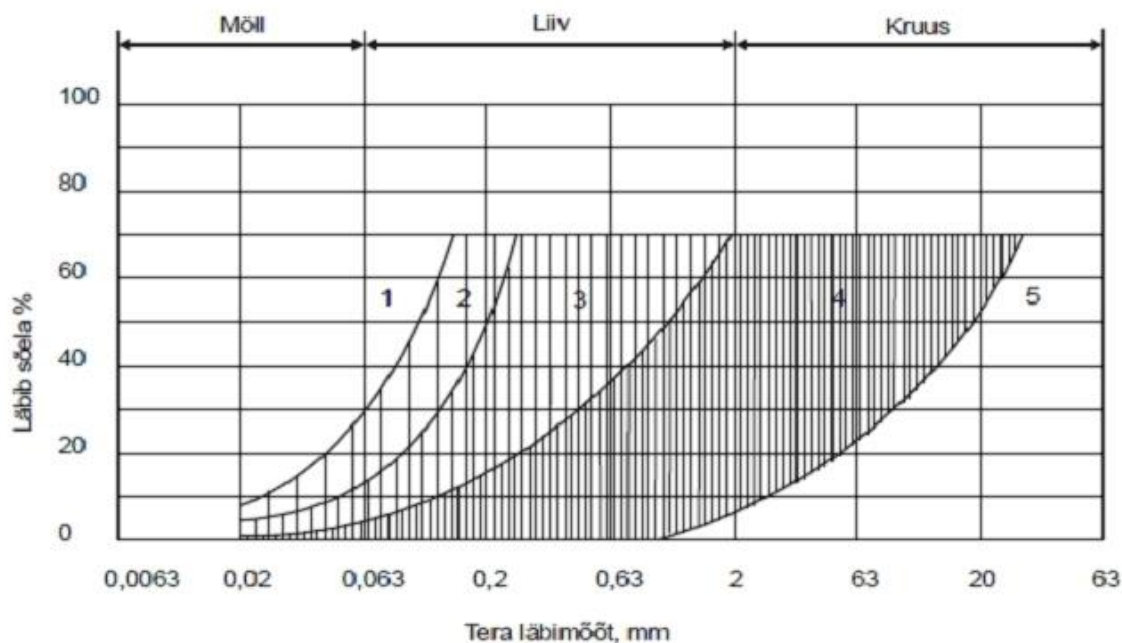
Tabel 2.2

Muldkeha materjalide jagunemine

Muldkeha materjal	Pinnase liik	Materjali näidis	Külmakerkelisus	Elastsusmooduli vahemik, MPa
A	Kalju ja poolkalju	Kaljupinnas, killustik	Külmakerkekindel	250+
B	Jäme purdpinnas	Kruus		150
C		Külmakerkekindel mõllikas kruus, jämeliiv		120...150
D	Peenpurdpinnas	Külmakerkekindel keskliiv ja külmakerkekindel peenliiv (niiske)	Külmakerkeline	100...120
E		Külmakerkeline kruuspinnas ja külmakerkeline peenliiv (niiske), saviliiv (niiske)		50...80
F		Külmakerkeline mõlline kruus (märg), külmakerkeline peenliiv (märg), möll ja savine kruus (niisked), saviliiv (märg), liivsavi		~30
G	Eripinnased	Mölpinnas, savipinnas, savine kruus (märjad), turvas, mineraalmuld ja muda, vesiliiv		<15

Materjali liigituse teeb ja kandevõimeklassi määrab kogunud geotehnik/projekteerija, vajadusel (kui tekib kahtlus, kas materjalid on niisked või märjad/liigniisked ehk kas ja kuivõrd objektile esinev niiskus mõjutab materjalide kandevõimet) määratakse materjali niiskus laboratoorselt võttes aluseks tabeli 2.3. Niiskuse alusel kandevõime määramisel tuleb arvestada ka võimalikku tealuse kuivendamist.

Sidudes kokku tabelid 2.1 (niiskuspaikkonnad) ja 2.2 (muldkeha materjalid) näeme, et sulgudes olev „niiske“ viitab niiskuspaikkonnale „2“ ja „märg“ niiskuspaikkonnale „3“. Tabelist 2.1 lähtudes on võimalik niiskuspaikkondi muuta.



Joonis 2.1. Pinnase külmakerkelisuse hindamine terastikulise koostise alusel [28]

Märkus: Pinnas, mille sõelkõver jääb joonise alale 1, on külmakerkeohtlik. Pinnas, mille sõelkõver satub joonise alale 2, 3 või 4, ei ole külmakerkeohtlik, kui sõelkõvera alumine ots jääb kogu ulatuses piirkonna ülemisest joonest allapoole. Pinnase külmakerkelisuse hindamiseks tuleb teha täiendavaid uuringuid. Alasse 5 jääv pinnas pole külmakerkeohtlik.

Tabel 2.3

Pinnase jaotus veesisalduse järgi [28]

Nimetus	Niiskus W
Väheniiske	$< 0,9 W_0$
Normaalse niiskusega	$0,9 W_0$ kuni W_{lub}
Kõrgenenud niiskusega	W_{lub} kuni W_{max}
Liigniiske	$> W_{max}$

Märkused:

1. W_0 – optimaalne niiskus (veesisaldus) standardsel Proctorteimil (EVS-EN 13286-2:2004);
2. W_{max} – maksimaalne niiskus (veesisaldus) standardse Proctorteimi kohase tihendusteguri $K_t=0,9$ saavutamisel (v.t tabel 4.1)
3. W_{lub} – lubatav niiskus (veesisaldus) standardse Proctorteimi kohase nõutava tihendusteguri $K_t \geq 0,9 - 1,0$ saavutamisel (v.t tabel 4.1).

Muldkeha projekteerimisel **savipinnasest**, mille niiskus ületab 70% voolamispiiri niiskusest, nähakse ette meetmed muldkeha vajaliku püsivuse tagamiseks. Sellisteks meetmeteks võivad olla:

- pinnase kuivamine loomulikul teel;
- pinnase töötlemine aktiivsete ainetega (kustutamata lubi, aktiivsed põlevkivi heittuhad jms);
- liigniiske pinnase tihenemise kiirendamine (vertikaaldrenaaž jms). Kergkatte võib sellisele muldkehale rajada pärast muldkeha tihenemise lõppemist.

Mullete ehitamiseks sobivad kõik kivimaterjalid (kruus- ja liivpinnased). Palju peenosiseid sisaldavad materjalid võivad olla ehituslikus mõttes raskesti kasutatavad (keeruline paigaldada ja tihendada), eriti niisketes või külmunud oludes.

Teekonstruktsioonis (muldkeha ja katend) paiknevad materjalid peavad olema tugevuslikus mõttes kasvavas järjekorras. Muldkeha ehitamise juures parimad materjalid kasutatakse selle ülaosas, sama põhimõtte kehtib katendi puhul. Külmakerkekindlale maapinnale ei tohi ehitada kasutades külmakerkelisi materjale. Ehitades muldkeha vette peab materjal olema võimalikult jämedateraline.

Muldkeha ja katendi tugevuse tagamiseks peab tee katte pinna vähim kõrgus seostatuna objekti hüdrooloogilise olukorraga vastama tabelile 2.4. Kui tugevusarvutused nõuavad või on tingitud muudest teguritest, võivad teekatte pinna kõrgused olla tabelis toodutest suuremad. Teekatte pinna vähima kõrguse nõudeid võib mitte arvestada, kui kasutatakse armeeritud kihte või alandatakse pinnaseveetaset.

Tabel 2.4

Tee katte pinna vähim kõrgus [21]

Katendi all oleva materjali liik	Tee katte pinna vähim kõrgus (m)
B, C, D	0,7/0,5 ¹
E	1,2/0,6 ¹
F, G	1,9/0,8 ¹

¹ nimetajas on tee katte alapinna vähim kõrgus pinnasevee või pikaajalise (>20 ööpäeva) seisuvee tasemest. Lugejas on sama kõrgus maapinnast alal, kus ei ole tagatud pinnavee äravool, või lühiajalise (20 ööpäeva) seisuvee tasemest.

Märkus: pinnasevee arvutuslikuks tasemeks võetakse kevadine või sügisene (külumiseelne) maksimaalne võimalik veetase. Pinnasevee arvutuslik tase määratakse väliuuringutel.

Mulde nõlvus projekteeritakse vastavalt tabeli 2.5 normidele. Süvendi nõlvus määratakse tabeli 2.6 järgi, kui nõlva tasakaalu ei mõjuta pinnasevee voolamisest põhjustatud hüdrodünaamiline jõud (s.t nõlvaga lõigatakse läbi pinnasevee vöönd).

Tabel 2.5

Muldkeha nõlvuse kalded [28]

Muldkeha pinnas (materjali liik)	Suurim nõlvus nõlva kõrgusel, m		
	≤ 6	≤ 12	
		Alaosas 0 – 6	Ülaosas 6 – 12
Vähemurenenud kaljupinnase rahnud (A)	1:1 – 1:1,3	1:1,3 – 1:1,5	1:1,3 – 1:1,5
Purdpinnas, kruusliiv, keskliiv (B, C, D)	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Peenliiv, tolmlüiv, v.a ühtlaseteraline liiv, kõva ja poolkõva tihke savipinnas	1:1,5	1:1,75	1:1,5
Ühtlaseteraline liiv- ja möllpinnas	1:1,75	1:2	1:1,75

Märkused:

- 1) muldkeha nõlva kõrgus määratakse nõlva üla- ja alaserva kõrguste vahena. Mäenõlval määratakse nõlva kõrgus alumise nõlva üla- ja alaserva kõrguste vahena;
- 2) tabelis toodud nõlvused nõuavad nõlvade kindlustamist murukamara, mätastise või erosioonitõkkematiga.

Tabel 2.6

Süvendi nõlvuse kalded [28]

Mulde pinnas	Nõlva kõrgus (m)	Suurim nõlvus
Vähemurenenud kaljupinnas	≤ 16	1:0,2-1:0,5
Kergelt murenenud kaljupinnas	≤ 16	1:0,5-1:1,5
Kruuspinnas	≤ 12	1:1-1:1,5
Liivpinnas, v.a kohev	≤ 12	1:2
Peen ühtlane liivpinnas	≤ 12	1:2
Peeneteraline pinnas voolavusarvuga $I_L \leq 0,25$	≤ 12	1:1,5

Märkused:

- 1) vähemurenevas kaljupinnases on lubatud vertikaalnõlv;
- 2) süvendi nõlva kõrgus määratakse nõlva üla- ja alaserva kõrguste vahena.

2.2 Eripinnastele rajatavate teede projekteerimine

Eripinnaste all käsitletakse eelkõige turvast, aga ka möllpinnased, savipinnased, muda, ehk materjale, mille dreenimata nihketugevus on $<25\text{kPa}$.

Juhendis turvast käsitlev materjal pärineb peamiselt ROADEX-programmi materjalidest (lisainfot ja täpsustusi saab leheküljelt www.roadex.org). Toodud lähenemine sobib eriti hästi väikese liiklusega teedele, nt ajutise iseloomuga teedele või metsateedele, aga ka kohalike omavalitsuste teedele.

Turvas on orgaaniline materjal, mis koosneb maandunud taimeosistest ja nende vahelisi poore täitvast veest. Turvas ei ole oma omadustelt ühtlane, seetõttu on otsuste tegemiseks vaja omada teadmisi selle tekkest ja omadustest. Siin juhendis mõeldakse sõna „soo“ all niisketel aladel moodustuvat orgaanikat, mis tekib kui taimede loomulik lagunemine on aeglasem kui uue taimestiku moodustumine (joonis 2.2). Sood jagatakse:

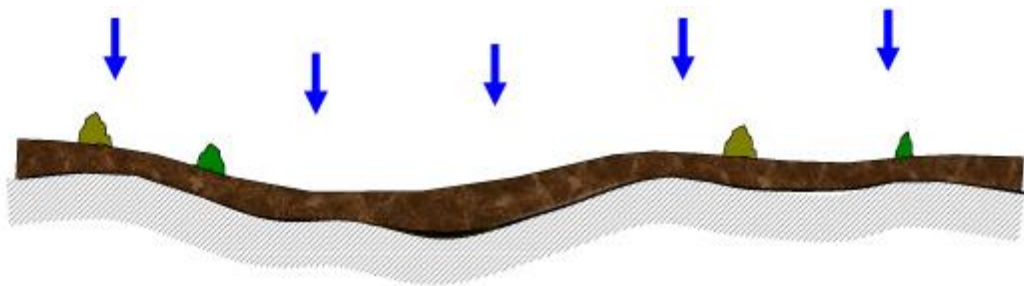
- Madalsoo. Madalsood nimetatakse soode esimeseks arenguastmeks, kus on rohkem kui 30 cm paksune turbakiht. Madalsoid iseloomustab toitumine mineraalainerikaste põhja-, pinna- või tulvaveega. Sellest on tingitud mitmekesine taimestik.
- Siirdesoo on üleminek madalsoolt rabale. Siirdesoo on omane madalsoo liigirikas taimestik ja kõrgematel mätastel rabataimestik.
- Raba on soode arengu viimane aste. Taimestik on rabas liigivaene ja üheaastaseid taimi seal ei kasva, sest ladestunud turbatüsedus on nii suur, et taime juured ei küündi toitainerikka

veeni. Seega saab raba oma põhilised toitained sademetest. Turbakihi keskmine tusedus Eesti rabades on 3,2 meetrit.



Joonis 2.2. Raba [33]

Võib esineda ka piirkondi, kus turvas katab maapinda õhukese vaibana (joonis 2.3). Piirkond vajab vähemalt 1000mm aastast sademete hulka ja vähemalt 160 vihmast päeva aastas.



Joonis 2.3. Piirkond, mida turvas katab õhukese vaibana ja kus turvas toitub vaid sademetest (mida illustreerivad sinised nooled) [33]

2.2.1 Turba omadused

Teede projekteerimiseks turbale on vaja teada turba geomorfoloogiat, kuna erinevalt tekkinud turvaste omadused erinevad üksteisest.

Turbaalade suuruse tõttu varieeruvad turba liigid suuresti. Projekteerimise seisukohalt jaotatakse turvas kolme peärühma: amorfne-teraline turvas (*amorfne aine on füüsikaliste omaduste poolest tahke, kuid muudab raskusjõu mõjul ajapikku oma kuju. Amorfset ainet puudub kristallstruktuur. Üks amorfse aine näide on pigi. Näiteks tasasel alusel seisev pigist kuul vajub ajapikku lamedamaks*), peeneteraline ja jämedateraline turvas. Amorfset-teralises turbas on palju kolloidseid mineraale, mis absorbeerivad vett terade ümber justkui savis. Peene- ja jämedateralised turbad on puisemad ja nendes sisalduv vesi on peamiselt vaba vesi. Nimetatud peärühmad peegeldavad turba-alade tekkeviisi ja määravad projekteerimise seisukohalt peamised omadused.

Turbaalad võidakse liigitleda kahe eri meetodi alusel, mis mõlemad põhinevad lihtsal visuaalsel vaatlusel:

- a. Radforthi meetod, mille hulka kuuluvad eelpool nimetatud (täpsem liigitus esitatud tabelis 2.7)
- b. Rootsi turbateadlase Lennart von Posti poolt 1920. aastal väljatöötatud skaala H1...H10, mis seisneb turba omaduste määramises läbi selle käes kokkupressimise tulemuse hindamises (tabel 2.8).

Tabel 2.7

Radforthi meetod turba liigitlemiseks [33]

Turba liik	Klass	Nimetus
Amorfne-teraline	1	Amorfne-teraline turvas (mineraalaineterikas)
	2	Peenekiuline turvas ilma puufragmentideta
	3	Amorfsed-teralised turbad, mis sisaldavad peeneid mittepuiseid kiude
	4	Amorfsed-teralised turbad, mis sisaldavad puiseid peeneid kiude
	5	Turbad, mis sisaldavad enamuses amorfset-teralist materjali ja peenekiulisi orgaanika fragmente koos puisete kiududega
	6	Amorfne-teraline turvas, mis sisaldab peeneid puukiude, mis moodustavad skeleti
	7	Puitu mittesisaldavad, peenekiulised ja puutükikesi sisaldavad amorfsed-teralised materjalid, mis paiknevad kihiti
Peeneteralised	8	Puuvarsi mittesisaldavad peenekiulised turbad, milles on jämedamaid kiude
	9	Puud sisaldavad peenekiulised turbad, jämedakiulisem skelett
	10	Puulaastud, puud mittesisaldava peenekiulise turba seas
	11	Peenekiulised turbad, mis sisaldavad puiseid ja mittepuiseid osiseid
Jämedateralised	12	Puulaaste sisaldavad jämedakiulised turbad
	13	Turbad, milles jämedad kiud on segamini peenete kiududega
	14	Puiseid ja mittepuiseid peenekiulisi turbaid jämedakiuliste sees
	15	Puine võrk kiude ja osiseid, mille sees morfseid peeneid kiudusid
Jämedateralised	16	Puine jämedakiuline turvas, mis sisaldab vähesel määral puulaaste
	17	Võrgustik, mis koosneb puuokstest ja juurtest ning sisaldab puutükikeste lisaks ka jämedateralist turvast

Tabel 2.8

Lennart von Posti meetod turba liigitamiseks [31]

Lagunemis-aste (von Posti skaala)	Kokkusuurumisel väljatuleva vee iseloomustus	Turba osakaal sõrmede vahel kokkusuurumisel	Turba-fragmentide iseloomustus	Turba lagunemistasme hinnang	Eestis kasutatav lagunemistasmete R% skaala
H1	Selge, värvusetu	Puudub	Taimestruktuur muutumata; kiuline, elastne	Lagunemata	5
H2	Peaaegu selge, kollakaspruun	Puudub	Taimestruktuur muutumata	Peaaegu lagunemata	5 ... 10
H3	Kergelt hägune	Puudub	Taimestruktuur selge; enamik jääke selgelt identifitseeritavad	Väga nõrgalt lagunenu	10 ... 15
H4	Tugevalt hägune, pruun	Puudub	Taimestruktuur peaaegu selge; enamik jääke identifitseeritavad	Kergelt lagunenu	15 ... 20
H5	Sisaldab suspensioonis veidike turvast	Väga vähe	Taimestruktuur on muutunud selgemaks; enamik jääke ei ole identifitseeritavad	Mõõdukalt lagunenu	20 ... 27,5
H6	Mudane, suspensioonis palju turvast	1/3	Taimestruktuur ebaselge, enamik jääke ei ole identifitseeritavad	Küllaltki hästi lagunenu	27,5 ... 35
H7	Tugevalt mudane	1/2	Taimestruktuur ebaselge, kuid äratuntav; mõned jäägid identifitseeritavad	Tugevalt lagunenu	35 ... 45
H8	Paks muda, vähe vaba vett	2/3	Taimestruktuur ebaselge; ainult vastupidavad jäägid nagu juurekiud ja puit, identifitseeritavad	Väga tugevalt lagunenu	45 ... 55

Tabeli 2.8 jätk

H9	Vaba vesi puudub	Peaaegu kõik	Turbastruktuur peaaegu äratundmatu, praktiliselt puuduvad identifitseeritavad jäägid	Peaaegu täielikult lagunenu	55 ... 65
H10	Vaba vesi puudub	Kõik lagunenu	Taimestruktuur ei ole äratuntav, täielikult amorfne	Täielikult lagunenu	65

Kokkuvõtte turbaklassidest võib esitada tabelis 2.9, mida soovitatakse kasutada madala liiklussagedusega teede ehitamise seonduvates uuringutes.

Tabel 2.9

Kokkuvõtlik tabel turba klassifitseerimiseks [33]

Nimetus	Lagunemisaste	Kirjeldus
Naturaalsed kiulised turbad	H1 – H4	Madal lagunemisaste. Taimestruktuur kergesti äratuntav
Keskmiselt lagunenu turbad	H5 – H7	Mõõdukalt lagunenu. Taimestruktuur äratuntav
Amorfsed turbad	H8 – H10	Lagunemisaste kõrge. Taimestruktuur eristamatu. Pehme koostis.

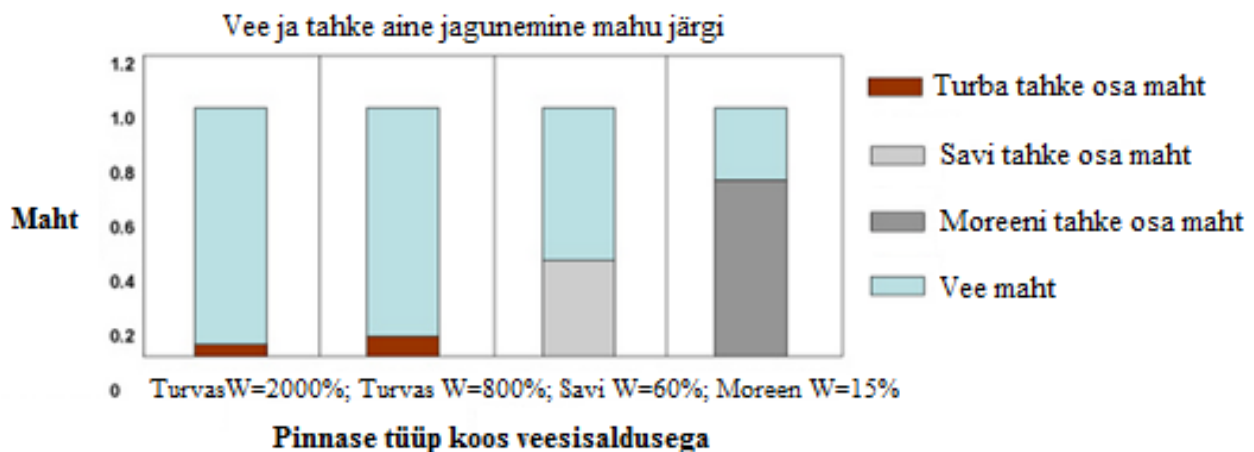
Jättes turba teekonstruktsiooni alusmaterjaliks, on selle kõige iseloomulikumad omadused kõrge veesisaldus koos orgaanilise aine sisaldusega. Turba nihketugevus sõltub tema veesisaldusest, liigist/lagunemisastmest ja mineraalse aine hulgast.

Nihketugevus on teedeehituses üks peamisi pidepunkte ja üldiselt kõrge veesisaldus on märk madalast nihketugevusest. Suurem kiudude ja mineraalne hulk turbas on märk kõrgemast nihketugevusest. Kõrge veesisaldus ja lagunemisaste vähendavad nihketugevust, kõrge mineraalainete sisaldus tõstab. Normaalingimustes konsolideerunud (st ülekoormamiseta) turba nidusus ja nihketugevus (kiuline ja keskmiselt lagunenu turvas) on keskmiselt $c' = 2 \text{ kPa}$ ja $\phi = 28^\circ$. Normaalingete olles alla 13 kPa , nidusus (kiudude põimumise tulemusel) kasvab tasemele $5 \dots 6 \text{ kPa}$, samas sisehõrdenurk väheneb nullini. Laboris turba nihketugevuse mõõtmine ei ole

lihtne, kuna vajaliku proovi võtmine on keeruline. Lihtsaim mõõtmisviis on kohapeal tehtav tiivikkatse. Meetodil on siiski limiteeringud, mistõttu tulemust ei tohiks usaldada arvestamata muid nihketugevust iseloomustavaid tegureid.

Üksiku turbala tugevus sõltub harva turbakihi paksusest (turbakihi paksusest sõltub konsolidatsioon). Turbasoo tugevus siiski langeb sügavuse kasvades, kuna turba koostises kiudude hulk väheneb ja amorfsus kasvab.

Inseneridele üks huvipakkuvamaid turba näitajaid on veesisaldus, olles üheks peamiseks nihketugevuse mõjutajaks. Turba veesisaldus kõigub tavaliselt vahemikus 500...2000%, kuid võib küündida ka 2500%. Veesisaldus alla 500% on tavaliselt märgiks suurest mineraalosakeste hulgast proovis. Joonisel 2.3 võrreldakse turba veesisaldust teiste materjalidega.



Joonis 2.3. Veesisalduse võrdlused [33]

Tabelis 2.10 on kokkuvõtte tüüpilistest turba mehaanilistest näitajatest. Visuaalne turba liigitus ja veesisaldus võimaldavad aimata ka muude projekteerimiseks vajalike andmete suurusjärke, mille täpsust võib metsateede puhul pidada piisavaks.

Tabel 2.10

Kokkuvõte turba omadustest vastavalt lagunemisastmele [33]

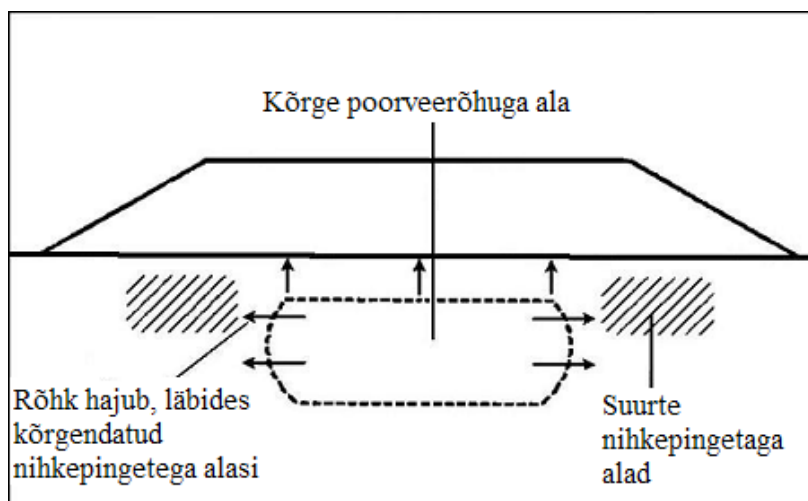
Mehaanilised näitajad	Turba liik		
	Lagunemata turvas	Keskmiselt lagunenu turvas	Lagunenud turvas
Veesisaldus %	1400 - 2500	900 - 1400	500 - 900
Tuha sisaldus %	1.5 - 3.0	3 - 8	8 - 30
Poorsus	22 - 40	13 - 22	9 - 13
Nihketugevus (kPa)	5 - 15	5 - 15	5 - 15
Vee läbilaskvus (cm/s)	$10^{-3} \dots 10^{-4}$	$10^{-4} \dots 10^{-5}$	$10^{-5} \dots 10^{-6}$
Looduslik mahukaal	900 - 1100	900 - 1100	900 - 1100

2.2.2 Turba käitumine

Turvas on elav materjal ja selle käitumist mõjutavad mitmed tegurid:

- konsolideerumine – protsess, milles maa-aine maht väheneb vee eemaldumise tulemusel;
- tihenemine – protsess, milles aineosakesed „pakitakse“ kokku;
- külgsuunalised liikumised – nihkepinge tekitatud külgsuunaline liikumine maa-aines koormamise tulemusel;
- vajumised – pinnase pinna tasapinnast allpool koormusest tingitud vertikaalsuunalised muutused. Koormuse võib tekitada näiteks teekonstruktsioon. Vajumine on tihenemise ja külgsuunaliste liikumiste samaaegne mõju.

Turvas tiheneb ja vajub koormuse all vaba vee väljasurumise ja pooride kokkupressimise arvelt. Seetõttu tuleb koormata vaikselt, aste-astmelt, andes turbale piisavalt aega tugevneda. Kui koormamine toimub liiga kiiresti, turbakiht „murdub“ ja kaotab oma stabiilsuse. Aeglase koormamisega antakse vabale veele aega turbast väljuda. Liiga kiire koormamise tõttu poorivee rõhk tõuseb (joonis 2.4) ning koormust ei kanta enam turba skeetile ja mass kaotab oma stabiilsuse.



Joonis 2.4. Mulde koormamisel tekkiv kõrge pooriveerõhk ja selle lahtumine [8]

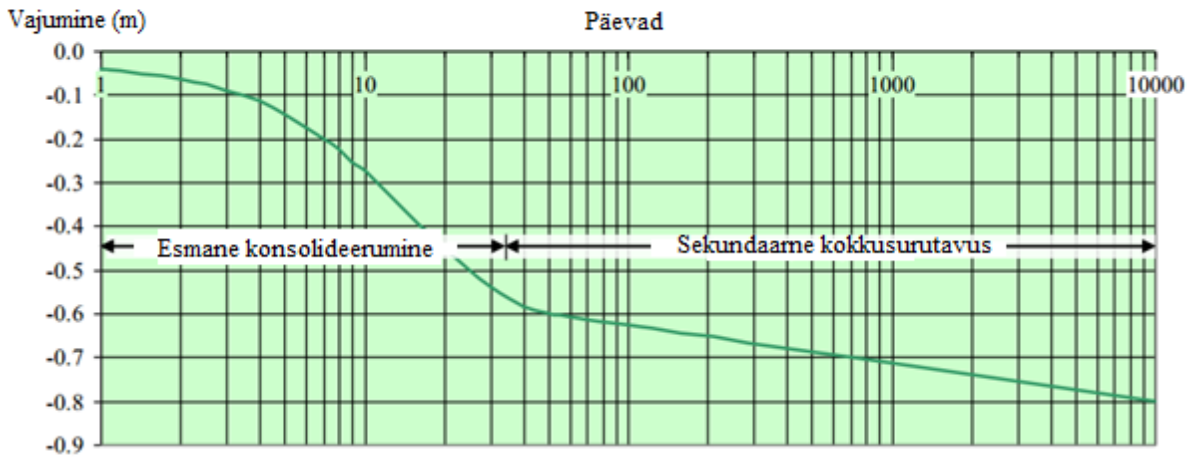
Turba peale aeglaselt ehitatav muldkeha vajub raskuse all, kuniks turbas sisalduv orgaaniline aine võtab vastu lisanduva koormuse, misjärel koormatud turba tugevus kasvab. Peamine vajum, mille suurus sõltub mulde raskusest ja turbakihi kokkusurutavusest, toimub tavaliselt teekonstruktsiooni ehitamise ajal. Pärast tee ehitamist ja peamise vajumi tekkimist, vajumine jätkub aeglasemalt (kiirus muutub logaritmi suhtes lineaarselt).

Üldiselt võttes, turvas konsolideerub, tiheneb ja vajub kahes astmes:

- 1) Esimese astme konsolideerumine. Turvas on looduslikus olekus hästi vett läbilaskev. Vahetu vajum või vahetu konsolideerumine kontrollitud koormuse all on tavaliselt suur ja vajumisaeg on lühike, tavaliselt päevades. Vahetul koormamisel vabas vees ja turba skeletis tekib uus koormusolukord. Turbas olev orgaanika tiheneb ja tugevneb, osa koormusest jaotub vabasse vette, mis tõstab poorivee rõhku. Tekkinud rõhk väheneb lahtudes kõrvalolevasse koormusvabasse turbamassi, mistõttu koormus jaguneb suuremale maa-alale (see on üks põhjuseid, miks turbasse kaevatud kraavid vajuvad uuesti täis).
- 2) Teise astme tihenemine. Turba koormamise jätkudes, koormuse kandumine pooriveest turba skeletile jätkub ja turbamassi tugevus kasvab. Teine aste on lineaarne aja logaritmile (joonis 2.5), kui turbaskelett muutub aja jooksul järjest tihedamaks, poorid muutuvad väiksemaks ja turba veejuhtivus alaneb.

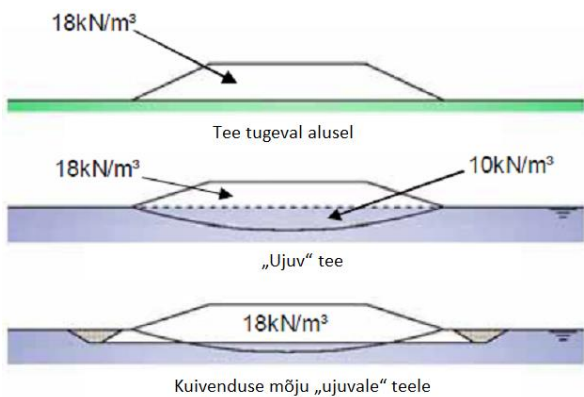
Turba konsolideerumist ja vajumist on siin kirjeldatud pinnapealselt. Tegelikult toimuvad koormamisprotsessid keerulisemalt. Esimese astme konsolideerumise suurus sõltub suuresti turbatüübist. Üldiselt moodustab esimene aste 50% kogu vajumisest, mis aegade jooksul tekib. Teise astme tihenemine ja vajumine toimub tavaliselt 30 aasta jooksul.

Tüüpiline aja-vajumise graafik 2m mulde korral



Joonis 2.5. Aja-vajumise graafik 2m kõrguse muldkeha korral turbas [33]

Ehitades teid turbale tuleb arvestada, et vajumi suurus ei ole otseses seoses turba tugevuse kasvamisega ajas. Omadust tuleb meeles pidada planeerides turbale ehitatud tee rekonstrueerimist. Turvas saavutab teatud aja jooksul koormuse all tasakaaluseisundi, mis tekib koormuse, konsolidatsiooniastme, turbamassi tugevuse kasvamise, põhjavee kõrguse ja võimalike üleslükkejõudude vahel. Tasakaaluseisundit mõjutavad uute katendikihtide lisamine või kraavide süvendamisega muutuvad hüdrogeoloogilised tingimused, mis viivad tavaliselt lisavajumisteni. Seega, kui tee algse projekteerimise käigus ei ole arvestatud taoliste töödega, või ei olla tagajärgedeks valmistatud, tuleks selliseid muutusi vältida. Mõningatel juhtudel on turbale ehitatud teid rekonstrueerides olukord muutunud halvemaks, kui oli varem. Turbalasundi hüdroloogia tuleb säilitada muutumatuna teetöö ja sellele järgneval ajal. Muutused veetasemes (näiteks kaevates uut kaevikut või süvendatakse kraave) võivad põhjustada ootamatuid tulemusi, nagu märgatavad vajumised, mis kahjustavad ka varasemalt hästi ehitatud teed. Joonis 2.6 selgitab nähtuse põhjust.



Näidis:

Kruusa mahukaal, γ , 18 kN/m³

Veega küllastunud kruusa tihedus, γ_s , 20 kN/m³

Vee mahukaal, γ_w , 10 kN/m³

Küllastunud turba tihekdus, 10 kN/m³

Vette uputatud kruusa efektiivne tihedus, $\gamma' = \gamma_s - \gamma_w$
 $= 20 - 10 = 10 \text{ kN/m}^3$

Tiheduse erinevus: $\gamma - \gamma' = 8 \text{ kN/m}^3$

Joonis 2.6. Vee ja kuivenduse mõju „ujuvale“ teele [33]

2.2.3 Turvas ja keskkond

Keskkonna seisukohalt tähtsaimad teemad on kohapealse hüdroloogia kaitse ja osaliselt ka vete liikumised turbaaladel. Uut teed turbaaladele projekteerides tuleb pöörata tähelepanu järgnevatele asjaoludele:

- keskkonna seisukohalt oluliste tegurite kaardistamine, nagu hüdroloogia, selle taimestik ja elustik, olemasolevad veekogud, kuivatussüsteemid jm;
- kuidas tee ehitamine mõjutab lühi- ja pikaajalises perspektiivis ümbritsevat keskkonda. Erilist tähelepanu tuleb pöörata olemasolevale hüdroloogiale, reostuse takistamisele ja tee kuivendussüsteemidele;
- mõjude minimiseerimine – mida teha vähendamaks ja parandamaks negatiivseid mõjusid .

2.2.4 Turba tehnilised omadused

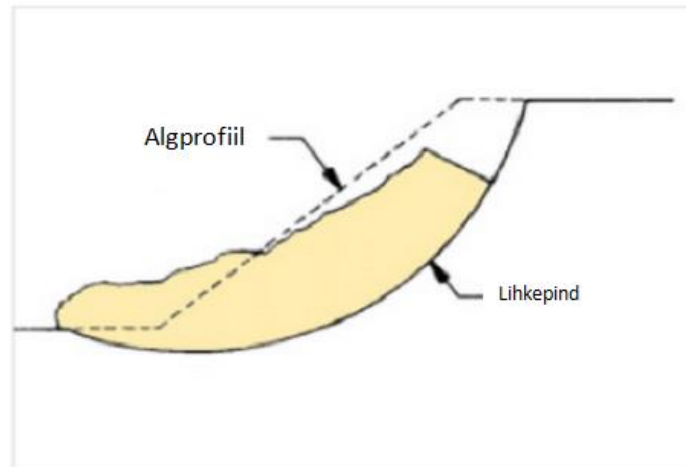
Turbale ehitatava uue tee ehitustehnoloogia või olemasoleva rekonstrueerimismeetodi valik põhineb tavaliselt lisaks keskkonnavaliseid ja majanduslikke tegureid arvesse võttes ka tee seisundi kohta esitatavatel nõuetel. Enamikel teedel, ka suurte liiklussagedustega teedel, võidakse lubada üpriski suuri vajumisi kui need on pikisuunalised ja ühtlased ning ei mõjuta sõidumugavust. Seevastu tee põiksuunalised ja ebäühtlased vajumised võivad põhjustada liiklusõnnetuse riski, rääkimata halvast sõidukvaliteedist.

Hoolimata tee klassist, tuleb see projekteerida täitmaks kahte kriteeriumi – stabiilsus- ja vajumiskriteeriumid.

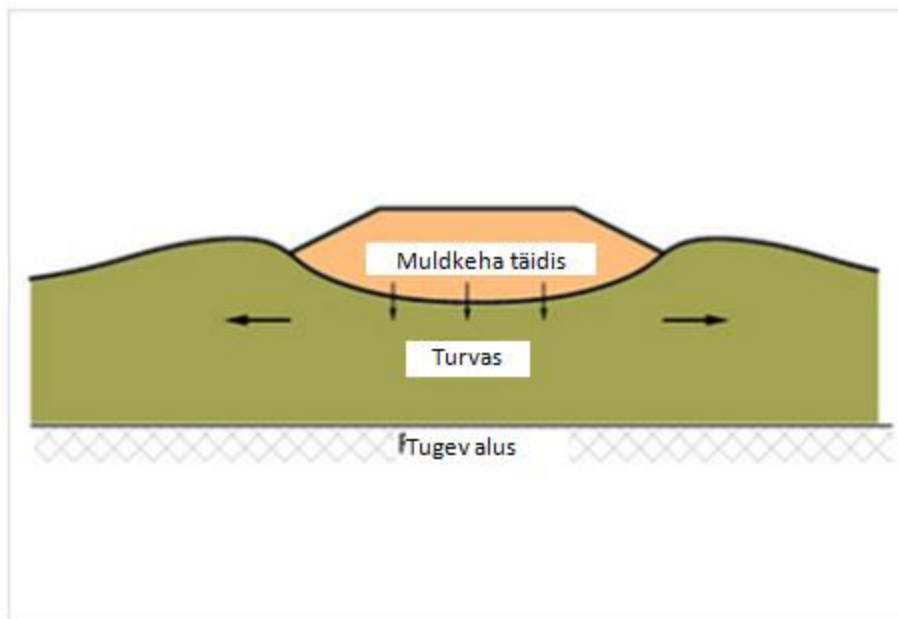
Stabiilsus

Kõik teed tuleb projekteerida ja ehitada nii, et nendel oleks piisav tugevus aluspinnase/muldkeha ja külgsuunaliste vajumiste suhtes. Tüüpiline turba peale ehitatud muldkeha võib deformeeruda järgnevalt:

- libisemine mööda silindrilist pinda (joonis 2.7) [33]:



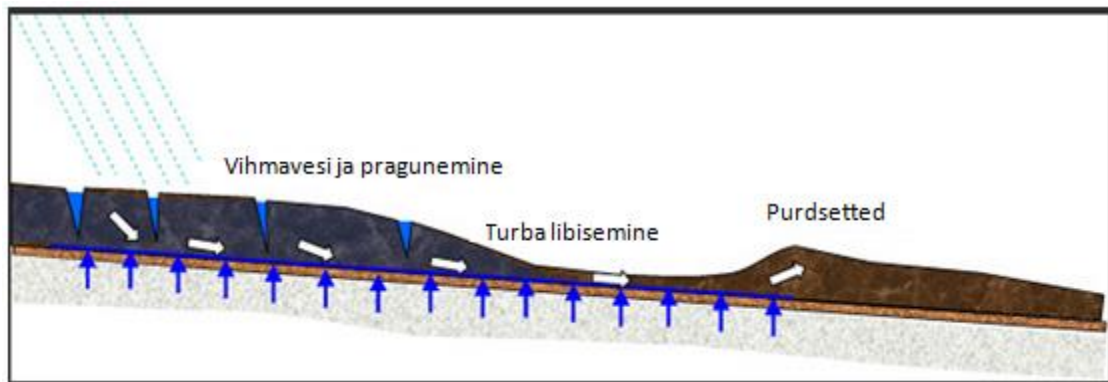
- vajumine läbi turva (joonis 2.8) [33]:



- tõmbepingetest tulenev murdumine koormuspunktist eemal (joonis 2.9) [33]:

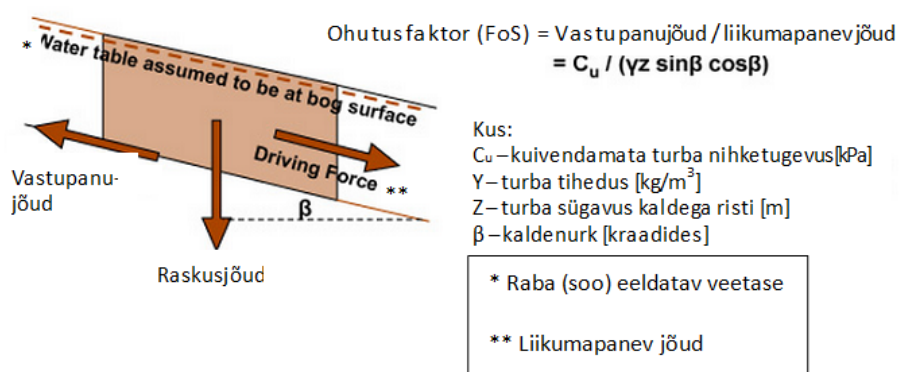


- turba libisemine mööda kihi sees olevat või lasundi all asetsevat „libedat pinda“ (joonis 2.10) [33]:



Turbakihi kohapealset stabiilsust saab hinnata kasutades „infinite slope analysis“ modelleerimist, millekohaselt turvas murdub blokina (joonis 2.11):

"Infinite slope" analüüsi valem



Joonis 2.11 Turbakihi stabiilsuse modelleerimine [33]

Lisaks tuleb arvestada, et deformatsioonid võivad toimuda turba all olevates kihtides, eriti juhtudel, kui nende kandevõime on turbast väiksem.

Projekteerimise käigus tuleb alati määrata kohapealsed tingimused vältimaks tee deformeerumist. Stabiilsuse kontrollimiseks on olemas mitmeid sobivaid arvutiprogramme, näiteks PLAXIS, OASYS, FLAC, SAGE, SLOPE, SLOPEW jm. Sobivaima valik tuleks jätta kogenule insenerile (nt geotehnikabürood).

Rohkesti kiude sisaldavates turvastes ei ole stabiilsus tavaliselt probleemiks, kuna kiud lisavad nihkekindlust. Vastupidine on olukord kõrge lagunemisastme ja väikse veeläbilaskvusega turvastes.

Vajumine

Turba peale ehitatud teekonstruktsiooni vajumise protsess on väga pikk (30+ aastat). Vajumisega arvestamisel on kaks eriti tähelepanuväärset asjaolu: vajumise suurus ja kiirus. Vajumise kiirus ja vajumiseks vajaminev aeg on tavaliselt teedehituses tähtsaimad omadused, arvestades tulevikku planeeritud võimalikke rekonstrueerimisi. Vajumiste tõttu deformeerunud tee korrastamine nõuab liikluse sulgemist ning on ajamahukas.

Turvast koormates tekib vahetu elastne vajum kohe koormuse rakendudes ning konsolidatsioonivajum pärast seda. Kuna konsolidatsioonil on teele suurem mõju, siis tihti jäetakse esimane elastne vajum arvestamata.

Turba vajumise arvestamiseks on mitmeid meetodeid, nendest kaks sobivad eriti hästi väikese liiklussagedusega teedele:

- a) Rootsi maanteeameti meetod konsolidatsioonivajumi arvestamiseks (antud töös tutvustatakse vaid seda);
- b) Islandi maanteeameti poolt kasutatav meetod, mis põhineb *Janbau* mittelineaarsel teoorial.

Ükskõik, millist arvutusmetoodikat kasutatakse, on kasulik tööde teostamise ajal teha monitoorimisega kindlaks, kas tegelikud vajumised toimuvad ennustatud viisil või mitte.

2.2.5 Vajumiste hindamine turbas

Vajumisuuruse hinnangud põhinevad Rootsi maanteeameti (STA) meetodil, mis tuleneb pikaajalistest kogemustest, mis on saadud Rootsis turba peale ehitatud teedelt. Meetodiga ennustatakse esimese vajumi suurust konsolidatsiooni ajal. Teise astme tihenemise arvestamiseks soovitatakse kasutada sobivat arvutiprogrammi/mudelit (v.t peatükk 2.2.4), kui see peaks vajalikuks osutama.

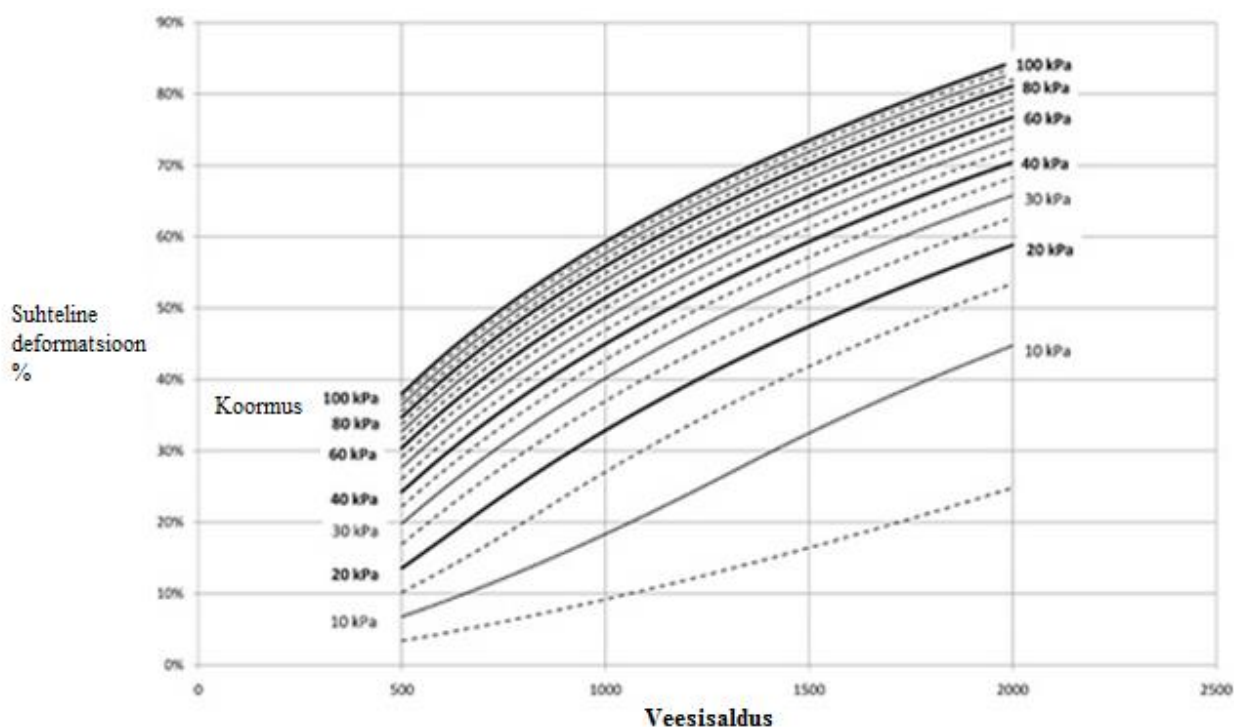
STA-meetod põhineb vajumidiagrammidel, mis on koostatud jälgides aastatel 1979...1998 ehitatud teid (joonised 2.12 kuni 2.22). Diagramme kasutatakse esmase konsolidatsiooni hindamisel turbaaladel, kui rikkumatuid materjaliproove pole saadaval. Diagrammidel on muutujateks neli peamist tegurit:

- turbakihi paksus,
- turba veesisaldus,
- koormuse suurus,

- aeg.

Diagrammid põhinevad kogemustele kiulistele ja keskmiselt lagunenud turvastele ehitatud teedelt. Diagrammide kasutamisel eeldatakse, et turvas on konsolideerunud normaalselt. Varasemalt koormatud turba puhul võidakse kasutada parandustegureid. Kui diagramme kasutada ei saa, tuleks hankida sobivat teavet kompressioonitestidega.

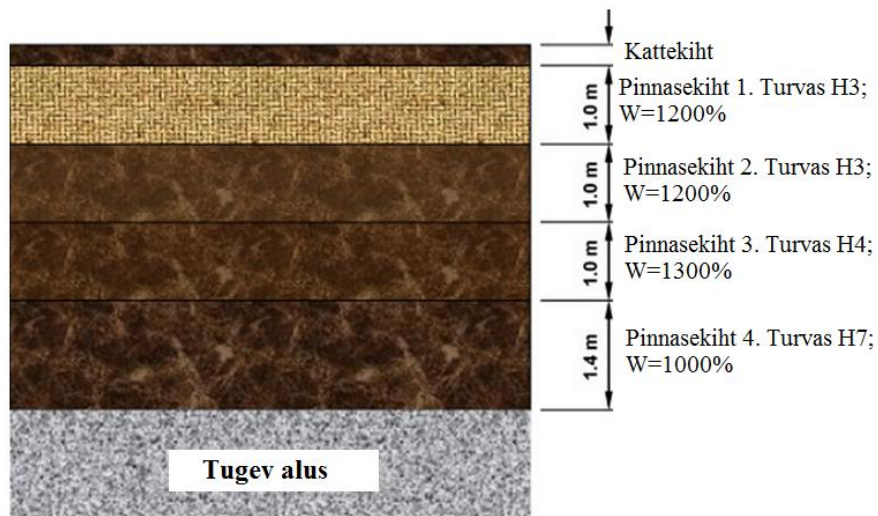
Meetod põhineb turba veesisalduse ja deformatsiooni omavahelisel suhtel, nagu on kujutatud joonisel 2.12.



Joonis 2.12. STA-arvutusmeetodika kohane veesisalduse, deformatsiooni ja pingete omavahelised suhted [33]

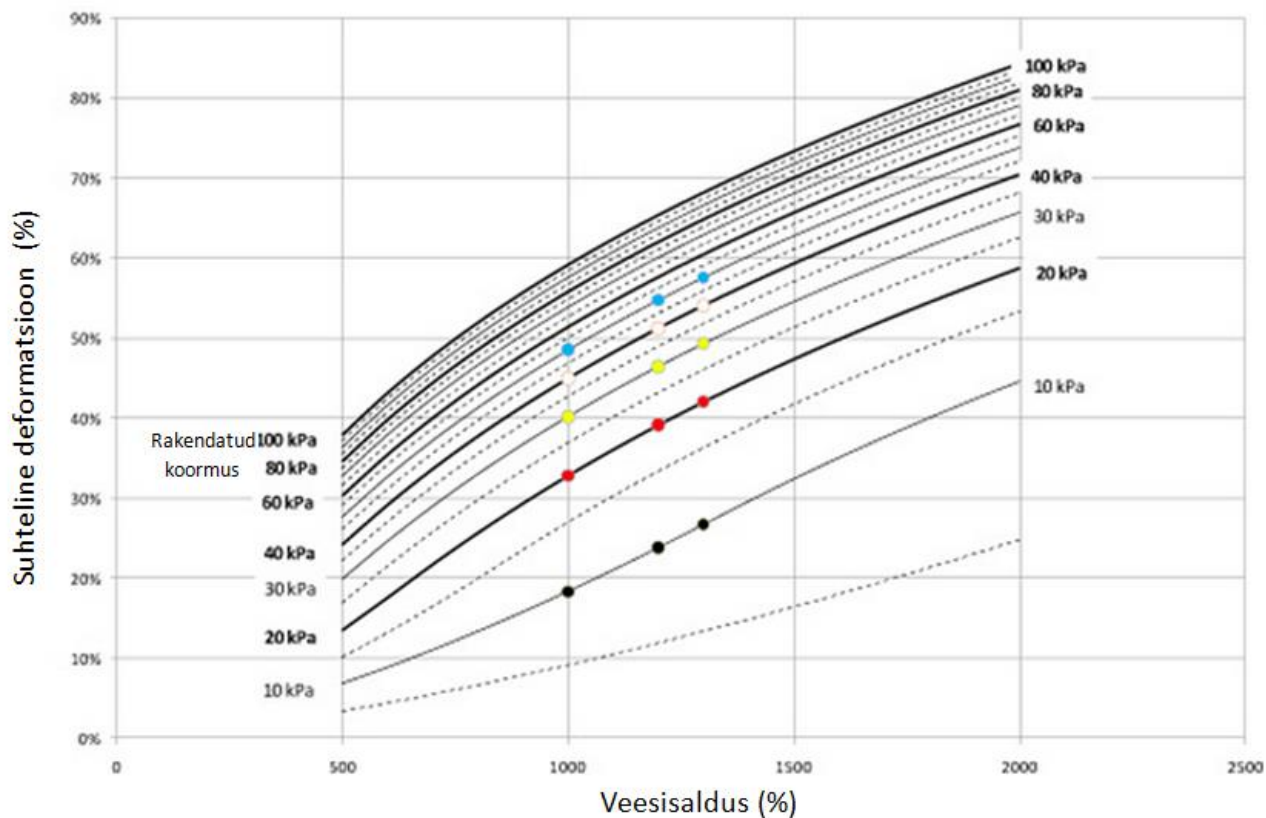
Järgnev näide kirjeldab vajumisprotsessi, kui 2,5m paksune mulle on ehitatud 4,5m paksuse turbakihi peale. Metsateedel ei ole mõistlik kasutada nii pakse mineraalmaterjalikihte, kuid kui on oluline tagada teekatte teatud stabiilsus ja tugevus (nt tee on vaja asfalteerida) ning ei kasutata pinnaseparandusmeetodikaid (sh. geosünteedid), võidakse kasutada väga mahukaid muldeid. Esitatud näidet ehk hindamaks turbakihi esmase konsolidatsiooni suurust saab kasutada ka õhemate muldepaksuste korral.

Turvas on jagatud nelja kihti, mille paksused on 1,0m, 1,0m, 1,0m ja 1,4m ning kihtide veesisaldused vastavalt 1200%, 1200%, 1300% ja 1000%. Detailid on esitatud joonisel 2.13.



Joonis 2.13. Näidisarvutuse lähteandmed; 2,5m paksune mulle on ehitatud 4,5m paksuse turbakihi peale [33]

Esimene etapp STA-meetodis on luua koormus-deformatsioonisuhe vaadeldavale konstruktsioonile, mis saadakse arvutustehetega, millega jälgendatakse tüüpilist mulde koormamist.



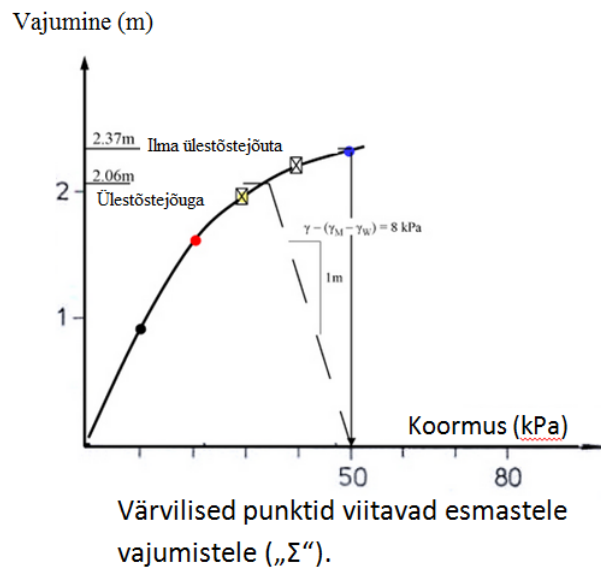
Joonis 2.14. Suhtelise deformatsiooni arvutamisenäide kasutades diagrammi joonisel 2.12 [33]

Tegemist on deformatsiooni-veesisalduse diagrammiga, mille andmed tulevad järgmistest mulde koormamistsüklitest 10kPa (●), 10kPa (●), 10kPa (●), 10kPa (○), 10kPa (●). Näidatud värvilised punktid on esitatud joonisel 2.15 olevas koormamistsükli.

Pinnase kihi nr	Kihi M paksus	Vee sisaldus %	Muldkeha koormamise astmed										
			● q = 10 kPa		● q = 20 kPa		● q = 30 kPa		● q = 40 kPa		● q = 50 kPa		
			ε %	δ m	ε %	δ m	ε %	δ m	ε %	δ m	ε %	δ m	
1	1.0	1200	24	0.24	39	0.39	46	0.46	51	0.51	55	0.55	
2	1.0	1200	24	0.24	39	0.39	46	0.46	51	0.51	55	0.55	
3	1.0	1300	27	0.27	42	0.42	49	0.49	54	0.54	58	0.58	
4	1.4	1000	18	0.25	33	0.46	40	0.56	45	0.63	49	0.69	
Σ				0.98		1.66		1.97		2.19		2.37	

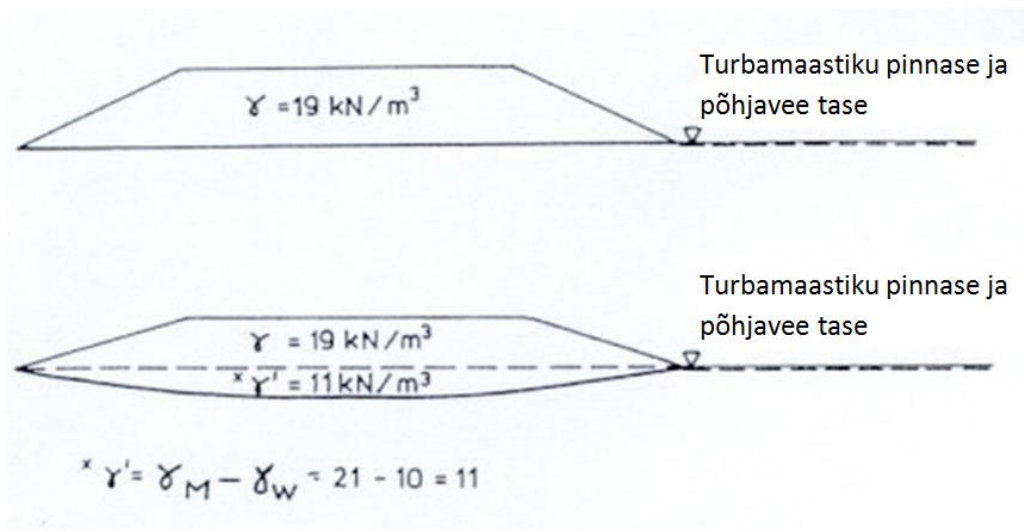
Joonis 2.15. Koormus-deformatsioonidiagramm näidismuldele. Esmase vajumi suurus turbas on 0,98m 10kPa koormusega, mis kasvab kuni 2,37m 50kPa koormusega [33].

Lisades esmased vajumid „Σ“ ja koormused samale diagrammile joonistub näidismulde koormus-deformatsioonigraafik (joonis 2.16):



Joonis 2.16. Näidismulde koormus-deformatsioonigraafik [33]

Esitatud diagramm ei arvesta üleslükkejõudu, mis mõjutab muldkeha vajudes allapoole pinnaseveetaset (joonis 2.17).

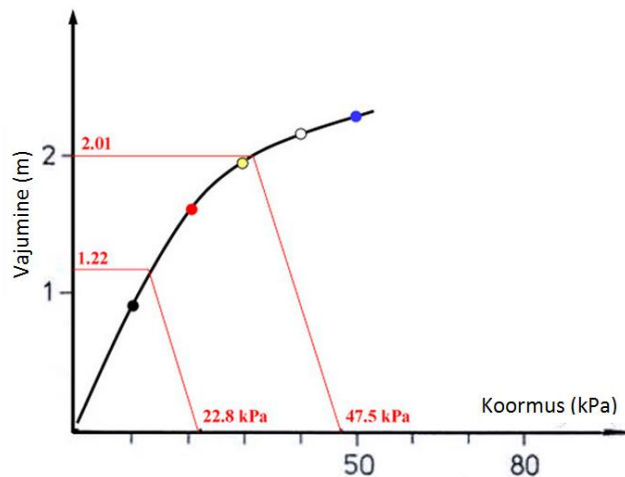


Joonis 2.17. Üleslükkejõu mõju. Näites kasutatakse järgmisi mahukaale: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ (veega küllastumata materjali mahukaal, mulde materjal). $\gamma_M = \gamma_{\text{SAT}} = 21 \text{ kN/m}^3$ (veega küllastunud materjali mahukaal, mulde materjal). $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ (vee mahukaal). $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ (veega küllastunud materjali efektiivmahukaal põhjaveetasemest allpool) [33].

Üleslükkejõust tuleneva mõju arvestus, joonis 2.17. Oletame, et muldkeha vajub meetri võrra turbasse, mis on kuivendamata. See tähendab seda, et 1m muldkehast muutub veega küllastumata olekust veega küllastunud olekuks. Efektiivpinged muldkeha all muutuvad 19kPa-st 11kPa-ni ($21\text{kPa} - 10\text{kPa} = 11\text{kPa}$), s.t turba efektiivpinge väheneb 8kPa ($19\text{kPa} - 11\text{kPa} = 8\text{kPa}$) ühe meetri vajumise kohta (muldkeha kõrgus jääb samaks). Jooniselt 2.16 näeb vajumise muutust (8kPa horisontaalsuunas ja 1m vertikaalsuunas).

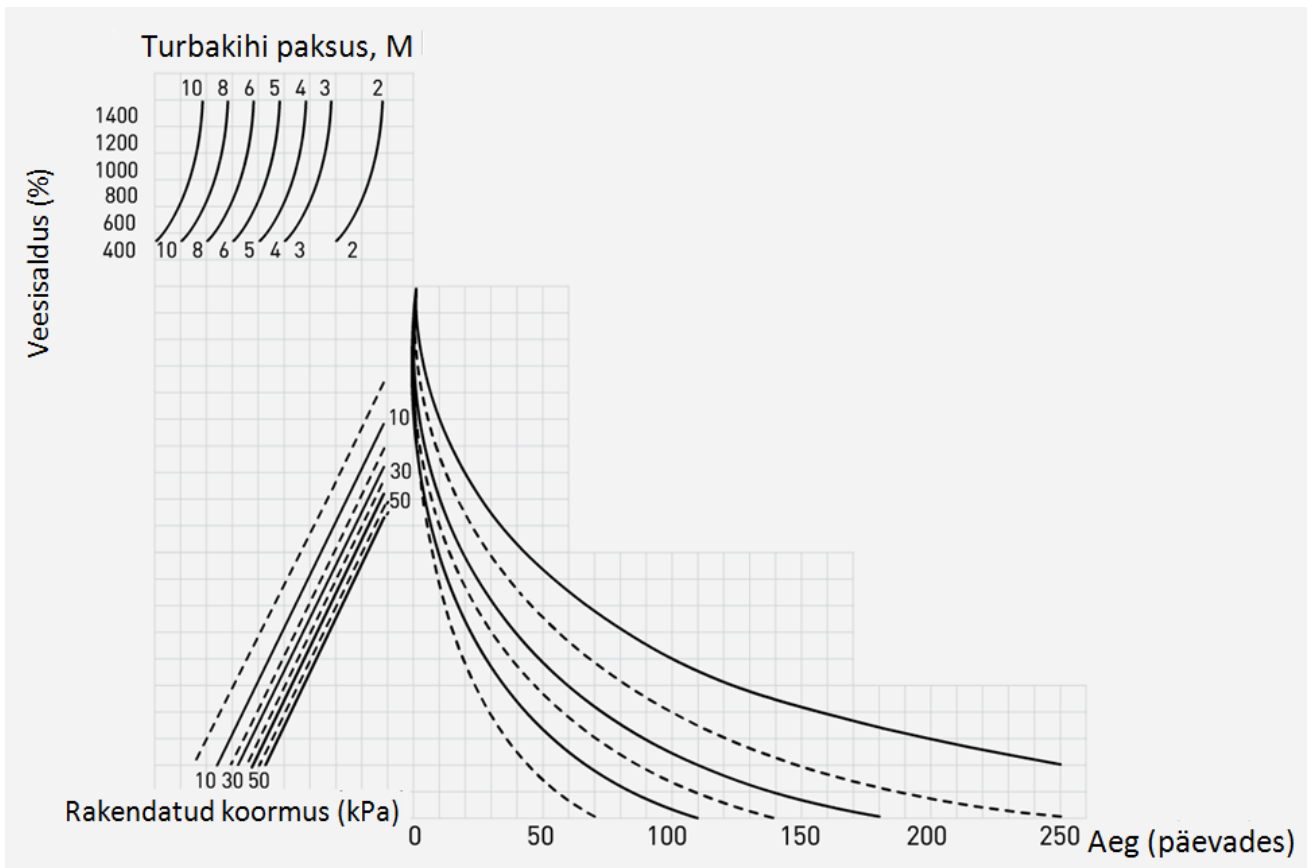
Näidisarvutuses tähendab see, et arvestatud vajumid 50kPa koormusel vähenevad 2,37meetrist 2,06 meetrini.

Näiteks võetud 2,5m mulle ehitatakse kahes etapis: esimene kiht 1,2m paksuselt ($\Sigma q = 22,8\text{kPa}$) ja teine kiht 1,3m paksuselt ($1,2\text{m} + 1,3\text{m} = 2,5\text{m}$, $\Sigma q 47,5\text{kPa}$). Koormus-deformatsioonidiagramm nendele koormustele on esitatud joonisel 2.18.

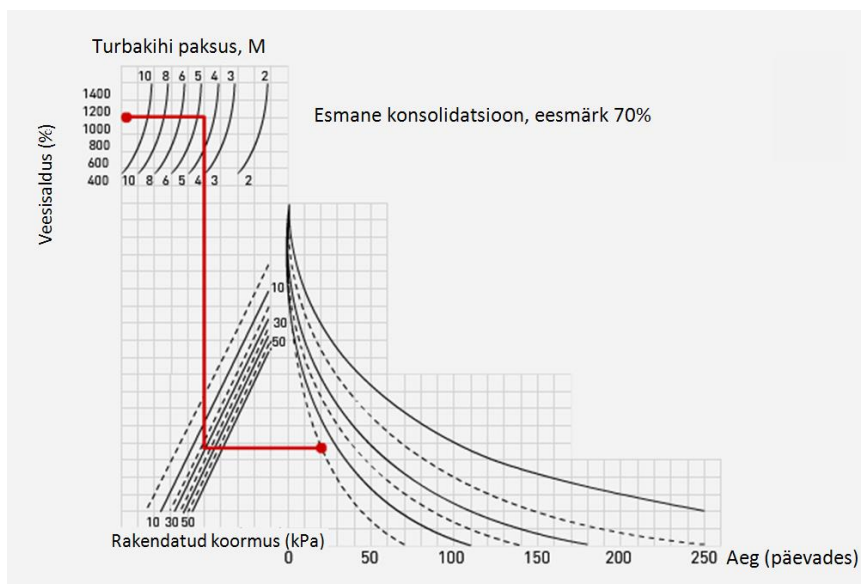


Joonis 2.18. Andmed näidismulde koormus-deformatsioonigraafikult [33]

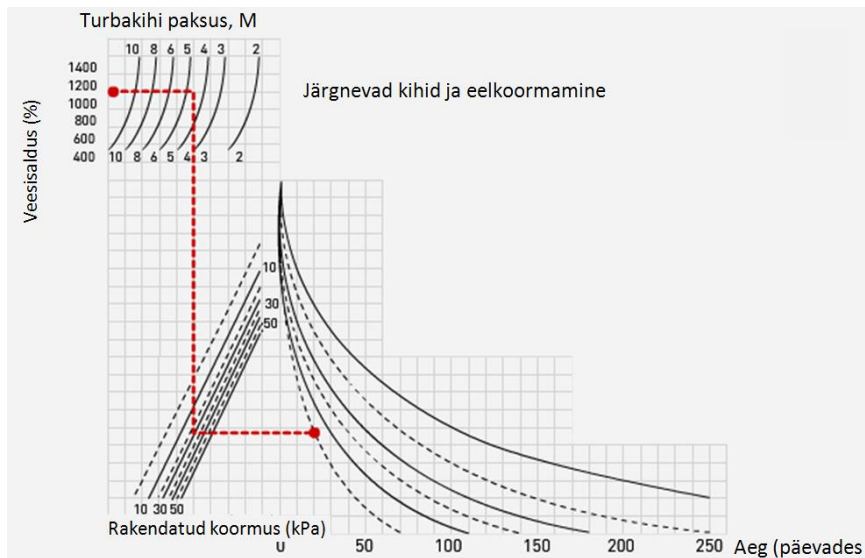
Nimetatud kahe muldkeha koormusastme konsolidatsiooni saab modelleerida kasutades joonist 2.19, kuid eeldusel, et turba üla- ja alapinnas paiknevad kihid on vett läbilaskvad. Kui kihid on vett mitteläbilaskvad, tuleb turba paksus korrutada kahega (vett läbilaskmatud kihid ei võimalda kiiret konsolidatsiooni).



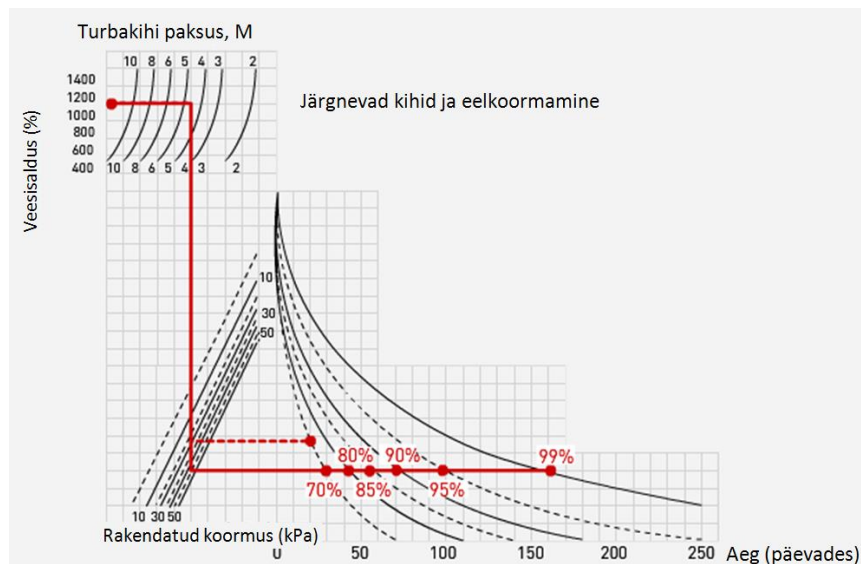
Joonis 2.19. Diagrammi kasutamise graafiline juhend on esitatud joonistel 2.20 – 2.22 [33]



Joonis 2.20. Esimese konsolidatsiooni arvestamine [33]



Joonis 2.21. Konsolidatsiooni arvestamine järgmiste kihtidega [33]



Joonis 2.22. Konsolidatsiooni arvestamine, lõplik [33]

Mulde/teekonstruktsiooni teine kiht ehitatakse siis, kui all olev turvas on piisavalt konsolideerunud võtmaks vastu lisakoormust (antud juhul olukorras, kui 70% esimese kihi esmasest konsolidatsioonist on saavutatud). Eri etappide tulemused on esitatud tabelis 2.11 loetuna jooniselt 2.20 – 2.22.

Tabel 2.11

Näidismulde vajumise arvutuse koondtabel [33]

Kiht	Koormus (kPa)	Konsolideerumine (%)	Aeg (jooniselt 2.19 päevades)	Proгноositud vajum jooniselt 2.18 (m)	Vajum ajas (m)
1 aste	22,8	70	19	1.22	0.85
2 aste	47,5	70	28	2.01	1.41
		80	44		1.61
		85	55		1.71
		90	71		1.81
		95	99		1.91
		99	163		1.99

Tabel 2.11 kuvab vaid turbakihi vajumisi. Kui mulde all on lisaks turbale veel muidki kokkusurutavaid kihte, tuleb koguvajumi leidmiseks arvestada ka nendega.

2.2.6 Uuringud

Turvas on väga muutuv materjal ja seetõttu tuleks projekteerimise tarbeks teha alati mingil määral pinnaseuringuid, viimaks tee deformeerumise riskid minimaalseks. Uuringud ei pea olema suuremahulised ja kallid, kuid neid tuleks teha iga projekti raames. Uuringute tegija peaks olema spetsialist, kellel on kogemusi turbaga. Tüüpilised uuringud puudutavad turbakihi paksust, konsistentsi ja vahelduvust ning muude vajuvate kihtide leidmist, mis võiksid paikneda turba all.

Kõikidel objektidel tehtavatel uuringutel peab olema eesmärk ja seetõttu tuleks teha vaid need uuringud, millest saadakse projekteerimiseks hädavajalikke andmeid. Teinekord on inseneridel ahvatlus jätta vajalikud uuringud tegemata raha- ja ajapuudusel, kuid see on viga. Turbale ehitatavate teede ehitusviis peab alati põhinema saadud uuringutulemustel.

Madalaklassilistele teedele tehtavate uuringute hulk põhineb tavaliselt majanduslikel kaalutlustel. Suurest valikust eri uurimismetoodikatest tuleb valida objektile sobivaim kooslus, millega tehakse kindlaks kogu vajaliku info saamine usaldusväärse analüüsi tegemiseks. Erinevaid uuringumeetodeid on kirjeldatud tabelis 2.12 (kirjeldatud on ka uuringumeetodeid, mida kasutada olemasoleva tee rekonstrueerimisprojekti koostamiseks).

Tabel 2.12

Turbale ehitatavate teede uuringumeetodid [33]

Uurimismeetod	Kirjeldus	Kommentaar
1. Taustauuring	Kontoris tehtav uuring, milles tutvutakse kaartide, arhiivandmete, raportite, ajaloo, olemasolevate muude objektide ja muu kohapealse infoga.	Projekti elluviimiseks vajalike lähteandmete kogumine. Hädavajalik.
2. Objekti välivaatlus	Visuaalne kohapealne vaatlus. Tuleks teha inseneril, kel on kogemusi turbauuringutel.	Praktiline ja odav uurimusmeetod, millega saadakse aimdus piirkonnast ja seal olevatest väljakutsetest. Hädavajalik.
3. Šurfimine	Turba paksuse sondeerimine (joonis 2.23), lisaks puurimine või kaevamine. Turbaaladele ehitades tuleb alati teha mõningast šurfimist	Määratakse turbakihi paksus. Võidakse kasutada ka nt maaradari kalibreerimiseks. Kogenud insener saab meetodiga infot ka turba omadustest (veesisaldus ja nihketugevus). Hädavajalik.
4. Proovide võtmine	Füüsiliste proovide võtmine. Määratakse teekonstruktsiooni (kui rekonstrueeritakse olemasolevat teed), mulde ja turbakihi paksused ja omadused.	Proovide võtmine võib anda ka muud teavet, millega kalibreerida ja täiendada muid võimalikke mõõtetulemusi. Alati tuleks võtta mõningaid proove.
5. Maaradari uuring	Üha laialdasemalt kasutust leidev uurimismeetod, mis sobib eriti hästi tee ja pinnasekihtide paksuse mõõtmiseks.	Maaradari piltidest näeb selgeid piirjooni tee ja selle all oleva turba ja tugevama pinnase vahel. Soovituslik.
6. Digitaalne videopilt	Rekonstrueeritava tee visuaalne pilt seotuna GPS-koordinaatidega.	Soovituslik.
7. Penetratsioonikatse	Sarnane šurfimisega, kuid meetodiga saab määrata kihtide suhtelist jäikust ja tugevust teiste läbistavate kihtide suhtes.	Võib olla kasulik meetod, kui olemasoleva tee või turbakihi all on veel teistest materjalidest kihte.
8. Kandevõimemõõtmised (FWD ja/või LFWD ehk Inspector-laadsed seadmed)	Mittepurustav mõõtemetoodika, millega imiteeritakse raskeveoki ülesõitu.	Annab infot kandevõime, aluspinnase, turba olemasolu ja tugevamate kihtide paiknemise kohta. Soovituslik tee laiendamiseks ja konstruktsiooni rekonstrueerimiseks.



Joonis 2.23. Turba paksuse mõõtmine sondeerimisega [33]

- Nii taustauuring kui piirkonna vaatlus annavad tähtsaid algteadmisi objekti tegelikest uuringu- ja analüüsvajadustest. Kõikide mainitud uuringumeetodite korraga kasutamine on harva majanduslikult otstarbekas.
- Objekti välivaatlus on üks tähtsimatest uuringutest. Olemasolev tee või soovitatav teetrass on täissuuruses mudel projektile ja pakub parimat võimalikku teavet probleemidest, mis tõenäoliselt tõusevad esile ja millega tuleb projekteerimisel arvestada. Välivaatlus annab samuti võimaluse näha turba pinna omadusi nagu ojad, veesilmad, salaojad, pinnavormid, turbaala veevõtukohtad, vett hoidvad alad jm, ning arvestada, kuidas need võivad mõjutada planeeritavaid töid.
- Sondi võib kasutada turba sügavuse mõõtmiseks. Seda tehakse tavaliselt ühe meetri pikkuse toruga, mida on võimalik jätkata keermega niipalju kui turbakihipaksus seda nõuab (joonis 2.23). Kui turvas asub tugevama kihi peal (nt moreen) võib sondiga seda tundes saada teavet kihipaksusest. Sondiga tehtavate uuringutega võib tekkida probleeme siis, kui turbakihi sees on pehmeid kokkusurutavaid kihte, nagu savi, muda, või puutükke. Sellisel juhul ei ole võimalik eristada materjale üksteisest ja tuleks kasutada täpsemaid meetodeid, nagu penetratsioonikatse.
- Maaradariuuringut kasutatakse tavaliselt olemasolevatel teedel. Olenevalt kasutusel olevast antennist võib uuring anda head teavet olemasoleva tee kihtidest ning turba ja muude kokkusurutavate kihtide paksustest. Maaradar võib aidata ka turba vajumiste ennustamisel andes teavet olemasoleva koormuse mõjudest juba olnud vajumistele. Seda teavet saab kasutada vajumianalüüside kalibreerimiseks uute konstruktsioonikihtide ja/või tee laienduste ehitamisel.

- Proovide võtmine. Turbatüüp ja selle omadused tuleb määrata alati. Turba tüübi määramiseks enimkasutatav on Von Posti klassifikatseerimine (tabel 2.8). Vajumiarvutuste tegemiseks on vaja veel andmeid veesisalduse kohta.
- Nihketugevus. Kohapealse nihketugevuse määramine turbast on keeruline selle suure vahelduvuse tõttu. Kiuliste turvaste puhul nihketugevuse väärtuse puudumine ei ole probleemiks, kuid suure veesisaldusega turbas tuleks saada alati nihketugevusväärtus, eriti kui koormusseisund seoses raskeliiklusega kasvab märgatavalt. Nihketugevusnumbrist võib saada aimdust tehes objektil tiivikkatse, kuid seoses riskiga väärtõlgendusteks, peaks seda tegema vaid kogenud insener.

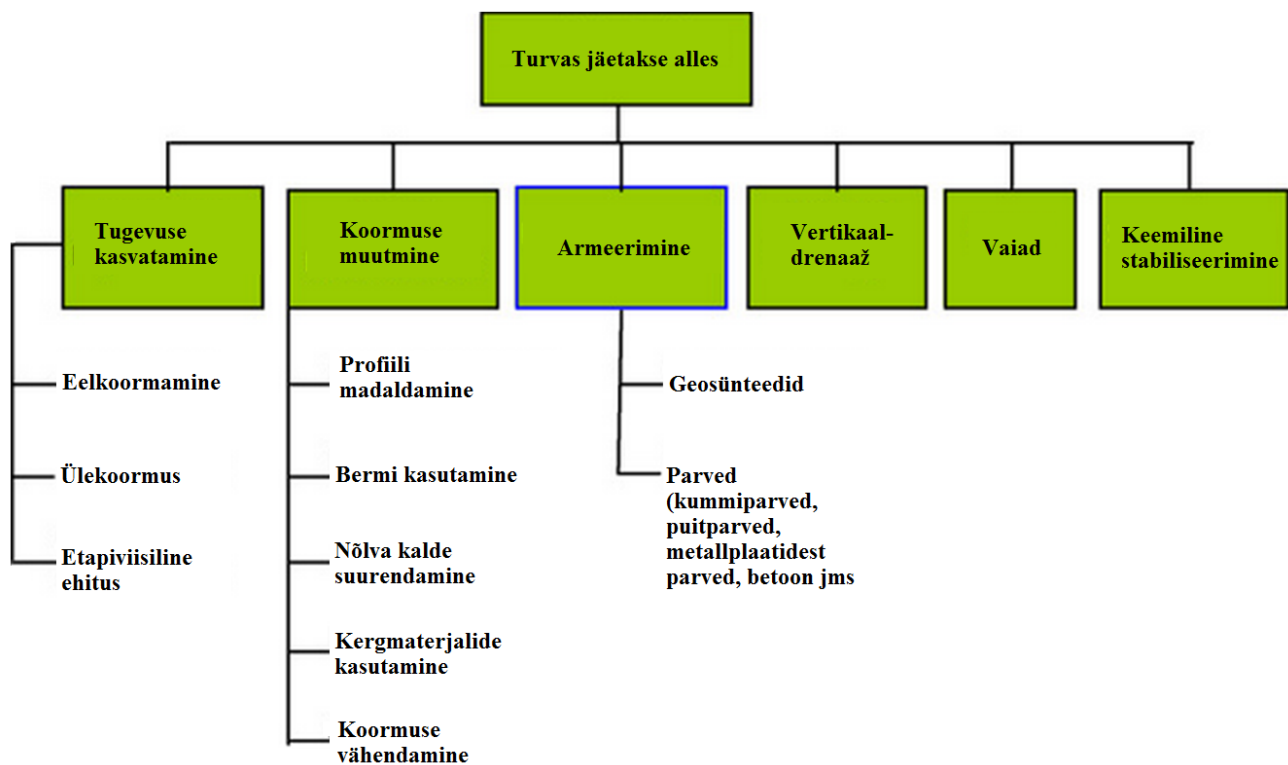
2.2.7 Ehitusmeetodid

Turbapiirkondadesse tee ehitamine jagatakse nelja alamklassi:

- vältimine ehk ehitada tee turbaalast eemale;
- materjali täielik väljavahetus;
- turba väljatõrjumine;
- turba jätmise alusmaterjaliks (ehk „ujuva tee“ ehitamine).

Siinkohal käsitletakse vaid viimast punkti, kuna muud meetodid on sellest oluliselt kallimad ja väikese liiklusega teedel tihti ebamõistlikud.

Jättes turba alusmaterjaliks välditakse suurte pinnasmassiivide kaevandamist ja transporti. Võimalikud on kuus peamist meetodit (joonis 2.24). Selliseid teid võidakse nimetada ka kui „ujuvateks teedeks“.



Joonis 2.24. Erinevad viisid tee ehitamiseks juhtudel, kui turvas/eripinnas jäetakse teekonstruktsiooni alla [33]

„Ujuvad teed“ on sellised, mis on ehitatud otse turbale ja mis toetuvad kohapeal oleva turba tugevusele. Teed sõna otseses mõttes ei „uju“ turbal, vaid tekib tasakaal tee raskuse ja turba tugevuse vahel. Kaasaegsed ehitusmeetodid tavaliselt puudutavad sellistel juhtudel geosünteeete, mis asetsevad turba ja mulde vahel, kuid kasutatakse ka muid, nagu on näidatud joonisel 2.24.

„Ujuvate teede“ põhimõte tundub olevat lihtne, kuid tegelikkuses seda pole. Igale objektile tuleb läheneda individuaalselt arvestades selle geomorfoloogiat ja topograafiat. „Ujuv tee“ igas olukorras ei pruugi anda häid tulemusi.

Tavaolukorras (koormamata või looduslikud olekus) on turvas väga nõrk materjal, millele ehitada teid. Kuid turvast ettevaatlikult koormates, lubades sel konsolideeruda ja tugevust kasvatada, on tulemuseks hästi kasutatav vundament. Konservatiivses mõttes turvast teede alla jätta ei tohiks ja see tuleks asendada tugevamate materjalidega. Vähesel liiklusega teede puhul ei ole otstarbekas kasutada nii ranget lähenemist.

Peamine looduslikus lasundis oleva turba omadus on kõrge veesisaldus ja põhiliste vajalike karakteristikute leidmiseks piisab tihti infost selle ja turbatüübi kohta. „Ujuvate teede“ puhul nihketugevus on võtmetähtsusega parameeter. Tavaliselt, mida kõrgem veesisaldus, seda madalam nihketugevus, mida kiulisem turvas, seda kõrgem nihketugevus ja mida suurem lagunemisaste, seda madalam nihketugevus.

Turvast tuleb koormata aeglaselt, et alla jääv materjal suudaks uue koormusolukorraga kohaneda. Kui „ujuv tee“ ehitada valmis liiga kiiresti, hakkab turvas uue koormusolukorra all murduma. Kui turvast koormatakse liiga kiiresti andmata piisavalt aega pooriveel väljuda, muutub turba nihketugevus samaks, mis vees ehk nulliks.

Tugevuse kasvatamine

Tugevuse kasvatamise all mõeldakse seda, kui tee ehitatakse etapiviisiliselt või astmeliselt ning iga järgnev kiht ehitatakse alles pärast seda, kui turvas on piisavalt tugev. Esimene kiht astmelises ehituses ehitatakse tavaliselt piisavalt paksuks võimaldamaks liiklust objektil, kuid samas nii õhukeselt, et mitte tekitada nihkepingetest tingitud murdumist turba sees.

See tähendab kiulisel turbal seda, et tavaliselt normaalselt toimiv piisavalt tugev tööalus esimeses etapis on umbes 20kPa (umbes 1m kruusa ilma armeeriva geosünteeetika kasutamiset). Järgmised kihid ehitatakse alles siis, kui 50-70% esmasest konsolidatsioonist ehitatud kihi raskuse toimel on toimunud. Sama põhimõtet rakendatakse järgmistel kihtidel.

Etapiviisiliseks koormamiseks sobivad ideaalselt kiulised turbad nende väga heade algomaduste, nagu suure kokkusurutavuse ja veejuhtivuse poolest. Tehnikat võib kasutada ka amorfsetel turvastel, aga siis peavad eri etappide vahelised ajad olema pikemad. Tavaliselt etapiviisilise ehituse kiirus määratakse turbakihi pooriveerõhu hajumise põhjal, mis tuletatakse turba vajumiskiirusest.

Parim jälgimisviis on piesomeetrite tulemite jälgimine (eeldab andurite ja logerite paigaldust objektile).

Etapiviisilise ehituse ajal võib tekkida märkimisväärseid vajumeid, millega tuleks arvestada juba projekteerides, et mitte üllatuda ehitamise käigus.

Eelkoormamise meetod parandab turba tugevust kiirendades selle konsolideerumist nii, et turvas kestab planeeritud koormust varem. Turvas sobib hästi eelkoormatavaks, kuna sel on looduslikult hea veeläbilaskevõime ja tiheneb koormuse all suhteliselt kiiresti.

Põhimõte on lihtne: vajalikust koormusest suurem koormus asetatakse turbale ja lastakse muldel vajuda, kunas saavutatakse soovitud vajumisaste, mille saavutamisel ülemäärane materjal (koormus) eemaldatakse ja kasutusaegne koormus jääb tugevdatule turbamassile.

Koormuse muutmine

Muudetud koormuse rühm hõlmab meetodeid, mis mõjutavad mulde koormuse jagunemist nii, et see sobiks paremini olemasoleva turba tugevusele.

Siin käsitletakse lähemalt vaid kergmaterjalidest muldeid. Kergete materjalide kasutamisega vähendatakse mulde kogukaalu ja läbi selle alusesse jõudvate pingete suurusi. Kergmaterjalidest koosnevad mulded ehitatakse tavaliselt koos konsolidatsiooni ja vajumisi kiirendava ajutise ülekoormamisega. Saavutades eeldatud vajumid, ülekoormus eemaldatakse ja viimistletud muldkeha jääb tugevdatud alusele.

Tavaliselt kergmaterjalidest täitematerjale kasutatakse vaid osaliselt mulde materjalidena nende kõrge hinna tõttu ja nende kasutus piiratakse tavaliselt kohtadesse, kus muud meetodid ei ole majanduslikult otstarbekad. Hea kergmaterjal peaks lisaks kergusele olema ka pika elueaga, mittelagunev, keskkonnaohutu ja kerge paigaldada ning tihendada. Lisaks materjalil peaks olema hea survetugevus ja madal kokkusurutavus. Tabelis 2.13 on esitatud mõningad nimetatud tingimustele vastavad materjalid.

Tabel 2.13

Kergmaterjalid ja nende iseloomustus [33]

Materjal	Mahukaal kg/m ³	Selgitus
Kergkruus	650-1200	Tööstuslikult valmistatud materjal (savipelletite kuumutamisel). Tavaliselt nõuab 0,6m paksust teekonstruktsiooni. Kui külgtugesid pole, on raskesti tihendatav.
Kergkillustik	100-500	Taaskasutatud klaasist valmistatud vahustatud tükid, mille nurgad on kulutatud ümaraks.
Põlevkivituhk	900-1280	Tekib põlevkivi põletamise kõrvalproduktina. Loomult kergelt tsementeeruv.
Puukoored või – hake	800-1000	Toorest puud ei soovitata tema raskesti tihendatavuse tõttu. Teekonstruktsiooni mõttes vana puukoore omadused võivad olla soodsad.
EPS (polüstüreenblokk)	100	Tööstuslik valmistatud toode. Väga kerge, võrdlemisi kallis, survetugevus vähemalt 100kPa. Paigaldatud materjal kaetakse tavaliselt betoonplaadiga. Tuleb kaitsta kütuste, tule ja UV-kiirguse eest.
Betoonijäätmed	750-1000	Valmisbetoonitööstuse jäägid ehk defektsed elemendid jm
Kasvuturvas	500-800	Turbast pressitakse ka blokke, mida kasutada kergete mullete ehitamisel
Rehvidest blokid	500-600	Blokkideks tihendatud ja galvaniseeritud traadiga kokkuseotud vanad rehvid.

Kõige soovitatavad kergmaterjalid on kergkruus, -killustik ja EPS-blokid, kuid metsateede ehitamiseks võib nende kasutamine osutuda liiga kalliks. Reaalsemaks kasutuskohaks on näiteks sildadele pealesõidud väga nõrkade alusmaterjalide puhul.

Metsatööstuse kõrvalprodukte nagu puukoor, -hake ja saepuru on edukalt kasutatud Põhjamaades. Materjalid tuleks katta vett halvasti läbilaskvate materjalidega nagu savi või pinnas hoidmaks neis niiskust ja eemal ilmastiku mõjutustest. Vastasel juhul võivad materjalid hakata lagunema ja olla ohuks tuleohutuse mõttes.

Tugevdamine

Muldeid võib tugevdada mitmete erisuguste materjalidega. Antud valdkond areneb kõige kiiremini ning uusi tehnikaid ja võimalusi tuleb pidevalt juurde. Mõningateks võimalusteks on:

- geosünteedid (geotekstiilid, -võrgud, -kärjed);
- puidust parved;
- betoonplaadid;
- galvaniseeritud terasplaadid;
- terasvõrgud

Eesti oludes võiksid olla kõige kasutatavamateks materjalideks puitparved ja geosünteedid, aga hea kättesaadavuse korral ka betoonplaadid.

Tugevdusmeetodid ei vähenda turba (või muu nõrga materjali) konsolideerumist või vajumist, kuid vähendavad oluliselt materjalikadu ning ebahühtlasi vajumeid. Samuti takistavad materjalide külgsuunalisi nihkeid aluspinnase ja täitematerjali kokkupuutepunktis.

Puidust parved

Puuparvede ehitamine on vanim meetod ehitamiseks teid pehmetele pinnastele. Puidust parv toetab ja jagab mulde koormuse turbale kuniks viimane on saavutanud piisava tugevuse suutmaks ise kanda mulde koormust. Läbi aegade on kasutatud eritiübilisi puitparvi alustades võsamattidest ja puitpalkidest lõpetades terasvarrastega ühendatud puitprussidega (valik oleneb tee vajalikust kandevõimest ja pikaealisusest, nt võsamatid sobivad ajutistele, vähese koormusega teedele ning puitprussid asfaltkattega teede ehitamiseks). Kõikidel variantidel on sama eesmärk – takistada mulde materjali surumist turbasse ja jagada mulde koormus ühtlaselt kogu aluse laiuselt.

Lihtsaim meetod on kasutada ehituselementidena kohapeal saada olevaid puumaterjalikimpe (võsa, risu). Materjal laotatakse turba pinnale ja kaetakse sobiva täitematerjaliga. Palkidest ehitatud parved on raskem versioon võsast, kuid mulde all pakuvad need rohkem tuge vajumise vastu. Lihtsamate variantide puhul moodustavad need koos ühest kihist kõrvuti laotud palke asetatuna tee telje suhtes risti. Platvorm võidakse teha ka ladudes palgid üksteise suhtes ortogonaalselt (palkidevaheline nurk tavaliselt 60°) ühendades need terasvarrastega.

Kogemused on näidanud, et puuparved peavad vajuma põhjavette kuue kuu jooksul pärast paigaldamist lagunemise vältimiseks. Kui puuparved ei ole täielikult uppunud, hakkab puit tõenäoliselt mädanema ja parv laguneb. Parimateks ehk kõige vastupidavamateks puuliikideks antud ülesande täitmiseks on haab ja mänd.

Puitparvi kasutatakse vähe, kuna sama ülesannet täidavad geotekstiilid- ja võrgud. Puitparvede ehitamine on ajamahukas, mis teeb töö kalliks. Siiski, majanduslik kalkulatsioon võib näidata puitparvede eelist muude tehnoloogiate ees eriti, kui materjal on objektil kergest kättesaadav.

2.2.8 Geosünteedid ja eripinnased ehk muldkehade tugevdamine

Kõige kaasaegsem meetod madalaklassiliste teede ehitamisel nõrgale pinnasele on ühes või mitmes kihis armeerivate geosünteedide kasutamine sõltuvalt tingimustest. Peamine kasu geosünteedide kasutamisest tuleb komposiitmaterjali tekkimisest, millel on võime võtta vastu tõmbejõude ja läbi mille saab vähendada mineraalmaterjalikihtide paksusi. Tänu kihipaksuste vähenemisele alaneb teekonstruktsiooni kaal, mis vähendab konsolideerumist.

Armeerivate geosünteedide kasutamise eelised nõrgale aluspinnasele ehitatud teedel on järgmised:

- Teekonstruktsiooni profiilset mahtu saab vähendada kuni 50% võrreldes ilma geosünteede kasutamata (kokkuhoidu saab nii kihipaksustes kui vajalikus mulde laiuses). Tulemuseks vähem materjale, mida tuleb transportida, mis omakorda vähendab kütusekulu, müra, tolmu ja teisi saastekomponente, mis kaasnevad teedeehitusega.
- Geosünteedide kasutamine ei kõrvalda konsolidatsiooni, kuid tulenevalt väiksemast materjalihulgast (seega väiksemast kaalust) on vajumised võrreldes „traditsioonilise“ konstruktsiooniga väiksemad.
- Geosünteedide kasutamine aitab vähendada ebahütlaseid vajumeid jaotades koormusi nõrgale pinnasele ühtlasemalt; tulemuseks tasasem tee.
- Nõrkade tugevusomadustega pinnaseid mitte välja kaevates säilitatakse vegetatsioon ning ökoloogiline seisukord kohapeal ei muutu nii suurel määral, kui materjalide väljavahetamisel.
- Tänu väiksematele mahtudele nii ehituses kui transpordis, hoitakse CO₂ emissioonid madalatenä.

Käsitledes vaid turbale ehitatavaid teid, koosneb hea praktika järgmistest etappidest:

- objekti uuring määramaks kohapealne hüdroloogia ja turba olemus;
- olemasoleva turba tugevusomaduste määramine;

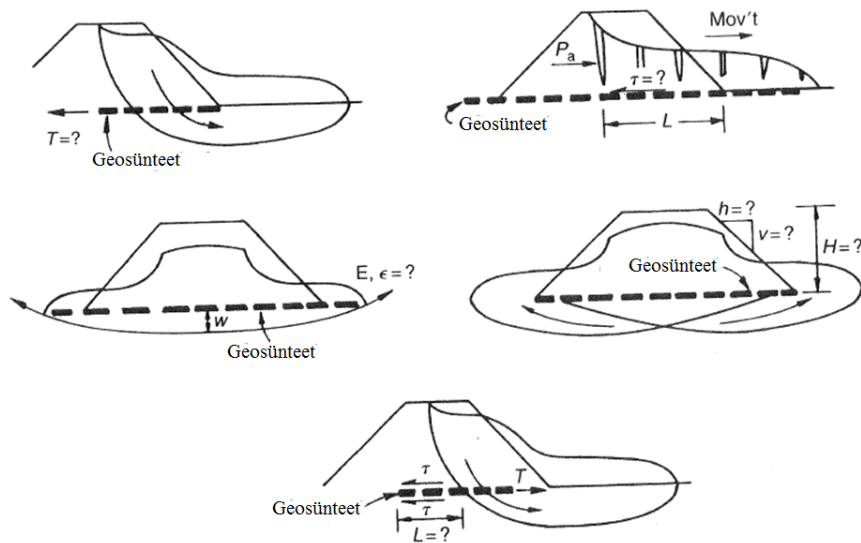
- oodatava liikluskoormuse (ajutise iseloomuga teedel) või vajaliku kandevõime (püsivate teede ja/või väga raskete koormuste puhul) määramine;
- tee projekteerimine vastavalt nõudmistele ja kohapealsetele oludele;
- tee ehitamise monitooring ja järelevalve;
- kõikide tegevuste ja tulemuste dokumenteerimine tulevikuprojektide jaoks.

Geotehnilises mõttes „ujuvate teede“ projekteerimine põhineb järgmistel oletustel ja tingimustel:

- turvas saavutab vajaliku tugevuse läbi konsolideerumise ja vajumise koormuse all;
- esimene turbale paigaldatud kiht peab tagama piisava tugevuse järgmiste kihtide ehitamiseks (st masinate teel liikumine);
- tee võtab vastu kogu liikluse, mis tema elueaks on arvestatud;
- tee dimensioneeritakse läbi arvutuste või poolempiiriliste reeglite järgi;
- tee sisaldab geosünteeete;
- mulde laius määratakse lähtuvalt oodatavast liiklusest ja stabiilsusnõuetest;
- maksimaalne roopa sügavus tee pinnal ei ületa tee eluea jooksul 100mm.

2.2.8.1 Armeeriva geosünteeetika projekteerimisalused mulletes

Armeeriva geosünteeetika kasutus teedehituses arvutuslikus ja kasutamise mõttes jagatakse kaheks: muldkeha ja katendi armeerimine. Muldkeha armeerimise all mõeldakse selle stabiilsuse tagamist näiteks joonisel 2.25 kujutatud juhtumite puhul ja katendi puhul roobaste tekke vältimist ja kandevõime tõstmist (v.t peatükk 3.3). Geosünteeetide kasutamine ei mõjuta pikas perspektiivis mulde konsolidatsiooni. Sellel on siiski mõningaid märgatavaid eeliseid lühikese ja keskmise ajaperioodi jooksul. Esiteks, parandab geosünteeet ehitusaegset mulde stabiilsust vähendades täitematerjali kadusid märkimisväärselt enne, kui alus (turvas) saavutab piisava tugevuse suutmaks kanda koormusi. Geosünteeet aitab vähendada ebahütlaseid vajumeid ja suurendab kogu konstruktsiooni kandevõimet.



Joonis 2.25. Erinevad muldkeha stabiilsuse kao/purunemise viisid [25]

Joonisel 2.25 kujutatud juhtudel arvutuse lähteandmeteks ja tulemusteks on (mullete stabiilsuse arvutuse puhul seoses teema väga suure mahukuse tõttu ei laskuta siin arvutuse detailidesse vaid tuuakse ära peamised põhimõtted ja vajalikud viited):

- olemasolevate ja juurdetoodavate pinnaste omadused (olenevalt olukorrast terastikuline koostis, materjali üldine olemus, elastsusmoodul, sisehõordenurk, nidusus, veeläbilaskvus, külmakartlikkus);
- geosünteedi-pinnase omavahelised omadused [jõudude ülekandmine pinnases geosünteedi (määratakse hõõrde- ja väljatõmbetestiga), vastupidavus transpordi- ja paigaldusaegsetele vigastustele, geosünteedi veeläbilaskvus];
- geosünteedi omadused (tõmbetugevus, venivus, roomenäitajad);
 - geosünteedi vastupidavus keskkonnatingimustele (pH, keemiline ja mikrobioloogiline vastupidavus, UV-kiirguse kindlus, mõningatel erijuhtudel temperatuur, pinnase/vee saastatus kemikaalidega või selle oht).

Geosünteedi vajalikud tugevusnäitajad ja ka valmistusmaterjal (läbi venivuse) tuleneb kõigepealt konstruktsiooni stabiilsuse tagamiseks vajalikust tõmbetugevusest (geosünteedi pikaajaline tõmbetugevus), mida suurendatakse läbi lubatud maksimaalse venivuse ja varuteguritega, mis tulenevad kasutatud materjali roomeomadustest, paigalduspingetest ja keskkonnaalastest ohtudest. Tulemuseks saadakse geosünteedi lühiajaline (maksimaalne) tõmbetugevus. Geosünteedi vajalikud omadused sõltuvad muidugi ka konstruktsioonist, s.t kas geosünteed peab töötama lühiajaliselt (vaid

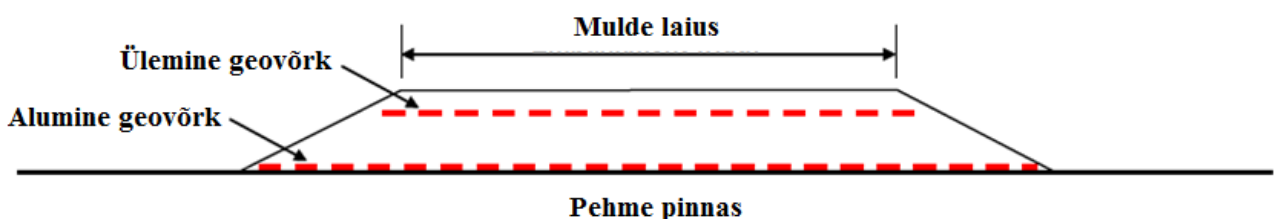
ehitusaegne tugevuse andmine) või pikaajaliselt (konstruktsioon toetub geosünteedile kogu projekteeritud eluea jooksul).

- Lisainfot muldkehade geosünteedikaga armeerimise arvutuste kohta saab Maanteeameti geosünteedide kasutamise juhendist:
http://www.mnt.ee/failid/juhised/geosynteedide_kasutamise_juhis.pdf
- Täpsemad projekteerimisjuhendid on olemas näiteks Saksamaa geosünteedidega armeerimise juhises EBGeo [23] või Soome geosünteedide kasutamise käsiraamatus „Geolujutetut maarakenteet“ (http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lop_2012-02_geolujutetut_maarakenteet_web.pdf).
- Vaata ka standardit EVS-EN 13251 „Geotekstiilid ja geotekstiilipõhised tooted. Nõutavad omadused kasutamiseks mullatöödel ning vundamentides ja tugikonstruktsioonides“.
- Leia lisainfot läbi viidatud allikate loetelu.

Väiksematel teedel muldkehade stabiilsuse tagamisel võidakse kasutada ka katendite stabiliseerimisel tuttavat lähenemist, tehes geovõrkudest komposiit, kus jämedateralise materjali all ja vahel on kaks või enam kihte geovõrke teatud vahega (300...400mm, joonis 2.26). Tänu komposiidile muudetakse kogu muldkeha materjal jäigemaks, millega on võimalik vähendada kasutatavate mineraalmaterjalide hulka, mis vähendab konstruktsiooni kaalu, mis omakorda vähendab turbas vajumeid. Alumise geovõrgu efektiivsust vähendab alusest tulev peenos. Eraldavat geotekstiili tuleks kasutada, kui aluse peenosise sisaldus on üle 15%

Stabiliseerimise lähenemise juures on mulded kasutatavatele materjalidele rangemad nõuded, vähemalt geosünteediga vahetult kokkupuutuvatele materjalidele. Kuna teooria töötab lukustusefektil, peavad kasutatavad materjalid geovõrgu avadesse suutma kinnituda.

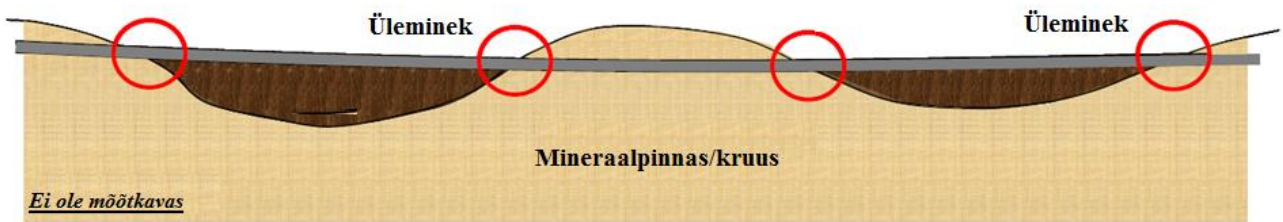
Geosünteedide kasutamisel armeerimiseks tuleks konsulteerida vastava ala spetsialistiga.



Joonis 2.26. Geosünteedide paigaldamine mitmes kihis kasutades stabiliseerimisel tuttavat lähenemist [6]

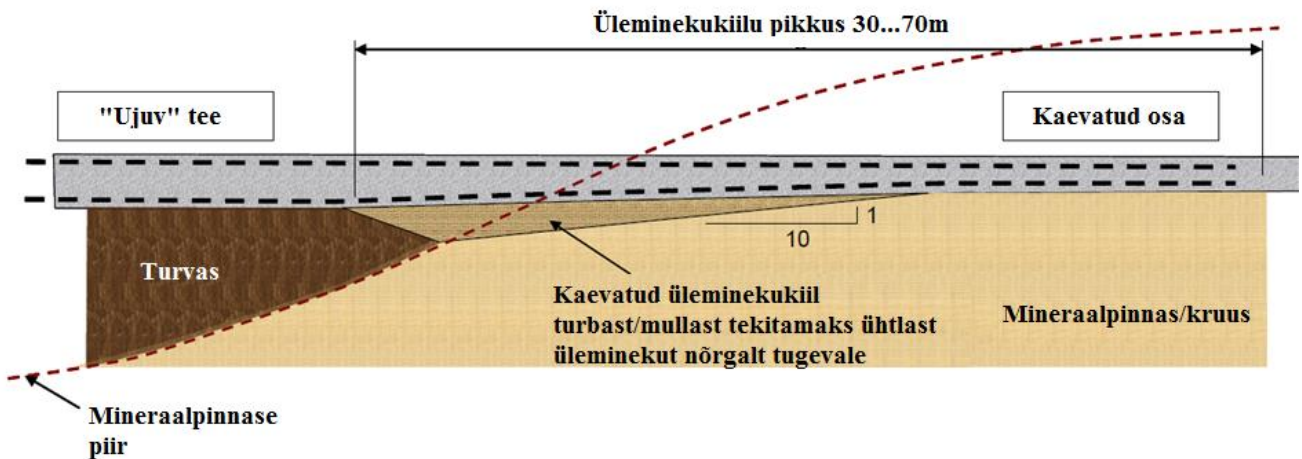
Üleminekud turbalt mineraalpinnasele

Üleminekukiile kasutatakse kohtades, kus tee alus muutub turbast mineraalmaterjaliks või kui aluse tugevus muutub oluliselt (joonis 2.27). Sellistes kohtades tekib tavaliselt probleeme ebaühtlaste vajumistega, kui neid ei käsitleta õigel viisil. Lahendus probleemile saadakse, kui kokkupuutepunktidesse ehitatakse üleminek tugev-nõrk või nõrk-tugev, mis annab teel võimaluse muganduda muutusele põhjustamata liiga suuri vajumisi ja pragusid. Selleks tuleb ehitada üleminekukiil, mille tugevus ja jäikus kasvavad järk-järgult (joonis 2.28).



Joonis 2.27. Üleminekutsoonide asukohad [6]

Üleminekukiilu pikkus määratakse vastavalt objekti olukorrale ja liikluskoormusele, kuid enamasti üleminekukiilu kalle 1:10 on piisav. Tugevdamiseks kasutatud geosünteet peaks ulatuma vähemalt 5m kaugemale kiilu lõpust.



Joonis 2.28. Üleminekukiil turbalt (või muult eripinnaselt) oluliselt parem kandevõimega pinnasele [6]

2.3 Veeviimarid

Muldkeha kaitseks uhtumise ja üleniiskumise eest, samuti muldkeha ehitustööde võimaldamiseks projekteeritakse pinnavee ärajuhtimissüsteem: kraavide, küvettide, drenide, rennide jms rajamine ja teeäärse maa-ala planeerimine.

Kraavide ja küvettide põhja pikikalle peab olema vähemalt 0,5%, erandina soos 0,2%. Veeviimarite suurim pikikalle tuleb määrata sõltuvalt pinnasest ning nõlvade ja põhja kindlustamise viisist, arvestades uhtekindla voolukiirusega (tabel 2.14).

Tabel 2.14

Uhtekindlale voolukiirusele vastavad veeviimarite suurimad pikikalded [28]

Kindlustuse tüüp	Suurim pikikalle, %	
	Liiv- ja möllpinnases	Möllsavi, savi, savine liiv
Kindlustuseta	≤ 1	≤ 2
Mätastus, killustik	1 – 3	2 – 3
Sillutis, betoon, geosüntee	3 – 5	3 – 5
Astangud	> 5	> 5

„Ujuvate teede“ puhul kraavide kaevamine ei ole alati otstarbekas (v.t peatükk 4.4 lõpp).

Teepeenarde ja muldkeha nõlvade kaitsmiseks uhtumise eest teelõikudel, mille pikikalle on üle 3% või muldkeha kõrgus üle 4 m, samuti pikiprofiili nõgusatel püstkõverikel nähakse ette kindlustusmeetmed ja projekteeritakse sademevee ärajuhtimissüsteem.

Tee serva kõrgus truubi pealesõidul projekteeritakse arvutuslikust veeseisust:

- truubi rõhuta töörežiimi puhul vähemalt 0,5 m kõrgem;
- truubi rõhuga ja osalise rõhuga töörežiimi puhul vähemalt 1,0 m kõrgem.

Külgkaevendita mulde mäepoolsele küljele projekteeritakse pikikraav.

Väljaspool maaparandussüsteemi maa-ala projekteeritakse mõlemale poole muldkeha kraav, kui maa-ala pikikalle on alla 2% ja mulde kõrgus on alla 1,5 m või vahelduva põikkaldega alal. Kraavide vähimad parameetrid on toodud tabelis 2.15.

Tabel 2.15.

Teekraavide vähimad parameetrid

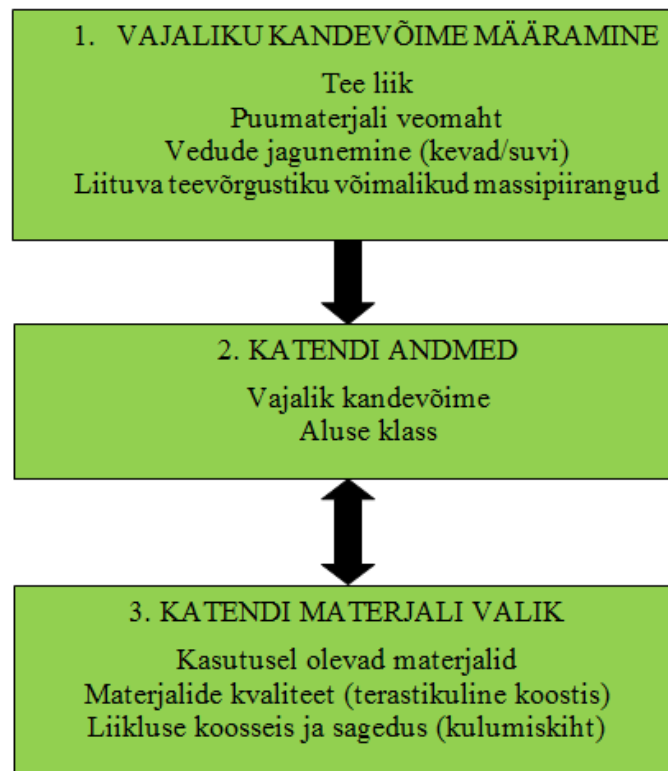
Kraavi tüüp	Põhja laius (m)	Sügavus (m)	Pinnas		
			savi-, liiv- ja jäme purdpinnas	tolmjas savipinnas, tolmlüv	turvas
			Nõlvus		
Mäekraav	0,6	0,6	1:1,5	1:1,5	-
Kraav püdelas turbas	0,8	0,8	-	-	1:1,5
Küvett/nõva	-	0,3	1:1	1:1,5	-
Trapetiskujulise ristlõikega küvett	0,4	0,3	1:1	1:1,5	-

3. KATEND

Peatükk käsitleb katendi projekteerimist, ehitamine on kirjeldatud peatükis 4.3.

3.1 Vajalik kandevõime

Katendi ülesanne on võtta vastu liikluskoormus ja jagada see muldkehale ilma, et viimase kandevõime piir ületataks, samas peavad ka katendis kasutatavad materjalid pidama vastu koormusele deformeerumata. Lisaks peab katend moodustama liiklemise sisukohalt piisavalt tasase pinna. Joonisel 3.1 esitatakse katendi projekteerimise etapid.



Joonis 3.1. Katendi projekteerimise etapid

Kandevõime määramisel lähtepunktiks on metsatee järgud. Kandevõime mõõtühikuna kasutatakse Pascaleid. Tee koormamine kirjeldatakse 10t normtelgedena (etalonveoki lihtsustus teekonstruktsioonide dimensioneerimiseks), mida tee peab kandma nii, et järkudes kirjeldatud koormused saaks kantud ilma, et deformatsioonid teedel ületaks seisundinõuetes kirjeldatud.

Metsatee järkudes kirjeldatud koormusest lähtuvalt on esitatud soovituslikud minimaalsed arvutuslikud kandevõimed järgnevalt:

- 1. järk – 120MPa;
- 2. järk – 100MPa;
- 3. järk – 80MPa (lisaks nõuded katendis kasutatavatele materjalidele on leebemad);
- 4. järk – 70MPa (lisaks nõuded katendis kasutatavatele materjalidele on leebemad);
- 5. järk – nõuded puuduvad

Vajadusel võib vajalikke kandevõimeväärtusi ka suurendada.

3.2 Tüüpkatendid

Järgnevalt on toodud näidised tüüpkatenditest (tabelid 3.1...3.4) seostatud muldkehas paikneva materjaliga D...G.

Näidis(tüüp)katendid on arvutatud kasutades Maanteeameti katendiarvutusprogrammi KAP (arvutuses kasutatud aluspinnase elastsusmoodul on toodud tüüpkatendi tabelis) ja geovõrgu puhul KAPi ning Saksamaalt pärinevaid katsetulemuste andmeid koostöös.

Kasutatud on Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis 2001-52 ja selle paranduses toodud materjalide elastsusmooduleid (kõik saadaval lingilt <http://www.mnt.ee/?id=12024>).

Tüüpkatendite tabelites kajastub geotekstiili ja -võrgu kasutamine näidisenä:

- Geotekstiil katendi arvutuslikku kandevõimet ei suurenda, vaid eraldab kihte omavahel takistades neid segunemast. Geotekstiil on vajalik tagamaks katendi konstruktiivsete kihtide pikaalisust ja seda, et katendi kandevõime püsiks arvutatud tasemel kogu selle eluea jooksul.
 - üldjuhul peaks geotekstiili laius olema sama, mis tema peal asetseva katendikihi alumine laius. Teatud juhtudel ei ole majanduslikult otstarbekas sama laiust kasutada, kui need väljuvad vaid veidi (kuni 40cm) standardsetest laiustest. Nt projekteeritud laius geotekstiiliga kaetavas kohas on 6,4m, siis piisab geotekstiilist laiusega 6m. Geotekstiili laiuse valimise reegel on see, et rattajäljest tulev koormus arvestades koormusjaotusnurka jääks geotekstiili peale ega ulatuks selle ääreni.
 - Sobiva geotekstiili valikul on soovituslik lähtuda NorGeoSpec 2012 juhendist (http://norgeospec.org/acms/data/uploads/dateien/sintef_guideline_27-09.pdf).

- Näidiskatendites asub geotekstiil alati katendi all ning kui on kasutatud geovõrku, siis selle all. Kahekihilise geovõrgulahenduse puhul kasutatakse geotekstiili vaid katendi all, mitte vahekihis koos võrguga.
- Geovõrk (võib kasutada ka *kootud* geotekstiile, mille tõmbetugevus- ja venivusnäitajad on sobilikud täitmaks armeerimisülesandeid) suurendab katendi kandevõimet võimaldades kasutada õhemaid kihipaksuseid või suuremaid koormusi. Eripinnastele ehitades (tähistatud tähisega „G“) peaks kasutama alati armeerivaid geosünteete. Materjalide nõutavad tugevusnäitajad tuleb alati täpsustada.
 - Tüüpkatendi arvutamisel on lähtutud polüpropüleengeovõrgust, mille piki- kui ristisuunaline tõmbetugevus 1% venivuse juures on 8kN/m (iseloomustab materjali jäikust. Selle materjali maksimaalne tõmbetugevus piki- kui ristisuunas on 40kN/m ja venivus seejuures 8%).
 - Geovõrkude puhul tuleks kasutada alati individuaalset lähenemist, kuna universaalset arvutusmudelit katenditele, mis sisaldavad geovõrke, ei eksisteeri. Seetõttu võivad erinevate näitajatega materjalid anda erineva tulemuse. *Seejuures tuleb lähtuda Eestis kasutatavatest materjali- ja konstruktsioonimoodulitest, nagu tüüpkatendite puhul seda tehtud on.*

Kvaliteedinõuded katendites kasutatavatele mineraalmaterjalidele on esitatud peatükis 3.2.1

Tabel 3.1

1. järgu teed. Vajalik kandevõime 120MPa

Aluse klass		D	E	F	G		
Kulumiskiht ¹	cm	12	12	12	12	12	12
Kruus ²	cm	20	30	23	48	35	58
Geotekstiil ³	Profiil	3	3	2	4	2	3
Geovõrk ⁴		-	-	1x	-	1x	2x
Kokku	cm	32	42	35	60	47	70
Tee kandevõime	MPa	135	120	120	120	120	120
Aluse kandevõime	MPa	100	50	50	30	30	15

¹ Selgitus peatükis 3.2.2

² Selgitus peatükis 3.2.1

³ NorGeoSpec spetsifikatsiooniprofiil

⁴ v.t eelnevat selgitust geovõrgust. „-“ – geovõrku pole; „1x“ – geovõrk on ühes kihis. „2x“ – geovõrk kahes kihis.

Tabel 3.2

2. järgu teed. Vajalik kandevõime 100MPa

Aluse klass		D	E	F	G		
Kulumiskiht ¹	cm	10	10	10	10	10	10
Kruus ²	cm	20	30	40	30	40	50
Geotekstiil ³	Profiil	3	3	4	2	3	3
Geovõrk ⁴		-	-	-	1x	1x	1x
Kokku	cm	30	40	50	40	50	60
Tee kandevõime	MPa	135	120	100	100	100	120
Aluse kandevõime	MPa	100	50	30	30	15	10

¹ Selgitus peatükis 3.2.2

² Selgitus peatükis 3.2.1

³ NorGeoSpec spetsifikatsiooniprofiil

⁴ v.t eelnevat selgitust geovõrgust. „-“ – geovõrku pole; „1x“ – geovõrk on ühes kihis.

Tabel 3.3

3. järgu teed. Vajalik kandevõime 80MPa

Aluse klass		D	E	F	G		
Kulumiskiht ¹	cm	10	10	10	10	10	10
Kruus ²	cm	20	20	35	25	30	40
Geotekstiil ³	Profiil	3	3	4	2	3	3
Geovõrk ⁴		0	0	0	1x	1x	1x
Kokku	cm	30	30	45	35	40	50
Tee kandevõime	MPa	135	100	80	80	80	80
Aluse kandevõime	MPa	100	50	30	30	15	10

¹ Selgitus peatükis 3.2.2

² Selgitus peatükis 3.2.1

³ NorGeoSpec spetsifikatsiooniprofiil

⁴ v.t eelnevat selgitust geovõrgust. „-“ – geovõrku pole; „1x“ – geovõrk on ühes kihis.

Tabel 3.4

4. järgu teed. Vajalik kandevõime 70MPa

Aluse klass		D	E	F	G	
Kulumiskiht ¹	cm	10	10	10	10	10
Kruus ²	cm	20	20	30	25	30
Geotekstiil ³	Profiil	3	3	3	3	3
Geovõrk ⁴		0	0	0	1x	1x
Kokku	cm	30	30	40	35	40
Tee kandevõime	MPa	135	120	100	70	70
Aluse kandevõime	MPa	100	50	30	15	10

¹ Selgitus peatükis 3.2.2

² Selgitus peatükis 3.2.1

³ NorGeoSpec spetsifikatsiooniprofiil

⁴ v.t eelnevat selgitust geovõrgust. „-“ – geovõrku pole; „1x“ – geovõrk on ühes kihis.

Tegelikkuses võib aluse koostis vahelduda suuresti, mis mõjutab katendi täpset määramist. Aluse omadused täpsustuvad lõplikult ehituse käigus, kui jälgitakse selle koormusvastupidavust. Projekteeritust kõrvalekaldumisi (nõrgad kohad) parandatakse vastavalt vajadusele (nt kasutades geovõrke ja/või geotekstiile).

3.2.1 Kasutatavatele materjalidele esitatavad nõuded

Materjalinõuded tabelites 3.1 – 3.4 esitatud tüüpkatenditele.

1. ja 2. järgu teed (tüüpkatendid tabelites 3.1 ja 3.2)

Kuna teid kasutatakse aastaringselt (v.a kevadisel intensiivsel teede lagunemise ajal), siis esimene nõue on see, et kandvas kihis kasutatavate materjalide peenosiste sisaldus ei tohi ületada 8%, vastasel juhul ei ole materjal enam niiskuskindel ja ei taga piisavat deformatsioonikindlust raskeveoliiklusele.

Tüüpkatendid 1. ja 2. järgu metsateedele on koostatud sõelutud ja purustatud kruusadele, mille purustatud terade osakaal on vähemalt 50% ning mille terastikuline koostis vastab tabelis 3.5 toodud segudele nr 1, 2 ja 4 või tabelis 3.6 olevatele segudele pos. 1 – 4.

Metsateede katendite ehitamiseks võib kasutada ka killustikku, kuid see peab vastama Maanteeameti killustikust katendikihtide ehitamise juhendile (leia juhend lingilt <http://www.mnt.ee/?id=12026>). Seoses killustiku paremate tugevusomadustega kruusa suhtes, võib katendi kihipaksuseid vähendada, kuid see tuleb üle kontrollida arvutuslikult.

Põlevkiviaheraine kasutamisel kruusasegu asemel, võib kihipaksust vähendada 10% (aheraine puhul kihipaksus ei tohi olla alla 25cm). Aheraine tuleb segada 30...40% liivaga, mille peenosiste protsent ei ületa 5%.

Kasutades sõelutud, kuid purustamata ning tabelite 3.5 või 3.6 sõelkõveratele mittevastavat kruusa, tuleb arvestada, et katend ei pruugi olla piisavalt deformatsioonikindel ning võib vajada rohkem hooldust.

Võib kasutada ka teistsuguseid katendeid (või materjale), kuid need peavad tagama vajaliku tugevuse ja seda tuleb põhjendada majanduslike arvutustega (nt keemiliselt stabiliseeritud segud bituumeni ja/või tsemendiga, põlevkivituhaga jms) ja tõendada lahenduse keskkonnohutust.

3. ja 4. järgu teed

Võib kasutada probleemideta samu materjale, mis 1. ja 2. järgu teedel. Kruus peab olema sõelutud, kuid võib sisaldada kuni 15% peenosiseid. Killustike peenosisesisaldus ei tohiks siiski ületada 10%.

Kandva kihi terastikulised koostised on esitatud tabelites 3.5 ja 3.6.

Tabel 3.5

Nõuded katendis ja aluses kasutatavale kivimaterjalile vastavalt Maaparandussüsteemi projekteerimismõõtudele [21]

Segu nr	Sõela ava mõõt (mm)								
	64	32	16	8	4	2	0,5	0,125	0,063
	läbimineki sõelast (% massist)								
1	80 - 100	40 - 60	25 - 60	20 - 45	15 - 35	10 - 25	5 - 15	0 - 5	0 - 5
2	80 - 100	65 - 90	50 - 80	35 - 70	25 - 60	15 - 50	10 - 30	5 - 10	0 - 3
3	-	85 - 100	60 - 80	40 - 65	30 - 55	20 - 45	10 - 30	8 - 22	7 - 20
4	-	86 - 100	40 - 60	20 - 40	15 - 30	10 - 25	5 - 15	3 - 7	0 - 5
5	-	-	85 - 100	65 - 90	50 - 75	35 - 65	20 - 45	10 - 35	8 - 25
6	-	-	85 - 100	60 - 80	40 - 60	30 - 45	15 - 25	5 - 11	0 - 4
7	-	-	85 - 100	30 - 60	15 - 40	5 - 50	3 - 15	3 - 10	3 - 8

Tabel 3.6

Sidumata segude terastikuline koostis [27]

Pos.	Segu	Kasutus	Sõela ava mõõt, mm											
			80	63	40	31,5	20	16	8	4	2	1	0,5	0,063
			Läbib sõela, massi-%											
1	0/31,5	Sideainega töötlemata alus			100	85-99	-	58-70	39-51	26-38	17-28	11-21	5-15	0-5
2	0/31,5				100	85-99	-	54-72	33-52	21-38	14-27	9-20	5-15	0-5
3	0/63		100	85-99	-	58-70	-	39-51	26-38	17-28	11-21	5-15	-	0-5
4	0/63		100	85-99	-	63-77	-	33-52	21-38	14-27	9-20	-	-	0-5
5	0/16	Kruuskate ja tugi-peenar			-	-	100	85-99	65-90	50-75	35-60	20-45	10-35	8-15
6	0/31,5				100	85-99	-	60-80	40-65	30-55	20-45	10-30	8-20	8-15

Märkus: Sideainega töötlemata alustes määratakse terastikuline koostis valmishetatud alusest võetud materjali proovist.

3.2.2 Kulumiskiht

Kulumiskihtideks on kruusasegud nr. 3 ja 5 ning pos. 5 ja 6 või killustikkatete puhul killustik.

Kulumiskihi ülesanne on kaitsta tee kandvat kihti kulumise eest ja moodustada sellele võimalikult tasane ja tugev pealispind. Kulumiskiht sisaldab palju peenosiseid, seega aitab tõrjuda sademevett kandvast kihist eemale.

Metsateede kulumiskihtidena kasutatakse esmajärjekorras kruusasegu. Kulumis- ja tolmamiskundluse jaoks peab materjal olema hästi tihendatav. Kui materjal on liiga palju peenosiseid, on ta külmakerkeline ja aja jooksul muudab kokkuvõtteks kogu katendi külmaohtlikuks. Kulumiskihiks sobib purustatud kruus, sõelutud kruus või sobiv moreen. Terasuurus ei tohi ületada 32mm.

Kulumiskihi minimaalne peenosisesisaldus on 7..8%, mille minimaalne savisisaldus (< 0,002 mm) võiks olla 25 kaaluprotsenti peenosiste hulgast (Tee ja teetööde kvaliteedinõuded sätestavad minimaalseks savisisalduseks 7% kruuskatte täitematerjalist). Savi seob kuival ajal kruusa kompaktseks kõvaks kehaks. Sisaldades teataval määral vett, ei anna ta kuivamisel kogu veetagavara ära ja terakesed jäävad üksteisega liitunuks saviterakeste vahel tekkiva vee pindpinevuse arvel.

Tee pindamist või seotud kihi ehitamist võib kaaluda, kui sõiduauto liiklus teel ületab 200AKÖL (aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus) ning silla mõlemal pool umbes 50m teepikkusel. Tolmuvaba katte ehitamisel tuleb lähtuda Eesti Maanteeameti juhenditest:

- Kergkatete ehitamise juhend
http://www.mnt.ee/failid/juhised/kerkkatete_ehitamise_juhis.pdf;
- Asfaldist katendikihtide ehitamise juhend
http://www.mnt.ee/public/juhendid/Asfaldist_katendikihtide_ehitamise_juhis_KK_lisa_15_12_2010.pdf).

3.3 Geosünteedide kasutamine teekatendites – kokkuvõte

Peatükk 2.2.8 selgitas, et armeerivate geosünteedide kasutamisel teedehituses kasutatakse kahte lähenemist – mullete stabiilsuse tagamine ning katendite armeerimine. Viimane seisneb roobaste tekke vähendamises ja teekatendi elua pikendamises.

Geosünteedid teede katendites toimivad järgnevalt (vajalikud omadused ja pikem selgitus peatükis 6) [23]:

- armeerimise funktsioon (*ing reinforcement function*) – tõstab tee kandevõimet ning aluspinnase nihkekindlust; selle hulka kuulub stabiliseerimine.
 - stabiliseerimise funktsioon (*ing stabilising function*) – takistab materjaliosakeste ümberpaigutumist dünaamiliste jõudude toimel läbi hõõrdumise ja lukustumise geosünteedi ja materjali vahel;
- eraldamise funktsioon – takistab erinevate pinnaste segunemise võimaldades säilitada eraldatud materjalide omadusi;
- filtreerimise funktsioon – lubab vedelike liikumist takistades samaaegselt pinnaseosakeste liikumise;
- drenaaži funktsioon – säilitab teede kandevõimet drenoides välja pinnase- ja/või kapillaarvett; võimaldab ka kiiremat konsolidatsiooni.

Geovõrkude kasutamise mõjusid projekteerija ise arvutuslikult arvestada ei saa, kuna ei eksisteeri universaalset arvutusvalemit. Geovõrgud on valmistatud töötama katendites lukustusefektil ehk stabiliseerimise funktsioonil. Kuna erinevate tootjate geovõrgud on erinevad, lähtuvad erinevad tootjad oma toodete puhul enda välja töötatud arvutustest (tegelikult on arvutusteooriad, millele tuginetakse, välja töötatud koostöös erinevate teadusasutustega) ja tehtud katsetustest. Ehk geovõrkude projekteerimisel katenditesse kasutatakse kas empiirilisi (katsetustega välja töötatud diagrammid või seosed), analüütilisi (arvutusteooriad ja valemid) või empiirilisi-analüütilisi lähenemisi. Kui tootja pakub enda toodetele projekteerimistuge, siis toetatakse tema toodetega läbi viidud suurele hulgale katsetustele, mis tagab esitatud lahenduse usaldusväärsuse.

Katendite armeerimisel on võimalik kasutada ka membraanefektile töötavat (selgitus peatükis 6) kootud geotekstiili. Membraanefektile on olemas universaalne arvutusteooria – Giroud/Noiray (1981): Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design – mille kohta saab infot geosünteede käsitlevast kirjandusest. Teoreetiliselt saab teooriat kasutada ka geovõrkude puhul, kuid see ei ole otstarbekas. Membraanefektile põhinev arvutus lubab suuri deformatsioone ehk roopaid, kuna geosünteed vajab tööle hakkamiseks pingestamist. Reeglina sõidetakse membraanefekti tekkeks vajalik roobas teesse juba ehituse ajal; tee pind korrigeeritakse nt teise kihi ehituse ajal. Valminud tee all on seega pingestatud geosünteed, mis „kannab“ teekonstruktsiooni koos liiklusega.

Mõningad põhimõtted, mis puudutavad katendite armeerimist geosünteetidega:

- Tabelis 3.7 on esitatud seosed geosünteetika kasutamise ja aluse kandevõime vahel. Geovõrke on kasulik kasutada, kui aluse tugevus jääb alla 8 CBR¹. Geovõrke tuleb kasutada, kui aluse tugevus on alla 3 CBR (on olemas ligikaudsed teisendused CBRI, elastsusmooduli ja nihketugevuse vahel, mis on ka tabelis 3.7 kajastatud sulgudes oleva numbrina) ehk muldkeha (aluse) materjali klassi „G“ puhul tuleb ehitamisel kasutada geovõrke. Kui aluse peenosise sisaldus on üle 15%, tuleb lisaks kasutada ka geotekstiile.
- Geosünteetika arvutused põhinevad ekvivalentsetel normteljeülesõitudel, s.t tee on dimensioneeritud vastu võtma teatud arvu normtelgede ületusi, pärast mida on tee eluiga läbi (reeglina arvestatakse selleks ajaks sideainega seotud katteta teede puhul 100mm roobast tee pinnal; ka teised, st väiksemad arvud on võimalikud).
- Mittekootud geotekstiilid armeerimiseks ei sobi. Mittekootud geotekstiilid sobivad eraldamiseks ja filtreerimiseks.
- Eraldava geotekstiili valik peaks soovituslikult põhinema NorGeoSpec juhenditel (variandiks on ka Saksa GRK). Kasutataval geotekstiilil peab olema olemas süsteemikohane sertifikaat, mis kinnitab toote vajalikku kvaliteeti. NorGeoSpec sertifikaatide olemasolu saab kontrollida internetiaadressilt <http://www.norgeospec.org/>.
- Geovõrkude eesmärk on katendite tugevdamine ehk nõrkade pinnaste puhul tee teenindamiseks vajaliku kandevõime tagamine. Vastavalt peatükile 6.2.3.1 võivad erinevate tootjate geovõrgud olla erinevate omadustega, millega arvestatakse nende kasutamisel armeerimises.
 - Projektis esitatud geosünteeti võib vahetada **samaväärse** geosünteediga, st lõpptulemus peab olema sama või parem. Näiteks teede kandevõime tõstmisel on tähtsaimaks parameetriks see, et tee kandevõime saaks olema uue geosünteediga sama või parem, kui algselt projekteeritud geosünteediga.
 - Olulistel objektidel, kus geosünteetika osatähtsus rahalises mõistes on suur ja tõsiste kahtluste korral vahetuse sobilikkuses, on soovituslik konsulteerida eksperdiga, kes annaks pakutud lahendusele eksperthinnangu või pakub alternatiive.
- Geovõrkude kasutamisel katendite armeerimisel võiksid olla lähtepunktideks eelkõige ava suurus ja selle vastavus kasutatava täitematerjaliga (kuna sellest sõltub lukustusefekti

¹ CBR ehk „California Bearing Ratio“ on materjalide kandevõimet iseloomustav näitaja ning paljud geosünteetikaga tehtavad arvutused on seonduvad sellega. Lisas 1 on esitatud graafikud teisendamaks CBR megapascaliteks.

toimivus) ja geovõrgu tõmbetugevus madala venivusprotsendi (1 – 5%) juures (v.t lisainfot peatükist 6.3.2).

- Metsateede ehitusel kasutatavatel geovõrkudel peab olema olema kehtiv NorGeoSpec sertifikaat (juhul, kui süsteem hakkab rahvusvaheliselt kehtima).

Tabel 3.7

Geosünteedi valimine vastavalt aluse kandevõimele [25]

Aluse kirjeldus	CBR (MPa) [nihketugevus, kPa]		Geosünteedi peamine funktsioon	Geosünteedist tulenev kasu	Kasutatav geosünteed
	Dreenimata	Dreenitud			
Pehme	Alla 1 (6) [35]	Alla 3 (15) [65]	Armeerimine, eraldamine	Vajaliku mineraalmaterjali kogus väheneb märgatavalt	Geovõrk, geokärg, kootud geotekstiil, geokomposiit
„Keskmine“	1-3 (6-15)	3-8 (15-32)	Stabiliseerimine (kombinatsioon eraldusest, filtreerimisest ja armeerimisest. Selge piir on hägune)	Vajaliku mineraalmaterjali kogus väheneb, suureneb konstruktsiooni eluiga	Geotekstiil või selle ja geovõrgu komposiit
Tugev	Üle 3 (15)	Üle 8 (32)	Eraldamine	Oluliselt pikem konstruktsiooni eluiga	Geotekstiil

3.4 Erosioonitõkkematerjalid

Erosioon on protsesside kogum, mille käigus maakoore pealmine osa mureneb ja kandub ühest kohast teise. Materjali transportijaks võivad olla vooluvesi, jää, tuul jne. Mõnikord mõistetakse erosiooni all kitsalt protsessi, mille käigus voolav vesi uuristab ja transpordib setteid.

Erosioonitõkkeks on väga palju erinevaid viise; mõningaid näiteid:

- geotekstiililaadsed kudumid;
- põhumatid;
- kookosmatid;
- murukärjed;
- polümeeridest 3D võrgud;
- geokärjed;

- gabioonid ehk kivikorvid;
- hüdrokülv;
- nimetatute kombinatsioonid;

...rääkimata muudest viisidest erosiooni tõkestamiseks (nt. mätastamine, betoon, kivipuiste; muldkehade laugemad nõlvad).

Geosünteetika mõistes jaotatakse erosiooni tõkestamine kolme liiki:

- Lühiajalised. Lagunevad 45 päeva kuni 12 kuu jooksul täielikult. Selle aja jooksul matid kaitsevad pinnast erosiooni eest ja soodustavad taimestiku kasvu. matte sobib kasutada näiteks laugete nõlvadega aladel ja vähese veevooluga kanalites. Pärast mattide lagunemist kaitseb pinnast erosiooni eest juba võrsunud taimestik. Levinud valmistusmaterjal on 100% põllumajanduslik põhk, mis on kinnitatud laguneva niidiga laguneva ühe- või kahekordse võrgu külge.
- Pikemaajalised ja pikaajalised. Lagunevad 18 kuu kuni 36 kuu jooksul täielikult. Sobib kasutada näiteks järskudel nõlvadel, kiire veevooluga kanalites ja veekogude kallaste kindlustamisel. Pärast mattide lagunemist kaitseb pinnast erosiooni eest juba võrsunud taimestik. Levinud valmistusmaterjal on põhu ja kookoskiu segu või täielikult kookoskiud seotuna biolaguneva kahekordse võrgustikuga.
- Püsivad. Mittelaguneva sünteetilise karkassiga tooted (polümeerist 3D võrgud, mille sees võib olla kookoskiudu algusjärgus taimede idanemise soodustamiseks, geokärjed). Tüüpilised kasutuskohad on kiirevoolulised veekanalid, kalda- ja muud alad. Toimib alternatiivina kivipuistele, liigendatud betoonplokkidele ja valatud betoonile.

Osa II – Metsateede ehitamine ja rekonstrueerimine

Metsateede hooldamine

4. METSATEEDE E HITUS

4.1 Keskkond

4.1.1 Üldine

Ehitamisel tuleb kasutada meetodeid, mis põhinevad heale töötehnikale ja keskkonnaga arvestamisel. Töömeetoditena kasutatakse enamasti kaevandamise meetodit, st eesmärk on kasutada võimalikult palju kohapeal olemasolevaid materjale.

Keskkonda reostavaid ja ümbruskonda rikkuvaid tegevusi ehitamises tuleb vältida. Tee maa-alalt puumaterjali raie tuleb teha võimalikult täpselt. Kõik tee maa-alal olev kõlblik pinnas kasutatakse tee muldkeha ehitamiseks. Muldeks kasutatava materjali võtukohad tuleb planeerida nii, et need ei rikuks ümbritsevat keskkonda ja sulanduksid visuaalselt maastikku. Kaevandamise lõppedes koht tuleb korrastada ja planeerida selliseks, et vesi ei jääks seisma pinnasevõtukohtade põhja. Kõik materjalide laod korrastatakse. Kõik jäätmed tuleb töömaalt kõrvaldada kohe peale töö lõppemist.

1.1.2 RMK keskkonnanõuded metsatöödel

Käesolevasse peatükki on koondatud RMK keskkonnanõuded, mille järgimine on RMK töövõtjatele kohustuslik. Nõuete koostamisel on lähtutud kehtivatest õigusaktidest, metsamajandamise heast tavast, FSC ja PEF C metsamajandamise standardi ning ISO 14001 keskkonnajuhtimise ja ISO 9001 kvaliteedijuhtimise standardi nõuetest. Keskkonnanõuetega sätestatakse töövõtjatele konkreetsed kohustused, mille täitmist RMK-l on õigus kontrollida. Enne töö alustamist on töövõtjatel kohustus tutvuda tööde üleandmise dokumentides esitatud tingimuste ja nõuetega. Kui esitatud nõudeid ei ole võimalik täita, tuleb sellest informeerida tööjuhti ja vajaduse korral katkestada töö.

Kütus ja tankimine

- Mootorsae tankimisel tuleb kasutada spetsiaalseid kanistrite otsikuid, mis välistavad üle- ja möödavalamist.
- Metsamasinate tankimine peab toimuma spetsiaalsete pumpade abil.
- Kütusemahutid peavad olema ette nähtud kütuste hoidmiseks ja veoks.
- Lekkinud kütus või määrdeained tuleb spetsiaalse kogumisnõu või imava.
- Materjali (absorbent) abil kokku koguda ning kuni äraveoni ladustada keskkonnaohutult.

- Kütusekanistreid tuleb tööobjektidel hoida varjulises kohas.
- Keelatud on kütuste hoidmine ja mootorsaagide tankimine veekogudele lähemal kui 10m.

Jäätmed

- Kõik tekkinud jäätmed tuleb peale tööobjekti lõpetamist ära viia, jäätmete loodusesse jätmine on keelatud.
- Igal tööobjektidel peab olema koht jäätmete hooldamiseks (prügikast, prügikott).
- Kui tööobjektidel töötavad metsamasinad, siis peab tööobjekt olema varustatud esmaste reostustõrjevahenditega, sh labidas, 20kg absorbentgraanuleid, 50l turvast või saepuru ja vähemalt 10l mahuga kogumisnõu kasutatud absorbendi kogumiseks.
- Olmejäätmed ja ohtlikud jäätmed (milleks on kütuse ja määrdeainete taara, markeerimisvärvi purgid, kütuse määrdeaine lekke tõrjumisel kasutatud absorbent, akud, hüdrovoolikud, kütuse- või õlifiltrid jms) hoitakse eraldi.
- Ohtlikke jäätmeid tuleb hoida ilmastiku- ning lekkekindlates anumates või pakendites.

Raietööd

- RMK poolt raielangil säilitamiseks määratud puid langetada vaid juhul, kui need ohustavad raietööde läbiviimist.
- Juurepessu (*Heterobasidion* spp) ohtlikel aladel peab perioodil, kui ööpäevane keskmine temperatuur on üle +5°C, tavaliselt ajavahemikus 15.04 kuni 31.10, kuuse ja männi harvendusraiel kasutama juurepessu tõrjeks ROTSTOP®-i.

Mälestised ja pärandkultuuriobjektid

- Tuleb vältida kinnismälestiste, nagu kultusekohtade, sõjahaudade, kääbaste, arhitektuuriajaloolise väärtusega ehitiste ja mälestusmärkide ning pärandkultuuriobjektide kahjustamist ning risustamist raaidmetega.

Masinate ja seadmete seisund ja komplekteeritus

- Masinad peavad läbima valmistaja poolt ettenähtud sagedusega tehnohoolduseid.
- Kui masinat ei kasutata, tuleb selle mootor seisata.
- Masinad, mis liikleavad üldkasutatavatel teedel, peavad lisaks tehnohooldusele läbima liikluseaduses ettenähtud tehnilise ülevaatus.
- Visuaalsel vaatlusel tuvastatava õli- või kütuselekkega masina kasutamine on keelatud. Enne tööga alustamist on masina operaator kohustatud veenduma, et lekkeid pole.
- Kõik kasutatavad masinad peavad olema varustatud sidosüsteemi ja esmaabikomplektiga.

- Masinad peavad olema varustatud liiklusseaduse või tootja tehase kompleksusega ettenähtud tulekustutitega, millel on kehtiv kontrollimärgistus.
- Juurepessu (*Heterobasidion* spp) ohtlikel aladel, perioodil, kui ööpäevane keskmine temperatuur on üle +5°C, männi ja kuuse harvendusraiel töötavad harvendusraie harvesterid peavad olema varustatud seadmega kändude töötlemiseks ROTSTOP®-ga.
- Kasutatavad töövahendid (nt kettsaag, võsasaag) ja seadmed peavad olema kompleksed ning vastama tootja nõuetele.

Ohutusnõuded

- Raietööline peab kandma nõuetekohast turvavarustust.
 - kaitsekiivrit, mis on varustatud visiiri ja kõrvaklappidega;
 - kõrgrnähtavusega jakki või vesti;
 - turvapükse ja –saapaid.
- Raietöölisel peab kaasas olema esmaabipakend ning mobiiltelefon.
- Masinaoperaator peab raietööde ajal masinast väljudes raielangil kandma helkurvesti ja kiivrit.
- Kett- ja võsasaag tuleb käivitamiseks tõsta vähemalt kolm meetrit kütuse tankimise paigast eemale.
- Kõrvaliste isikute raielangil viibimise ajaks tööd peatatakse, kõik raielangil raietööde ajal viibivad isikud peavad kandma kiivrit ja helkurvesti.
- Raielangile viivad teed tähistatakse sildiga „RMK raietööd“.
- Metsas on keelatud teha lõket selleks mitte ettevalmistatud kohas. Tuleohtlikul ajal ja alal on keelatud metsas suitsetamine, lõkketegemine ning muu tegevus selleks mitte ettenähtud kohas.

Hädaolukord

- Tulekahju korral, mida ei suudeta iseseisvalt kustutada, tuleb teatada päästeteenistusele telefonil 112 ja tööjuhile ning võimalusel asuda olemasolevate vahenditega põlemiskollet kustutama, samas kindlustades enese ohutuse.
- Tulekahjust teatamisel tuleb öelda helistaja nimi, sündmuskoha asukoht ja mis põleb.
- Keskkonnareostuse korral, mida ei suudeta olemasolevate tõrjevahenditega kõrvaldada, tuleb teatada päästeteenistusele telefonil 112 ja tööjuhile.
- Lõhkeaine leidmisel tuleb teatada päästeteenistusele telefonil 112 ja tööjuhile ning peatada töö kuni päästeameti saabumiseni ning oodata edasisi tööjuhi korraldusi.

- Suure linnupesa, diameetriga 40 cm või enam, leidmisel peatada töö, teavitada leiust tööjuhti ning oodata edasisi tööjuhi korraldusi.

4.2 Muldkeha

4.2.1 Tee ehitamise ettevalmistustööd

Enne ehitustööde algust puhastatakse teemaa puittaimestikust ja muudest takistustest. Teemaalt eemaldatud takistused paigaldatakse nii, et need ei segaks teemaaga piirneva maa kasutamist ega tee ehitamist.

Põllumajandusmaale tee ehitamise korral eemaldatakse teemaalt huumushorisont.

Enne tee ehitamist tehakse kindlaks pinnasvee eemaldamise ja ajutise vee ärajuhtimissüsteemi rajamise võimalus.

Tee telg märgitakse kuni 50 m vahedega looditud pikettidega, mis on dubleeritud ehituse käigus säilivate pikettidega väljaspool teekraavide välisserva. Tee telje asend ei tohi erineda ehitusprojektis ettenähtud asendist üle 1 m. Teega seotud rajatis märgitakse 1 m täpsusega ning kindlustatakse töö käigus säilivate looditud pikettidega väljaspool töötsooni.

4.2.2 Veeviimari ehitamise nõuded

Lahtine veeviimar rajatakse kohta, kus teekraavi vesi tuleb juhtida teemaalt välja. Veeviimari kaudu ärajuhitav vesi ei tohi kahjustada selle suubumispiirkonda.

Teedreeni ehitamise korral täidetakse Maaparandussüsteemi ehitamise tehniliste nõuete §-des 12–18 toodud nõudeid. Tee muldkeha alla ehitatav dren kaetakse vähemalt 20 cm paksuse kihi kruusa või jämeda liivaga.

Lohukohta kogunev pinnasevesi juhitakse läbi mullavalli teekraavi vähemalt 20 cm läbimõõduga toru abil.

4.2.3 Tee muldkeha ehitamine

Tee mulded rajatakse soovituslikult kohapeal leiduvast materjalist (nt kraavide kaevamisest tulev materjal) juhul, kui tegemist ei ole eripinnastega. Mullete rajamine on eriti vajalik juhtudel, kui maapind on muidu külmakerkeline ja soine. Sellisel juhul on tähtis saada tee pind maapinnast kõrgemale.

Hea ehitustava tunnused on järgmised:

- muldesse vajaminevad materjalid on võetud kohapealt (kraavidest, süvenditest ja muudest pinnasevõtukohtadest);

- kraave ei ole tehtud suuremaks, kui teekonstruktsioon ja/või kuivendussüsteem nõuab;
- pinnast on vajadusel teisaldatud ka tee pikisuunas nii, et tee kõrgus on ümbritseva ümbruskonnaga võrreldes õigel kõrgusel;
- raadamisülejäägid, kivid ja pinnasevõtukoerad on käideldud;
- tee sisemised nõlvad on puhtad, seal pole kive ega muud, mis takistaksid tulevikus võsalõikust; kraaviperv ja muldkeha nõlv puhastatakse lahtistest kividest ja risust ning planeeritakse.
- mulde tihendamine ja tasandamine on tehtud nii, et pinna peale ei jääks seisma vesi ning et katendiks kasutatavat materjali ei peaks kasutama tasandustöodes.

Tee muldkeha rajatakse kogu laiuses tihendatavate horisontaalkihtidena. Tihendatava kihi paksus ja tihendamiskäikude arv kavandatakse selliselt, et pinnase tihendustegur oleks vähemalt 90%.

- Materjalide tihendamistehnoloogia ja meetodikad tiheduse kontrolliks on kirjas Eesti Maanteeameti juhendis „Muldkeha pinnaste tihendamise tiheduse kontrolli juhised“ (http://www.mnt.ee/failid/juhised/pinnaste_tihendamise_ja_tiheduse_kontrolli_juhised.pdf).

Tihendatava pinnase veesisaldus vastavalt pinnaseliigile on esitatud tabelis 4.1

Tabel 4.1

Tihendatava pinnase veesisaldus vastavalt pinnaseliigile [28]

Pinnase lubatav maksimaalne niiskus (veesisaldus) tihendamisel				
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_0	1,35 W_0	1,60 W_0	1,60 W_0
Savine või mölline liiv	1,10 W_0	1,15 W_0	1,25 W_0	1,50 W_0
Liivane savimöll või liivane möllsavi	1,05 W_0	1,10 W_0	1,20 W_0	1,40 W_0
Savi, möllsavi	1,00 W_0	1,05 W_0	1,15 W_0	1,30 W_0

Märkused:

1. Suvel liivupinnasest mulde rajamisel niiskust (veesisaldust) ei piirata.
2. Käesolevad piirangud ei laiene mulde rajamisel hüdromeetodil.
3. Talvel ei tohi mulde rajamisel niiskus (veesisaldus) olla üle: 1,3 W_0 – liivpinnases; 1,2 W_0 – savises või möllises liivas; 1,1 W_0 – teistes seotud pinnastes.
4. Pinnase lubatava niiskuse suurust võib täpsustada, arvestades konkreetsete tihendusmasinate tehnoloogilisi võimalusi.

Talvel on lubatud muldkeha ehitada ainult vett hästi läbilaskval aluspinnasel ja vett hästi läbilaskvast materjalist.

4.3 Geotekstiilide ja -võrkude paigaldus

Geosüntetika paigaldamine tuleb teha jälgides tootjapoolseid juhendeid. Geosüntetika paigaldamise üldnõuded:

- enne geotekstiilide ja -võrkude paigaldamist planeeritakse paigaldamiskoht ja eemaldatakse teravad kivid. Vältida tuleb geotekstiilide ja -võrkude mehaanilist vigastamist ning aluspinnase segipööramist;
- geosünteedid laotatakse sirgelt ilma voltideta ja fikseeritakse muldkehale pinnasenaelte või täitepinnasega;

- geosünteetide paanide ülekatted on täpsustatud projektis, kuna ülekatete vajalik suurus sõltub aluspinnase kandevõimest (v.t ka peatükk 6). Minimaalsed nõuded on ülekate pikisuunas 30cm ja põiksuunas 50cm;
- geosünteedi ülekate tehakse vee voolamise või täitematerjali paigaldamise suunas;
- mehhanismidega liikumine otse geosünteetikal peab olema minimaalne, soovitatavalt täiesti välditud. Liikudes geosünteetide peal, tuleb vältida manööverdamist.
- geosünteetid kaetakse täitematerjaliga, mille kihi paksus täpsustatakse projektis ja on sõltuv aluspinnase kandevõimest ning tee vajalikust kandevõimest. Kui nõuded puuduvad, peab tihendatud kihi paksus olema vähemalt 15 cm (parem oleks 20cm) ja maksimaalne terasuurus väiksem 1/3 paigaldatava kihi paksusest;
- geosünteetid tuleks laotada maha korraga mitte rohkem, kui ühes vahetuses jõutakse seda katta.

Geotekstiilide puhul võib kaaluda ka ühendamist õmblemisega. Õmblemine aitab piirata kanga ülekate vajadust ja vähendada seeläbi kulusid.

4.4 Ehitamine eripinnastele

Peatükis 2.2.5 kirjeldatu kohaselt tuleb ehitamise käigus arvestada turba konsolideerumise ja läbi selle tugevuse kasvuga. Turbale ehitamise kohta tuleb anda täpsemad juhendid projektis, kuna selles on arvestatud koormamise etappe ja sellega kaasnevaid koormusi.

Turbale ehitatud teekonstruktsioonide paksus võib olla võrreldes „tavateedega“ märkimisväärselt suurem seoses turba madala kandevõimega ja konsolideerumisega (teekonstruktsioon lihtsalt „upub“ turbasse). Paks teekonstruktsioon tähendab omakorda suurt kaalu. Et turvas suudaks teed kanda, tuleb tihti ehitada astmeliselt. Esimese kihi raskusest tulenev koormus ei tohiks ületada turba peal 20kPa, järgnevad kihid võivad põhjustada lisaks 30kPa koormust.

Iga kiht peaks konsolideeruma vähemalt 50% ulatuses selle raskuse poolt põhjustatavast ennustuslikust koormusest enne, kui jätkatakse järgneva kihi ehitamisega. Turvas konsolideerub kiiresti, seega tavaliselt saab järgmise kihi ehitada umbes nelja nädala pärast.

Kasutades kuivenduskraave (tabel 2.15), peaks kraavi serva kaugus muldkeha servast peaks olema 3...4m. „Ujuvate“ teede konseptsiooni korral ei ole tingimata vajadus tee alust kuivendada ja seega mitte sügavaid kraave kaevata, see-eest võidakse kaevata lamedad kraavid vaid pinnavee ärajuhtimiseks (joonis 4.4). Kuna turba nihketugevus sõltub peamiselt veesisaldusest, aitavad kuivenduskraavid tagada tee paremat kandevõimet.

Ettevalmistustööd

Märgitakse maha tee telg ja vajadusel kaevatakse kraavid, ehitatakse dreensüsteem. Tee trass puhastatakse suurtest kividest, puudest, põõsastest, kändudest jms. Tekkinud lohud täidetakse.

Kui vähegi võimalik, tuleks teetrassi alune vegetatsioon (v.a puud) ja pealmine pinnasekiht jätta eemaldamata, kuna taimejuured annavad kihile juurde märkimisväärselt tugevust. Kasutades geovõrku ning jättes vegetatsiooni alla, ei ole vaja kasutada eraldavat geotekstiili (joonis 4.1). Geotekstiili vajadus tekib väga märgades, suure peenosise sisalduse ja puuduva vegetatsiooniga kohtades.



Joonis 4.1 [Timo Vares] ja 4.2 [33]. Teetrassi alune vegetatsioon jäetakse alles

Ebaühtlaste vajumiste vältimiseks tuleks turbaalal augud ja lohud täita kohapealse kergmaterjaliga, nt kraavide kaevamisest tuleneva turbaga. Võimalus on kasutada ka puitparvi (tuleb kindlustada, et puit vajuks veepinnast allapoole kindlustamaks hea säilimise).

Geosünteedide paigaldus

Geosünteedid rullitakse lahti piki teed, vajadusel kinnitatakse vaiadega või pinnasega. Olenevalt olukorrast tuleb geosünteedid lahti rullida risti teed (kõik täpsustub projektis).

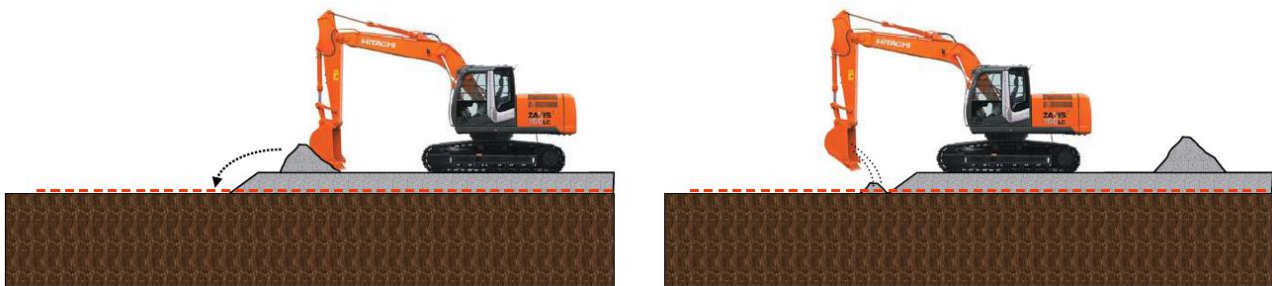
Geosünteedide ülekate tehakse vastavalt tootjapoolsetele juhenditele. Pehmetel pinnastel tavaline minimaalne ülekate pikisuunas on vähemalt 400mm ja ristisuunas 1m. Ülekatte vajalik suurus sõltub aluspinnase tugevusest ja koormusest ning täpsustatakse projektis. Paigaldamise lihtsustamiseks võib kasutada ka plastist kinniteid, kuid tuleb arvestada, et lisatugevust need ei anna.

Ülekattekohti tuleb ehituse käigus kaitsta. Tavaliselt saavutatakse see materjali ettevaatliku paigaldamisega. Geosünteedi vigastamist tuleb vältida. Jämedateralise täitematerjali puhul (nt

aheraine fraktsiooniga 100/300) võidakse nõuda geosünteedi kaitsmist tehnoloogilise kihiga (vahetult geosünteedi peale tuleb paigaldada peeneteralisem materjal).

Geovõrgu paigaldamine

Peatükk 6 kirjeldab erinevaid viise, kuidas geovõrgud toimivad. Kui kasutatakse lukustusefektile töötavaid geovõrke, peab otse võrgule paigaldatav materjal olema õige terasuurusega (v.t peatükk 6.2.3). Vastasel juhul lukustusefekt ei tööta nii, nagu projekteerimisel arvestatud. Õhukest materjalikihti (alla 15cm) ei tohi mitte mingil juhul paigaldada otse geovõrgule buldooseriga. Ideaalis peaks materjal kukkuma geovõrgule madalalt kõrguselt (joonis 4.3).



Joonis 4.3 Materjali soovituslik paigaldus geovõrgule [6]

Esimese kihi paksus peab olema vähemalt 150mm. Tegelik kihipaksus sõltub ehitusaegsele liiklusele vajalikust tee kandevõimest. Väga nõrgale aluspinnasele ehitatava tee esmane vajalik paksus ehitusaegse liikluse kandmiseks võiks olla 450mm.

Geovõrkude paigaldamisel pehmele pinnasele ei tohi ükski masin otse võrgul sõita.

Kahes või enamas kihis lukustusefektile töötava geovõrgu puhul (joonisel 2.26 olev teine geovõrk) on soovituslik võrgu aluspind enne paigaldamist kergelt kobstada tagamaks geovõrgu täieliku haakumise ümbritseva materjaliga.

Tihendamine

Eripinnastele ehitatavate teede puhul vibrorulle kasutada ei tohi, kuna põhjustab „pumpamise efekti“ ning alus võib suure koormuse tõttu kaotada stabiilsuse. Tihendus saavutatakse ehitusaegse liiklusega või tihendades staatiliste rullidega.

Järgnevate kihtide ehitamine

Järgmiste kihtide ehitamisega ei tohi alustada liiga kiiresti võimaldamaks turval kasvatada tugevust (konsolidatsioon esimese kihi raskusest peaks olema vähemalt 50% arvestuslikust). Esimene kiht on tavaliselt ajutine tööplatvorm tee-ehitusaegsele liiklusele, seega ei tohi suuremat (metsa)vedu teele lubada enne, kui on välja ehitatud kogu teekonstruktsioon.

Geosünteedide omavaheline kaugus kahekihilises konstruktsioonis võib olla vahemikus 250...500mm, mida tuleb võtta arvesse järgmise geosünteedi kihi paigaldusel.

Üldine

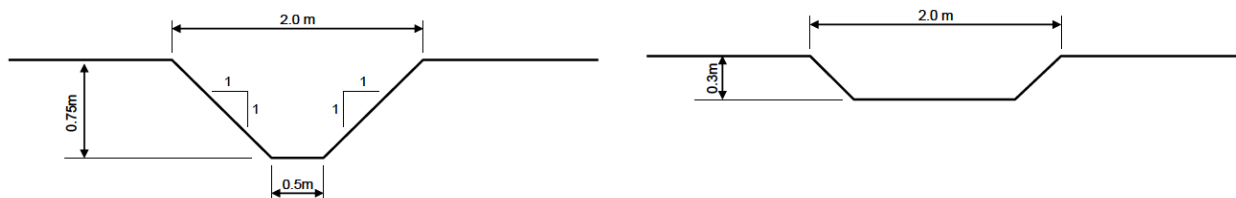
Valminud „ujuvas“ teekonstruktsioonis võib olla mitu kihti geosünteede. Siinjuures on oluline, et geosünteedide käsitlemisel järgitaks täpselt projekterija poolt ette antud juhiseid saavutamaks vajalikku efekti ja läbi selle tee kandevõimet ja stabiilsust.

Kui võimalik, siis raskeveokiliiklus võiks olla teel hajutatud, st autod ei sõida samat jälge. Veoki sõidujälg peaks valminud teel paiknema ülemise geosünteedi serva suhtes 500mm eemal vältimaks tee vajumist geosünteedi mõjualast eemal.

Kraavid turbale ehitatud teedel

Erinevalt teedega, mis on ehitatud tugevale alusele, ei ole „ujuvate teede“ äärde alati tingimata kraave vaja, kuna turbaalad sisaldavad niigi algupäraselt palju vett. Kraavid võivad mõjutada negatiivselt teekonstruktsiooni stabiilsusele. Samas drenaaž turbaaladel kasvatada materjali tugevust, kuna veesisaldusest sõltus turba nihketugevus. Seega, esimene otsus, mida langetada turbale ehitatavatel teel on, kas drenaaži tagamiseks on vaja kaevata kraave.

Kui otsustatakse kraavide kaevamise kasuks, tuleb kindlustada, et mõju olemasolevale hüdroloogiale oleks võimalikult väike (juhul, kui eesmärk ei olegi piirkonna kuivendamine). Tavapärased V-kujulised kraavid võivad tugevalt mõjutada tee aluse stabiilsust ja põhjustada lisavajumisi (nagu peatükis ... selgitatud, võib vee väljadreenimine põhjustada soovimatuid vajumisi). Turbaaladel võiks kaaluda „lamedate“ kraavide kasutamist, mis aitavad juhtida ära pinnavett, kuid mis ei mõjuta nii tugevalt tee all asetseva turba veetaset ja sellega seoses tasakaaluseisundit (joonis 2.6).



Joonis 4.4. Võimalikud lahendused kraavidele soodes [6]

4.3 Katendid

Antud peatükis nimetuse „katte“ all mõeldakse peatükis 3 esitatud tüüpkatendite kandvat alust ja kulumiskihti koos.

4.3.1 Teekatendi ehitamise üldised nõuded

Enne teekatendi materjali kohalevedu ja laotamist muldele, peab mulde pealispind olema profileeritud, antud vastav põikkalle ja hästi tihendatud (vähemalt 90%). Kui muldkeha on vihmast märgunud, tuleb teekattmaterjali veoga viivitada kuni kuivamiseni optimaalse veesisalduseni.

Liivalus ja kruuskate tihendatakse kihtidena. Tihendavate kihtide maksimaalsed paksused on pneumorullide kasutamisel 25 cm, silerullide kasutamisel 18 cm. Tihendamine toimub 2...3 etapis, kusjuures eelnevalt kontrollitakse taset 3 m pikkuse latiga, ebatasasused planeeritakse autogreideriga. Veega küllastunud mullet ja teekatet ei tihendata. Kuiva liiva ja kruusa tuleb kuival ajal planeerimisel ja tihendamisel kasta veega.

Aluse (katte) vähim paksus peab olema vähemalt 1,5 korda suurem kivimaterjali suurima tera läbimõõdust. Tihendatud kruusakihi paksus ei tohi olla alla 15 cm.

Talvel võib aluseid ja katteid ehitada muldele, mis on lõplikult valminud enne külmade saabumist. Enne aluse (katte) ehitamist tuleb muldkeha vahetuse haardealal (vastav teelõigu pikkus) puhastada lumest ja jääst. Lumesaju või tuisu korral tuleb töö katkestada. Kui temperatuur on 0 kuni -5 kraadi, tuleb materjal laotada, tasandada ja tihendada 4 tunni jooksul, külmema ilma korral 2 tunni jooksul. Kui materjali veesisaldus on üle 3%, tuleb seda enneaegse külmumise vältimiseks töödelda 0,3...0,5% kloriidilahusega. Talvel aluse ja katte tihendamisel materjale ei kasteta. Talvel ehitatud alusel (kattel) tohib liikluse avada pärast aluse (katte) täielikku tihendamist. Talviste sulade korral ja enne kevadist sula tuleb talvel ehitatud alus (kate) puhastada lumest ja jääst ning tagada vee äravool teelt.

Talvel ehitatud aluse (katte) vajumised (deformatsioonid) tuleb kõrvaldada pärast mulde ning aluse (katte) kuivamist ja tiheduse kontrollimist materjali juurdelisamise teel.

Külmunud muldkehale teekatendi rajamise korral järgitakse järgmisi nõudeid:

- muldkeha pind peab olema enne külmumist tihendatud ja tasandatud;
- muldkeha pind peab olema lumest puhastatud;
- liikluse võib teekattel avada pärast selle täielikku tihendamist.

Katendi materjalide tihedusteguri hindamiseks võib kasutada järgmisi seoseid:

- kasutades kruusa, peab Inspectoriga mõõdetud elastsusmoodul olema vähemalt 120MPa;
- kasutades liivaga segatud aherainet, peab Inspectoriga mõõdetud elastsusmoodul olema vähemalt 150MPa;

- kasutades killustikku, peab Inspectoriga mõõdetud elastsusmoodul olema vähemalt 170MPa;

4.3.2 Kruusast teekonstruktsiooni ehitamine

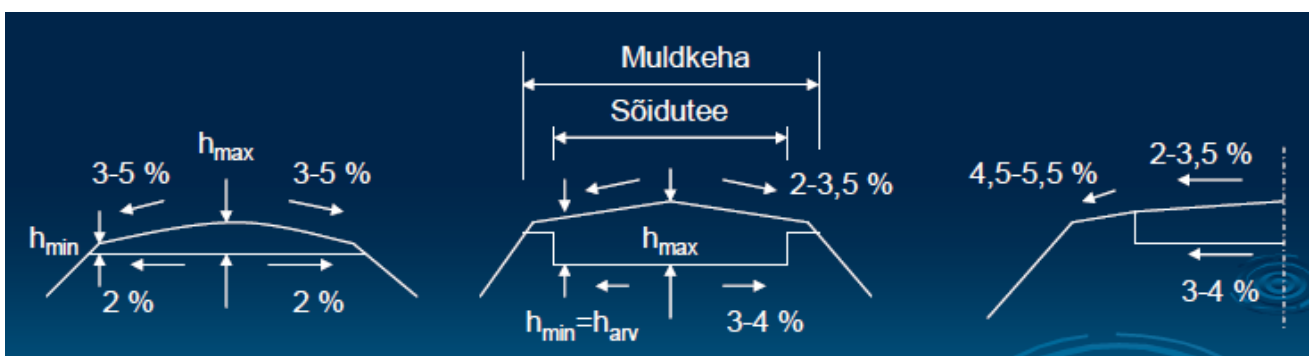
Kruuskatete soovitatav ehitusperiood on kevad või sügis (suvel tuleb optimaalse veesisalduse saamiseks materjali kasta). Kruuskatte ehitamisel peab mineraalmaterjali laotamisel ja tihendamisel selle veesisaldus olema optimaalse lähedal (hälve + 10 % optimaalsest).

Ehitusperioodi normaalseks alguseks loetakse aega, kui muldepinnas on saavutanud optimaalse veesisalduse ja küllaldaselt tihenenud. Ehitusperioodi lõpp on esimese lume tulek, pinnaste püsiva külmumise algus, veesisalduse suurenemine üle optimaalse ja ööpäevase keskmise temperatuuri langemine alla +5°C.

Talvel tohib kruuskatteid ehitada muldkehadele, mis on valmis ehitatud ja vastu võetud enne külmade saabumist ja teel ei esine liiklust. Kevadel muutub tee pehmeks, profileerima saab hakata materjali kuivades ja tahenedes. Talvel ehitatud kruuskatted võetakse vastu peale muldkeha ja aluse sulamist, katte profileerimist ja tihendamist.

Klassikaliselt võib kruuskatteid ehitada kolme tüüpi profiiliga (joonis 4.5):

- Sirbikujuline – maksimaalne kihipaksus 15 cm (katte servas paksus 4-5 cm); teepeenral ja kattel vahet ei tehta; kuni 8 m laiad.
- Poolkünas – kruusakihi paksus üle 15 cm; küna lõikamiseks peaks muldkeha olema >8 m lai.
- Künas – küna kas sisse lõigatud või täidetud samal ajal katte ehitamisega.



Joonis 4.5. Kruusatee katte/katendi ehitamine [1]

4.3.2.1 Aluste ehitamine ja materjalide paigaldamine

Tehnoloogilise kihipaksuse miinimumi määrab suurim kasutatav terasuurus, aluse tasasus ning pealeveetava materjali tasandatavus. Igas katte punktis peab olema tagatud arvutuslik kihipaksus.

Minimaalne kihipaksus on $h_{\min} \approx 1,5 D$ (D – maksimaalne tera läbimõõt)

- Liivalusel $h_{\min} \geq 12$ cm;
- Seotud alusel $h_{\min} \geq 8$ cm.

Tehnoloogilise kihipaksuse maksimum (h) on seotud tihendamisvõimalustega (kuni 25 cm). Kui kihipaksus on üle 25 cm, siis tuleb ehitada see kahes kihis - $0,6h+0,4h$

Tööde järjestus kruuskatete ehitamisel:

- Muldkeha ettevalmistamine ja vahekihi ehitamine;
- Aluse või katte alumise kihi ehitamine;
- Katte ehitamine.

Märkimine:

- Kontrollitakse muldkeha mõõtmeid;
- Seatakse üles orientiirid ja majakad; märkimisvaid asetatakse muldkeha servast 10-15 cm kaugusele ja neile märgitakse iga konstruktiivse kihi paksus kobedas olekus.

Materjal puistatakse mulde pinnale nii, et kallur liigub mulde pinnal. Materjal laotatakse raske teehöövliga ja tihendatakse (pneumorull, valtsrull). Nõrkadel materjalidel (materjaliklass „G“) ja geosünteedidele ehitamisel kas ei saa kalluritega liigelda või ei ole see soovitatav. Sel juhul autod lähenevad juba paigaldatud kihti mööda tagurpidi sõites. Sellistel juhtudel võib olla, et auto ja buldooser/greider ei mahu üksteisest mööda; materjalipaigaldust saab teha viisil, kus roomikekskavaator seisab muldel, ees on rullis geosünteed ja materjal paigaldatakse ekskavaatoriga.

Pikkade lõikude puhul tuleb tee äärtesse tekitada ümberpöörämiskohad. Soovituslik oleks need asukohad ühendada tee mõõdasõidukohtadega või ehitada ajutiselt mõni suurem mahasõit sobivasse kohta. Võimalik on ka jätta planeeritava ümberpöörämiskoha juures kraavid ajutiselt kaevamata.

Materjal peab olema optimaalse veesisaldusega (vajadusel niisutatakse). Peale tasandamist buldooseriga (teehöövliga) kiht tihendatakse lõplikult pinnaserulliga.

Aluste ehitamisel ja vajaliku materjalihulga määramisel tuleb arvestada erinevate materjalide ületihendusteguritega, mis on (ületihendusteguriga tuleb arvestada profiilse mahu määramisel):

- liiv 1,05...1,12;
- kruus 1,20...1,35;
- tardkivimitel 1,2...1,45;
- lubjakivimitel 1,2...1,55.

4.3.2.2 Katte ehitamine

Katte ehitamiseks veetakse materjal tee teljele katkematusse prisma ja laotatakse raske hõõvliga kogu muldkeha (küna) laiuses arvestades nõutavaid põikkaldeid.

Sõltuvalt materjali paksusest vajatakse 9, 11 või 13 hõõvli korduslähikut. Hõõvel töötab II käiguga ja pöörab ümber väljaspool haardeala (lõik, kus katet ehitatakse). Hõõvli maksimaalse tootlikkuse saavutamiseks materjali ümberpaigutamisel asetatakse hõõvli hõlm liikumissuunaga 45° nurga alla, lõikenurgaks on kuni 50° ja kaldenurk vastab katte projekteeritud põikkaltele. Lõplikul profileerimisel pannakse hõlm 60-90° haardenurga ja kuni 60° lõikenurga alla.

Hõõvli tootlikkus sõltub haardeala pikkusest (esitatud tabelis 4.2. Lühemate haardealade puhul tootlikkus langeb järsult).

Tabel 4.2

Raske teehöövli tootlikkus [1]

Haardeala pikkus, m	100	101 - 200	201 - 400	> 400
Raske teehöövli tootlikkus, m ³ /vahetuses	480	640	720	800

4.3.2.3 Tihendamine

Kruusakiht, mis on nõutavas profiilis ja optimaalse veesisaldusega (7-12 %), tuleb tihendada nõutava (projekteeritud) tihendustegurini (Inspectori minimaalne näit 120Mpa). Tihendatakse metallvaltsidega rullidega või pneumorullidega (viimased annavad parema tulemuse).

Kuiva kuuma ilma puhul vajadusel kastetakse 5-15 l/m². Et vesi ei aurustuks, kastetakse korraga vaid poolt laiust, mida rullitakse järgneva 20-30 minuti jooksul. Esimesed käigud teeb rull väikese kiirusega (2-2,5 km/h), ülejäänud korduslähikud suuremal kiirusel (4-6 km/h). Kui rullimise käigus tekivad ebatasasused, vähendatakse rullide kiirust kuni 1,8 km/h ja rullitakse kuni ebatasasuste kadumiseni. Sageli on rullimisel tekkivad lained põhjustatud rullitava materjali liigniiskusest. Siis rullimine katkestatakse ja lastakse materjalil kuivada.

Sõltumata rullimise viisist toimub kruuskatte lõplik tihenemine liikluse all. Ühtlase tiheduse saavutamiseks tuleb liiklust reguleerida. Liiklusega tihendamiseks on parim aeg peale kergeid suvevihmu, kuna siis on kate niiske ja formeeritav.

Kruuskatte tihedust kontrollitakse ≥ 10 tonnise valtsrulli kontroll-lähikuga ehitatud katte kogu pikkuses. Kattele ei tohi jääda rulli jälge ja valtsi ees ei tohi rullimisel tekkida lainet.

Tihendusteguri (tihendustegur on pinnaseskeleti tegeliku mahumassi ja sama pinnase optimaalse veesisalduse juures määratud maksimaalsesse mahumassi suhe) määramiseks võimalik kasutada liivakoonuse või kummiballooni meetodit (kattesse kaevatakse auk, määratakse augu maht, kaalutakse august võetud materjal, saadakse tihedus g/cm³ ja võrreldakse seda laboris määratud optimaalse tihedusega).

Elastusmoodul kruuskatte pinnal määratakse LOADMAN, INSPECTOR või mõne muu sarnast tüüpi seadmega iga 100 m tagant ristlõike 3 punktis. Elastusmooduli minimaalne väärtus neis peab vastama projektis nõutavale. Kui projektis nõue puudub, siis ei tohi see olla väiksem, kui 120 MPa.

4.3.2.4 Kruuskatte ehitamine talvel

Kruuskatte ehitamine talvetingimustes võimaldab pikendada ehitusperioodi ja ühtlasemalt rakendada tööjõudu ja mehhanisme. Teekatte ehitatakse enne talve ehitatud ja vastu võetud muldkehale. Talvel tuleb võimalikult kiirelt teostada materjali vedu, laotamine, profileerimine ja tihendamine, vältimaks materjali külmumist.

Talvel on soovitatav ehitada sribikujulist katet. Kui ehitatakse künasse, siis tuleks küna moodustada peenarde hilisema juurdepuistamisega ainult dreniivast pinnasest.

Tihendamiseks on otstarbekas kasutada vibrorulle.

Enne tööde algust tuleb muldkehalt eemaldada lumi ja jää. Ette valmistatakse lõik ühe vahetuse ulatuses. Tugevate tuiskude ja lumesadude ajal töö katkestatakse. Teele paigaldatavates materjalides ei tohi olla lund ega jääd. Põhiliseks tasandusmasinaks on talvel buldooser. Hõõvliit kasutatakse ainult lõplikuks profileerimiseks.

Materjali puistatakse ainult enda ette. Aluskihti mööda sõita ei tohi. Haardealad on talvel lühemad, kui suvel, et vältida materjali külmumist – sellest ka tootlikkuse vähenemine talvel.

Üle 14 cm paksused katted tihendatakse kahes kihis. Talvel ehitatud katet tuleb pidevalt lumest puhastada, et vältida lõplikult formeerumata katte ja mulde üleniiskumist.

Talve lõpul eemaldatakse lumi ka teepeenardelt ja nõlvadelt, et tagada teekonstruktsiooni kuivamine. Kevadperioodil piiratakse ja reguleeritakse liiklust.

Peale lõplikku sulamist ja kuivamist (optimaalse veesisalduseni) kõrvaldatakse deformatsioonid ja lõpetatakse tihendamine (peale raske rulli (>10 t) 10-15 korduslõbikut ei tohi jääda valtsi jälge).

Talvel ehitatud kruuskatted võetakse vastu peale muldkeha ja aluse sulamist.

4.3.2.5 Ehitatud kruuskatte kvaliteedinõuded

Kruuskatete projektis ettenähtud geomeetrilistele parameetritele, mõõdetult iga 25 m tagant, lubatakse järgmisi hälbeid:

- põikkalle ± 0.5 %;
- pinna kõrgusarv ± 3 cm;
- pikitasasus (pilu 3 m lati all) ≤ 2 cm;
- põiktasasus (pilu 3 m lati all) $\leq 1,5$ cm;
- kihi laius tee telje ja serva vahel - 5 cm ... + 10 cm;

- tihendatud kihi ristlõike kolme punkti keskmine paksus, mõõdetuna tee teljel ja tee servast 1 m kaugusel ei tohi olla projekteeritust väiksem üle 10 mm ning kogu teelõigu keskmine paksus ei tohi olla projektsest väiksem üle 5 mm.

Küna geomeetrilistes parameetrites lubatakse järgmisi hälbeid:

- laiuses 5 cm;
- põkkaldes +0,5 %;
- põhja kõrgustes +5 cm.

Nõlvade kaldes lubatakse hälbeid mitte rohkem kui 10 %.

Kraavide põhja laiuses ja sügavuses lubatakse hälbeid mitte rohkem kui 5 cm.

Elastsusmoodul kruuskatte pinnal määratakse LOADMAN, INSPECTOR või mõne muu sarnast tüüpi seadmega iga 100 m tagant ristlõike 3 punktis. Elastsusmooduli minimaalne väärtus neis peab vastama projektis nõutavale. Kui projektis nõue puudub, siis ei tohi see olla väiksem, kui 120 MPa.

Kruuskatte mineraalmaterjali terakoostise vastavust projektile kontrollitakse mitte harvemini, kui üks kord 1000 m³ paigaldatud mineraalmaterjali kohta.

4.3.3 Muud materjalid – aheraine ja killustik

4.3.3.1 Aheraine

Aheraine kasutamisel on nõuded kruusaga sarnased. Aherainet tuleb segada liivaga 30...40% ulatuses, mis täidab aheraine suurt tühiklikkust ja mis võimaldab saavutada piisavat tihendatust (nõuded kasutatavale liivale on esitatud peatükis 3.2.1). Kogemused näitavad, et põlevkiviaheraine mureneb ja laguneb ilmastikutingimuste ja liikluskoormuse koostöös. Murenenud osakesed vajuvad tühimikesse, mistõttu kihipaksus väheneb ja teesse tekivad roopad. Liiv vähendab poorsust, mistõttu kihipaksuse vähenemine murenemise tõttu on minimaalne.

Puhast aherainet on pea võimatu tihendada vajaliku tasemeni. Halvasti tihendatud materjali elastsusmoodul (kandevõime) võib olla poole väiksem vajalikul tasemel tihendatud materjalist, mistõttu aluspinnasele jõuavad suuremad pinged, mis omakorda põhjustavad teele suuremaid roopaid ja nõrgemat kandevõimet (roobastesse koguneb vesi, mis nõrgestab pinnast).

Segamise võib teha laoplatsil ekskavaatori või laaduriga, aga ka otse teel paigaldades kõigepealt pool vajalikust aherainekihist, mille peale veetakse vajalik kogus liiva, misjärel kiht tihendatakse. Peale veetakse teine aherainekiht, mille peale omakorda uuesti liivakiht, mis täidab aja jooksul poorid. Teele ei saa ehitada kruuskatet peale enne, kui liiv on vajunud kas tihendamise ja/või

sademetega aheraine vahele. See põhjustab tee ehitamisperioodi ja kasutuselevõtu aja pikenemist. Aheraine kaetakse peenema fraktsiooniga killustikuga, kogemused on näidanud, et parimaks fraktsiooniks on 16/32.

Inspectori/Loadmaniga kandevõime näit aherainega ehitatud tee pealt peab olema vähemalt 150Mpa.

4.3.3.2 Killustikust alused ja katted

Kasutatakse kitsalt fraktsioneeritud killustikust kiilutud killustikkatteid (põhifraktsioon ehk põhikillustik, kiilekillustik ehk kiilumiskillustik, sõelmed), mis võivad ilma sideainega töötlemata kanda liiklussagedust kuni 200-300 autot/ööpäevas.

Killustikkatete ehitamisel tuleb juhinduda Eesti Maanteeameti killustikust katendikihtide ehitamise juhendist (http://www.mnt.ee/public/Killustikust_katendikihtide_ehitamise_juhis_2012-2.pdf).

Killustikkatted ehitatakse üldjuhul juhendi tabeli 1 materjal nr 7 järgi, kuid võib kautada ka kõrgemaid nõudeid, kasutades kiilumismeetodit.

Kiilekillustiku kulu killustikkatte ehitamisel:

- põhifraktsioon 16-32 mm – kiilekillustiku fraktsiooni 8-12 mm kulu 25 kg/m²;
- põhifraktsioon 32-64 mm - kiilekillustiku fraktsiooni 12-16 mm kulu 25 kg/m² ja fraktsiooni 8-12 mm kulu 15 kg/m²;
- põhifraktsioon 64-120 mm - kiilekillustiku fraktsiooni 16-32 mm kulu 30 kg/m² ja fraktsiooni 8-12 mm kulu 20 kg/m².
- sõelmed 0-4 mm (või 2-4 mm).

Head killustikkatte püsivust ei saavutata järgmistel tingimustel:

- nõrga killustiku puhul (kate hakkab tööle kruuskattena, on vähem nihkekindlad);
- lestja ja nõelja killustiku kasutamise (ei teki võlviefekti, terad purunevad rullimisel);
- põhifraktsiooni mõõtude kõikumisel (ehk laia terakoostisega killustiku puhul; põhikillustik peab olema võimalikult kitsa terakoostisega);
- väga kõva ja sitke kivimi puhul (kiilumisel ei purune ja ei sobitu pooridega);
- ebäühtlase kõvadusega materjali puhul (välistab meie kruusade kasutamist);
- mõningate libedate kivimiliikide kasutamise puhul (nagu liivakivid, kvartsiidid, obsidiaanid (klaasjad kivimid), basaldid – nende puhul ei moodustu kivitolmu, mis töötab tsemendina);
- nullfraktsiooni või savika pinnase kasutamisel kiilumiseks (liigne peenosis töötab vihmade puhul määrdena ja lihtsustab killustikuterade väljakiskumist kattest).

Killustikkatet püütakse ehitada nii, et kiilumise käigus tekiks võlviefekt – seega peab muldel olema külgtugedega ehk künaristolõige (ehitatakse ka äärekivide vahele). Killustikkate ehitatakse tavaliselt künasse liiv- või pinnasalusele, mis peab omama tehnoloogilist vahekihti takistamaks liiva ja killustiku segunemist, kuid tagama vee läbivoolu (näiteks geotekstiil või kruus).

Liivaluse võib ära jätta kuivadel saviliivadel, kruuspinnastel, kivistel pinnastel. Muudel juhtudel vähendab liivalus kalli killustikkatte paksust ja takistab pinnase tungimist killustikkattesse.

Killustikkatte ligikaudsed vajalikud ehituslikud paksused:

- liivalusel 15-25 cm;
- pinnasalusel ≥ 30 cm.

Killustikkatted ehitatakse ühe- (st. ühe põhikillustiku ja ühe kiilumiskillustiku puistamist) või kahekihilistena (st. kahe põhikillustiku ja ühe kiilumiskillustiku puistamist). Tööde järjestus on järgmine:

1. alumise kihi jämeda killustiku puistamine, tasandamine ja profileerimine (arvestades ületihendustegurit 1,25-1,30);
2. killustiku tihendamine rulliga ilma veeta;
3. killustiku tihendamine veega;
4. ülemise kihi killustiku puistamine;
5. killustiku tihendamine kuivalt;
6. killustiku tihendamine veega;
7. kiilumiskillustiku puistamine ja märjalt sisse rullimine;
8. sõelmete puistamine ja kerge rullimine (1-2 läbikut).

Sõelmetega puistamine toimub ainult kiilunud katete puhul. Sõelmeid kasutatakse sademete kattesse imbumise vältimiseks. Kui kiilumismeetodil ehitatakse täiustatud katete aluseid, siis sõelmeid ei kasutata ja kiilunud kihi pealmine osa tuleb pooride sulgemiseks töödelda (immutada) bituumeniga 2,5-3 l/m².

Laotatud kihi minimaalne paksus peab olema vähemalt 1,5 korda suurem materjali suurimate terade läbimõõdust, kuid mitte väiksem, kui 10 cm ja mitte suurem, kui 25 cm.

Suurim killustikukihi paksus (tihedas olekus), mida rull tihendab, sõltub rulli liigist:

- rasked rullid (valts, pneumo) 16...20 cm;
- vibrorullid, -plaadid 25...30 cm.

Kihipaksuse valikul tuleb arvestada kobeda killustikukihi paksuse vähenemist tihendamisel 25...30 % (peenem killustik tiheneb vähem, jämedam rohkem). 25 cm killustikupuistest tuleb 20 cm tihedat kihti.

Tihendamine:

1. tihendamine algab katte ääre lähedalt (10...15 cm äärekivist või küna servast);
2. tehakse 2-3 korduslähikut (kiirusega 1,5-2 km/h);
3. teises katte servas sama;
4. rull liigub mõlemalt poolt sümmeetriliselt telje poole, valtsi jälje ülekate peab olema 25...30 cm (kahevaltsilise rulliga).
5. ühel jäljel tehakse 3-4 korduslähikut (tee keskel 2-3).

Tihendusastme määramiseks vaadatakse, et rull ei jäta oma liikumisel killustikukihile valtsi äärega joont, või kui rull muljub puruks killustikukihile täiendavalt lisatud kivi, siis on tihendus saavutatud.

Kiilumise ajal kasutatakse sisehõõrde vähendamiseks terade vahel suurel hulgal vett (20...50 l/m²) sõltuvalt ilmastikust ja killustiku laadist.

Kiilumiskillustikku ja sõelmeid vajatakse umbes 15...25 % tihendatud põhikihi mahust (2...3 m³/100 m²). Kiilumiskillustiku ja sõelmete suhe 3:1...4:1.

Täpne materjali kulu selgub ehituse alguses katseehitamisel, millega määratakse täpsed kulunormid. Eksploatatsiooni ajal reguleeritakse killustikkattel liiklust, et vältida roopa tekkimist.

Tüüpilisemad ehitusvead killustikkatete ehitamisel [1]:

Tihendamisel tekivad lained, põhjuseks:

1. ebaühtlane puiste paksus;
2. liiga raske rull;
3. liiga suur rulli kiirus (>2,5 km/h);
4. liigne aluse veesisaldus.

1., 2. ja 3. ilmnevad tavaliselt rullimise algperioodil. Esiteks tuleks vähendada rulli kiirust, kui see ei aita, tuleb võtta kergem rull. Ebatasasused kõrvaldatakse greideriga ja alustatakse uuesti tihendamist. 4. esineb tihendamise kesk- ja lõppetapil peale mitmekordset niisutamist. Tuleb anda aega kuivamiseks.

Aluse liiv tungib killustiku sisse:

Taoline segu ei ole tihendatav, jääb liikuvaks ja ei teki võlviefekti. Sellised “surnud väljad” tuleb üles kaevata, killustik sõeluda või asendada koos isoleeriva kihi (geotekstiil) ehitamisega.

Ülerullimise tagajärjel tekivad “surnud väljad”:

Ülerullimisel killustiku nurgad murduvad ja ümarduvad ja killustik ei tihene. Et materjali mitte kaotada, võetakse see üles, sõelutakse ja purustatakse see uuesti, saades väiksema fraktsiooniga killustiku, mida saab kasutada kiilumiseks. Teiseks võimaluseks on bituumeniga immutus 2-3 l/m².

Killustikaluste kvaliteedinõuded

Aluste geomeetrilised parameetrid mõõdetakse iga 25 m tagant ja lubatud hälbed peavad vastama projekti nõuetele. Kui projektis nõuded puuduvad, siis tuleb lähtuda järgmistest lubatud hälvetest:

- aluse kõrguse erinevus projektkõrgusest ± 30 mm;
- kihi laius tee telje ja serva vahel +10 cm –5 cm;
- pilu 3 m lati all ≤ 20 mm;
- põikkalle:
 - ühepoolse kaldega teedel $\pm 0,3$ %,
 - kahepoolse kaldega teedel $\pm 0,5$ %;
- tihendatud kihi ristlõike kolme punkti keskmine paksus, mõõdetuna tee teljel ja tee servast 1 m kaugusel ei tohi olla projektsest väiksem üle 10 mm ning kogu teelõigu keskmine paksus ei tohi olla projektsest väiksem üle 5 mm.

Aluse tihendamist kontrollitakse elastsusmooduli mõõtmise teel tihendatud aluse pinnal Inspector, Loadman või mõne muu sarnast tüüpi seadmega vähemalt iga 100 m tagant ristlõike kolmes punktis. Elastsusmoodul tihendatud aluse pinnal peab vastama projekti nõuetele. Kui projektis elastsusmooduli nõue puudub, peab see olema 170 MPa.

Liivalusel killustikkatte ehitamise tehnoloogiline skeem:

I haardeala:

1. Kalluritega jämeda killustiku vedu ja mahalaadimine liivalusele või killustikulaoturi punkrisse.
2. Killustiku laotamine buldooseri või killustikulaoturiga (liiguvad laotataval killustikul).

II haardeala:

3. Kalluritega liiva/kruusa vedu teepeenardele killustikule servatoestuse loomiseks.

4. Liiva/kruusa laotamine peenardele teehöövliga.

III haardeala:

5. Peenarde tihendamine kahevaltsiliste rullidega.

6. Laotatud jämeda killustiku planeerimine höövliga ja tihendamine raskete rullidega.

7. Killustiku (ja peenarde) kastmine veega kastmismasinatega.

IV haardeala:

8. Peenema killustiku vedu (II põhikillustik) kalluritega ja mahalaadimine esimesele killustikukihile või killustikulaoturisse.

9. Killustiku laotamine ja planeerimine teehöövliga või killustikulaoturiga.

10. Laotatud killustiku tihendamine (vajadusel kastmine).

V haardeala:

11. Kalluritega peene kiilumiskillustiku vedu ja mahalaadimine tihendatud killustikukihile või killustikulaoturisse.

12. Kiilumiskillustiku laotamine ja planeerimine teehöövli või killustikulaoturiga.

13. Kiilumiskillustiku tihendamine kergete rullidega.

14. Kiilumiskillustiku kihi kastmine veega kastmismasinatega (vajadusel).

VI haardeala:

15. Sõelmete vedu kalluritega ja mahalaadimine tihendatud kiilumiskillustiku kihile või laoturisse.

16. Sõelmete laotamine ja planeerimine teehöövli või laoturiga.

17. Sõelmete kastmine veega kastmismasinatega (vajadusel).

18. Sõelmete tihendamine kergete rullidega.

VII haardeala:

19. Killustikkatte vastuvõtmine laiuse, paksuse ja tiheduse kontrolliga.

20. Värskelvalminud katte hooldamine liikluse reguleerimisega.

5. METSATEEDE HOOLDAMINE JA REKONSTRUEERIMINE

Metsatee elutsükli võiks jagada osadeks järgnevalt:

- projekteerimine, mis lähtub kehtestatud nõuetest, planeeringutest ja vajadustest ;
- ehitamine, mis lähtub keskkonnavalastest nõuetest ja projektist;
- kasutamine ja hooldamine.

Tee elutsükkel lõpeb kas lammutamise/sulgemisega, kui tee jaoks ei ole enam vajadust või algab uus ring rekonstrueerimisega, kui seisundinõudeid ei ole võimalik enam tava- ja perioodilise hooldusega täita või kui olemasolev tee ei vasta enam ootustele, vajadustele. Rekonstrueerimisele eelnevad nõuded, uuringud, projekteerimine. Seega on rekonstrueerimine justkui uusehitis mõningate erinevustega.

Antud peatükk toob välja hooldamist puudutavad nõuded, põhimõtted ja juhised, samuti punktid, mis mõjutavad ja millega tuleks arvestada planeerides rekonstrueerimist.

5.1 Metsatee seisundinõuded

Metsatee seisundinõuded on esitatud Keskkonnaministri määruses „Metsatee seisundi kohta esitatavad nõuded“, maaparandussüsteemi teenindava tee hooldamise nõuded on esitatud Põllumajandusministri määruses „Maaparandushoiutöödele esitatavad nõuded“

Järgnevalt on toodud peatükiga seotud mõisted vastavalt seadustele:

Maaparandussüsteemi teenindava tee hooldamine (Maaparandushoiutöödele esitatavad nõuded RTL 2003, 90, 1336).

- Tee regulaarne hooldamine peab tagama tee rahuldava sõidetavuse, st teekatendis ei tohi olla üle 10 cm sügavusega löökauke.
- Teekatendis olev 10 cm või sügavam löökauk tuleb täita kruusa või muu projektis ettenähtud materjaliga.
- Teekattelt peab olema tagatud vee äravool ning välistatud deformatsiooni teke muldkehasse.
- Tee profiil peab olema säilitanud ehitusjärgse nõuetekohase kalde.

- Teenõlval ei või olla nähtavat erosiooni ega uhtumise jälge, mis ohustab teetammi nõlva stabiilsust.
- Teemaalt peavad olema kõrvaldatud liiklusele ohtlikuks osutada võivad puud. Kui tee ja kraavi vahele jääb vähem kui 2 m, peab kogu ala olema puhastatud võsast ja kasvavast metsast v.a kaitsealused puud.
- Kui vahe tee ja kraavi vahel on suurem kui 2 m, võib tee ääres mulde servast 2 m ulatuses kasvada võsa, puud ja muu taimestik, mille kõrgus ei ületa 1,5 m. Kasvav mets ei tohi moodustada teel võradest suletud „tunnelit“.
- Teekraavi ja veeviimari voolusäng peab olema vaba üle üheaastasest vanusest võsast ja setetest, mis takistab rajatise nõuetekohast toimimist ja kasutamist.
- Teekraavi voolusängis ei tohi esineda voolutakistusi. Eelkõige peab eemaldama sellise voolutakistuse, mis põhjustab truubi ees paisutust või nõlva ja kalda deformatsiooni.

Maaparandussüsteemi teenindav tee:

- hooldamine
 - teeprofili taastamine kruusa lisamata;
 - tee servalt vee äravoolu takistavate vallide kõrvaldamine;
 - muldkeha niitmine ja lohkude täitmine.
- uuendamine
 - teeprofili taastamine kruusa lisamisega kuni 15 cm;
 - teekattes sügavamate aukude täitmine.
- rekonstrueerimine
 - plaanilahenduse oluline muutmine;
 - mulde või katte konstruktsiooni oluline muutmine.

Metsatee üldised seisundinõuded on (Metsatee seisundi kohta esitatavad nõuded. RT I, 26.02.2014, 12):

- metsateel liiklust ohustavad esemed, surnud linnud ja loomad peavad olema eemaldatud;
- metsateelt ja metsatee äärest peavad olema kõrvaldatud ohtlikud puud;
- metsatee nõlvadel ei või olla erosiooni ega uhtumisi, mis ohustavad nõlva stabiilsust;
- defektsed tähispostid peavad olema asendatud;
- truubi kohal ja sillal ei tohi olla auke ega läbivajumisi;
- sildade maha- ja pealesõidud ning piirded peavad olema tähistatud, kui silla sõiduteelaius on kitsam metsatee laiusest;

- sildade ja truupide kandevõime peab olema tähistatud liiklusmärkidega, kui see on väiksem lubatud maksimaalsest autorongi tegelikust massist.

Metsatee seisundinõuded on esitatud tabelis 5.1:

Näitaja	Seisundinõuded				
	1.järk	2. järk	3. järk	4. järk	5. järk
Metsatee põikprofiili kalle	Positiivne, v.a kattega teed, kus nõue puudub. Seisundinõue tuleb tagada pidevalt.				Nõue puudub.
Vee äravool metsateel	Vee äravool teelt peab olema tagatud. Seisundinõue tuleb tagada ühe kuu jooksul alates teada saamisest.				Nõue puudub.
Roopad ja ebatasasused metsateel	Teel ei tohi olla roopaid sügavusega üle 10cm ja pikkusega üle 50m, ebatasasusi sügavusega üle 10cm ja läbimõõduga üle 2m. Seisundinõue tuleb tagada ühe kuu jooksul alates teada saamisest.				Nõue puudub.
Roht- ja puittaimestik metsatee peenardel	Teepeenral ei tohi olla roht- ja puittaimestiku minimaalselt 1,5m ulatuses teeservast, v.a juhul, kui taimestik on alla 0,5m. Seisundinõue tuleb tagada niitmise sagedusega vähemalt kord aastas.				Nõue puudub.
Roht- ja puittaimestik metsatee äärsetes kraavides ja nõvades, mis asuvad metsateele lähemal kui 2m	Kraavi ja nõva teepoolsel nõival ei tohi olla roht- ja puittaimestiku minimaalselt 6m ulatuses teeservast v.a juhul, kui taimestiku kõrgus on alla 3m. Seisundinõue tuleb tagada niitmise sagedusega vähemalt kord kolme aasta jooksul.				Nõue puudub.
Puittaimestik metsatee peenardel (v.a alleed, esteetilist või looduskaitselist väärtust omavad puud)	Teepeenral ei tohi olla puittaimestiku minimaalselt 2m ulatuses teeservast, v.a juhul, kui puittaimestik on alla 3m. Seisundinõue tuleb tagada puittaimestiku niitmise, purustamise või raiumisega vähemalt kord kolme aasta jooksul.				Nõue puudub.
	Puittaimestiku võrade projektsioon ei tohi ulatuda tee kohale määral, mis mõjutab teekatte niiskusolusid. Seisundinõue tuleb tagada puittaimestiku raiumisega sõltumata puittaimestiku kaugusest teeservast.				Nõue puudub.
	Puittaimestik ei tohi ulatuda tee kohale määral, mis takistab ohutut liiklemist. Seisundinõue tuleb tagada puittaimestiku raiumisega sõltumata puittaimestiku kaugusest teeservast.				Nõue puudub.
Vee äravool metsatee äärsetes kraavides ja nõvades	Voolusängis ei tohi esineda takistusi, mis mõjutavad teekatendi niiskusolusid. Seisundinõue tuleb tagada takistuse eemaldamisega sõltumata takistuse asukohast, hiljemalt kolme kuu jooksul alates teada saamisest.				Nõue puudub.
Lumetõrje metsateel	Vastavalt tee valdaja vajadusele.				Nõue puudub.

5.2 Metsateede hooldus

Järgnevalt on esitatud üldised põhimõtted ja tehnoloogiad teede hooldamiseks.

Üldiselt mõeldakse hoolduse all meetmeid, mida tehakse säilitamiseks teed seisundinõuetele vastavas seisukorras. Hooldustöödega püütakse tagada turvalist liiklemist ja vältida tee lagunemist. Hooldustööd jagunevad tavahooldeks ja perioodiliseks hooldeks.

Tavahoolde all on tööd, millega tagatakse liikluse sujumine ja teekonstruktsioone mõjutatakse vähe, näiteks:

- teede ülevaatus;
- prahi koristamine;
- lohkude ja läbilöögikohtade täitmine materjali lisamisega kuni 30t kilomeetrile;
- hõõveldamine lisamaterjali lisamiseta;
- teepeenarde mahalõikamine;
- muldkeha ja kraavide uhtumiste jm vigastuste likvideerimine, kraavide puhastamine, truupide puhastamine;
- võsaraie, rohu niitmine;
- sildade ülevaatus, kergete vigastuste kõrvaldamine, puhastamine. Jõesängi puhastamine;
- talihooldus (lume- ja libedusetõrje, pinna tasandamine, helkurribaga markiiiride paigaldamine ja kokkukogumine, lumevärvate paigaldamine).

Perioodilise hoolduse (uuendamise) tegemise eesmärgiks on selle koosseisu kuuluvate töödega tee-elementide kulumise ja kahjustuste tagajärgede kõrvaldamine ning teede seisunditasemete nõuetele vastavuse võimaliku mahajäämuse likvideerimine ühekordse või mahuliselt määratud tegevusega, tagades olemasoleva katte säilimise ja tee vastamise kehtestatud nõuetele. Kuna perioodiline hooldus on ühekordne töö, siis lepatakse selle mahus ja sisus eraldi kokku vastavalt vajadusele. Tavahooldus toimub pidevalt, perioodiline hooldus vastavalt vajadusele.

Perioodiliste tööde hulka kuuluvad näiteks:

- kulumiskihi taastamine,
- kraavide korrastamine,
- truupide korrastus,
- sildade korrastus jm.

Kulumiskihi taastamisega asendatakse sinna materjal, mis on kadunud tolmamise ja tee nõlvadele paiskumisega. Tööga lisatakse looduslikku kruusa või purukruusa nii, et tee vastaks nõutud seisundile. Materjalinõuded on esitatud peatükis 3.2.1.

Peamine kruusa lisamine tehakse varasügisel, kuna tänu sellele seob kruus hästi niiskesse kulumiskihti. Samal ajal leotunud ja pehmed teed tulevad kuivemaks ja paremini kandvateks. See leevendab ka kevadisi probleeme kattekihiga. Sügisene töö hõlbustab samuti talihooldete tegemist. Kevadiste parandustöödega lisatakse kruusa sellistesse kohtadesse, mis on muutunud pehmeks. Suvel tehakse täiendav kruusa lisamine kohtadesse, mis on kulunud normaalsest rohkem. Sügisene kruusa lisamine toimub eeldusel, et tee kandevõime ei ole niiskete ilmadega seoses vähenenud selliseks, mis ei suuda vastu võtta raskeveokite liiklemist.

Tabelis 5.2 on toodud üldine graafik hooldustööde ajastamisest.

Tabel 5.2

Graafik hooldustööde ajastamisest metsateedel [16]

	Kevad	Suvi	Sügis	Talv
Suvehooldus				
Hööveldamine		-----	-----	
Tolmutõrje			
Katete hooldus (sh pindamine)	-----		-----	
Vösaraie		-----		
Liiklusmärkide jms hooldus		
Sildade kontroll ja hooldus		
Truupide hooldus	-----			
Talihooldus				
Lumetõrje	-----			-----
Tee tasandamine	-----			-----
Libedusetõrje
Muu
Perioodiline hoole				
Kruusa lisamine		-----	-----	
Kraavide kaevamine		
Truupide korrastamine		
Sildade korrastamine		
Muu	-----			

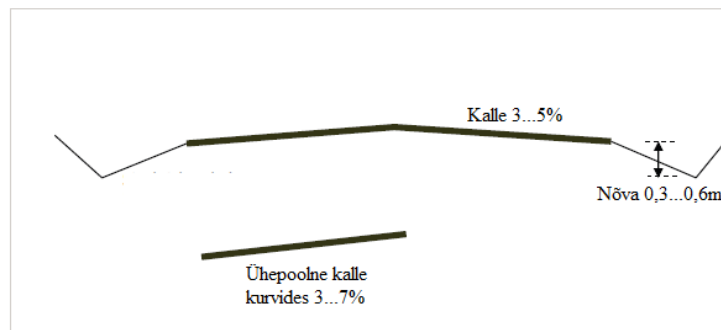
5.2.1 Vesi ja tee pinna kalded

Hooldustööde maht oleneb liiklussagedusest ja selle koosseisust, aga ka tee algsest klassist ja ilmastikust. Teekonstruktsiooni hoidmine kuivana ja kevadiste sulade ajal liikluspääringute

kehtestamine mõjutavad tugevalt tee korraspüsimist, seega tuleks seda käsitleda kui esmast hooldetööliiki.

Tee kuivana hoidmine hõlmab vete äravoolu teelt läbi põikkalde, teeäärse valli eemaldamise ja veeviimrite toimivuse tagamise. Tabelis 5.3 on esitatud mõningad probleemid ja nende lahendusvariandid.

Tolmuvaba katteta tee põikkalle võiks olla $4\% \pm 1\%$ ja kurvides ühepoolne kalle 3 – 7% (joonis 5.1). Liiga väike kalle takistab vee äravoolamist tee pinnalt ning tekitab auke, roopaid ja kandevõimeprobleeme. Tõusudel ja langustel on põikkalded olulised vältimaks vee pikisuunalisest voolamisest tekkivaid uhtumisi. Liiga suured põikkalded teevad sõitmise ebamugavaks ja ka ohtlikuks, kuna tee äärte kandevõime on väiksem.



Joonis 5.1 Teekatte kalded [34]

Tabel 5.3

Mõningad ebapiisavast drenaazist tingitud probleemid [34]

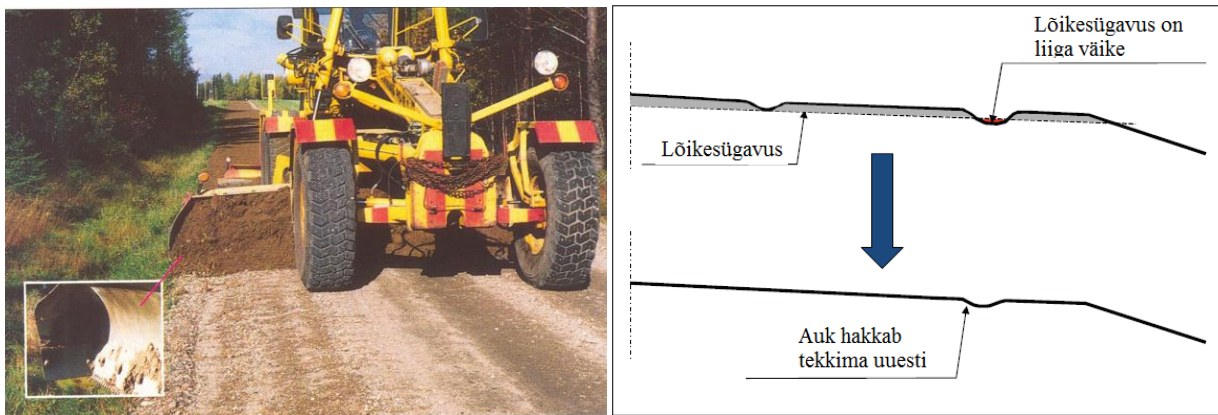
Probleem	Tagajärg	Tegevus
 <p>Ebapiisav põikkalle <3 %</p>	<p>Vesi jääb tee pinnale seisma, ega valgu ära. Vee ja liikluse toimest tekib loike ja auke</p>	<p>Põikkalde vormimine ehk profiiliparandus</p>
 <p>Ebapiisav või valesuunaline viraaz</p>	<p>Teekattepinnale tekib defekte. Sõidudünaamika ja liiklusohutus halvenevad</p>	<p>Profiiliparanduse ajal vajaliku kalde lõikamine</p>
 <p>Liiga suur põikkalle >7 %</p>	<p>Kulumiskihi materjal koguneb liikluse tagajärjel kurvi välisküljele</p>	<p>Profiiliparanduse ajal vajaliku kalde lõikamine</p>
 <p>Teeäärne vall on eemaldamata</p>	<p>Vete valgumine kraavidesse või teemaa-alale on takistatud ning tekivad loigud ja muud defektid</p>	<p>Teekattepinna profileerimine või hõõveldamine</p>
 <p>Veeviimariid on umbes või kahjustatud</p>	<p>Kraavides vesi ei pääse liikuma ning on oht ulatuslike defektide tekkele halvenenud drenaaziga seoses</p>	<p>Veeviimariite hooldamine, truupide puhastamine, parandamine, uuendamine</p>
 <p>Trüüp on ummistunud</p>	<p>Kraavides vesi ei pääse liikuma ning on oht ulatuslike defektide tekkele halvenenud drenaaziga seoses</p>	<p>Veeviimariite hooldamine, truupide puhastamine, parandamine, uuendamine</p>

5.2.1 Hõõveldamine

Hõõveldamine on üks peamisemaid viise teekatete hooldamiseks. Hõõveldamine jaguneb *tasandushõõveldamiseks* ja *profiiliparanduseks*.

Hõõveldamise eesmärk on tasandada sõidurada ja siirdada teepeenardesse paiskunud kulumiskihi materjal tagasi sõidurajale. Metsateid hõõveldatakse harva. Hõõveldamiseks parim aeg on kevadel, kui teekatte pind on niiske. Kui hõõveldatakse kuiva kulumiskihti, rebitakse kihist välja tükid, millest ei teki ühtlast materjali ning kuiva kulumiskihi suure tugevuse tõttu jääb lõikesügavus liiga väikeseks. Kulumiskihi veesisaldus on lähedal optimaalsele, kui materjal paistab „ligasena“ ehk peenmaterjal on kinnitunud ühtlaselt suuremate materjaliterade külge.

Tasandushõõvelduse (joonis 5.2) puhul tasandatakse teed lõigates kuni aukude põhjani (joonis 5.3) ja mujal pooleteisekordse maksimaalse teraläbimõõdu sügavuseni, kuid nii, et kihid omavahel ei seguneks. Kui lõikesügavus ei ulatu aukude põhjani, moodustuvad augud samadesse kohtadesse üpriski kiiresti uuesti. Tasandushõõveldamine ei sobi juhul, kui tee pinnas paistab palju suuremõõdulisi kive või kui tee peal pole piisavalt kulumiskihti. Sellisel juhul tuleks teha lihtsalt augulappimist või taastada kulumiskiht uue materjali pealeveoga.

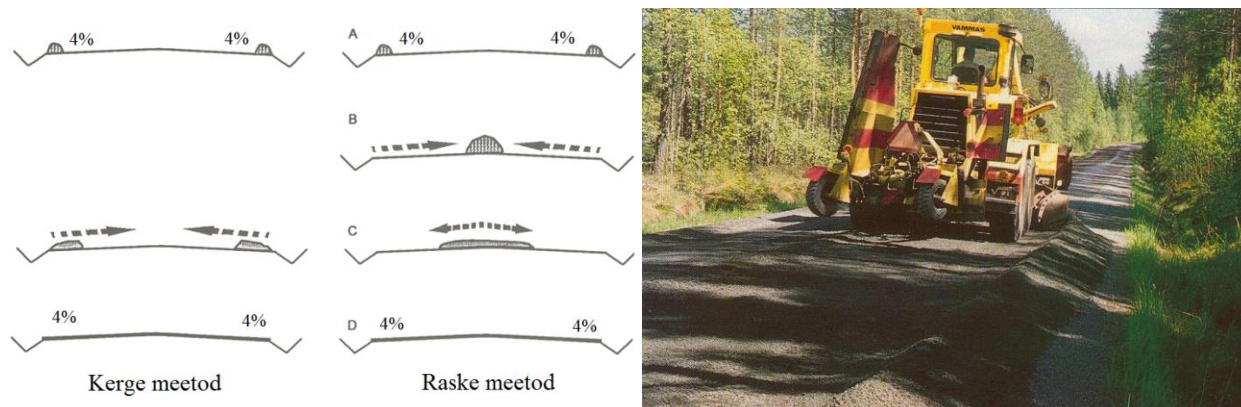


Joonis 5.2. Kruusatee tasandushõõveldamine [26]. Joonis 5.3. Lõikesügavus [34]

Augulappimine teostatakse sobiva sõelkõvera (kasutada peatükis 3.2.1 toodud kulumiskihi materjali nõuetele vastavat materjali), niiske ja võimalusel soola (kuni 2% CaCl_2) sisaldava materjaliga, mis tihendatakse autoratta või vibroplaadiga.

Profiiliparanduse peamine eesmärk on sõiduraja põikkalde vormimine ja tee äärde kogunenud kivimaterjali tagasi toomine sõidurajale. Tavalaiuses metsatee vajab kahte hõõvelduskorda. Esimene on hõõveldamine raskel meetodil, millega tee pind lõigatakse õigesse põikaldesse samal ajal tõmmates teeäärtes olev materjal tagasi sõidurajale. Teine hõõvelduskord on

tasandushööveldus, millega laotatakse sõiduraja keskele aetud vall tagasi teele (joonised 5.4...5.7). Hööveldamise ajal võib vajadusel lisada ka kulumiskihi materjali või mõnda puuduvat fraktsiooni ja tolmutõrje tegemise eesmärgil CaCl_2 .



Joonised 5.4 ja 5.5. Profiiliparandus (1) [26]



Joonised 5.6 ja 5.7. Profiiliparandus (2) [26]

5.3 Valmistumine kevadeks

Peamised probleemid teede kandevõime ja sõidetavusega ilmnevad kevadel, kui hakkab sulamine. Kandevõimelangus võib olla tingitud kas katendi pehmenemisest ja/või aluspinnase kandevõime vähenemisest. Kevadised liikluspiirangud tähendavad metsatööstusele tavaliselt suuri lisakulusi, mis tekivad puumaterjali tarbetust ladustamisest ning sellest tekkivast puu kvaliteedi langusest ning teede ebatasasustest.

Sulamine algab tee pinnast, kui lumi on sulanud ja tee pinna temperatuur tõusnud jäätumispunktist kõrgemale. See võib juhtuda päikesepaistelisel päeval, kuigi õhutemperatuur on miinuspoolel.

Katendi pehmenemise olukord kestab tavaliselt paar nädalat, aga tingituna ilmastikust võib periood olla ka oluliselt pikem. Aluse kandevõime väheneb siis, kui see hakkab sulama, protsess kestab tavaliselt mitmeid nädalaid. Tee suvine kandevõime taastub siis, kui külmumisel kogunenud vesi on sulanud kihist väljunud.

Kandevõimeprobleeme metsateedel võib esineda ka väga vihmastel suvedel ning sügiseti suurte vihmade ajal ja peale neid.

Kandevõimelangused võivad esineda ka vaid tee kandvas kihis, kui alus on külmakerkekindel. Seetõttu ei ole lubatud ehitada külmakerkekindlale maapinnale kasutades külmakerkelisi materjale ja seetõttu tuleb paigutada alati paremad materjalid teekonstruktsioonis ülespoole.

Kevadperioodi alguses tee kontrollitakse koormustaluvuse suhtes. Kui visuaalsel hindamisel tekib kahtlusi liiga väikse kandevõime kohta, kontrollitakse seda mõõtmistega (kas FWD või Inspectoriga). Kui mõõtmisi ei tehta, tuleb jälgida raskeliikluse poolt põhjustatud tee pinna muutusi. Kui muutus peale raskeveoki ülesõitu on silmnähtav ning taastumatu, on põhjust kehtestada teele kandevõimepiirang. Näiteks teljekaalu alandamine 10 tonnilt 6 tonnile lisab tee koormustaluvust (raskeveokite läbisõiduvõimalusi) 10-kordseks.

Kiire meetod hindamaks tee piisavat kandevõimet kevadisteks vedudeks on mõõta tee kandevõimet Loadman/Inspector-mõõteseadmega. Saarelainen 1999 on teinud vastavasisulise uuringu, mille tulemused on esitatud tabelis 5.4.

Tabel 5.4

Tee kevadise kandevõime ja lagunemise seos raskeliikluse puhul

Tee kevadine kandevõime (mõõdetav Inspectoriga)	Tee lagunemine
E < 50 MPa	Tugev lagunemine
E = 50...70MPa	Märgatavate roobaste teke
E > 80 MPa	Märkimisväärset lagunemist pole

Kui teel on oodata kevadisel ajal raskeid vedusid ja pole kindlust, kas tee peab koormusele vastu, tuleb seda eelnevalt tugevdada. Eelneval kevadel tehakse teele vaatlus, millega tugevdamist vajavad kohad märgistatakse. Kiireim viis kandevõime tõstmiseks on geovõrgu kasutamine, mille peale asetatakse 15...20+ cm purustatud jämetäitematerjali. Vaatlusel arvestatakse tee niiskuse ja pinna pehmenemise põhjal geovõrgu kasutamise vajadus olemasoleva tee ja lisatava kihi vahel. Kui

vaatlust eelmisel kevadel tehtud pole, valitakse tugevdamist vajavad kohad vastavalt kogemustele. Tee eelnev tugevdamine toimub nii varakult kevadel, et tee on veel tervenisti jään, et see kehtaks tugevdamisest tekkiva lisakoormamise. Samas, parandamiseks kasutatavad materjalid peavad olema külmakindlad, vastasel juhul sulamisperioodil tekib probleeme läbitavusega parandatud kihis. Väikse eelarve korral parim lahendus on drenaaži parandamine ja selle hoidmine töökorras.

Külmakerkeliste ja kevadeti madala kandevõimega kohtade lõplikuks lahendamiseks viimati esitatud meetodist alati ei piisa ning odava lahenduse kasutamine ei taga tee pikaealisust. Tuleks määrata probleemsete kohtade tekkepõhjused. Probleemide leidmiseks tuleks vaadelda olemasolevat alusmaterjali, tee ja selle ümbruse topograafiat, defektide iseloomu ja tõsidust ning defektide iga-aastast sagedust. Tee kevadise lagunemise mõjutajad on esitatud tabelis 5.5.

Tabel 5.5

Tee kevadise lagunemise mõjutajad

Liikluskoormus	Keskkonnakoormus	Kohapealsed olud
<ul style="list-style-type: none"> • Raskeliikluse hulk; • Tejekoormuse suurus; • Rehvirõhu suurus (madal rehvirõhk tähendab laiemale alale jaotatud koormust); • Koormusmõjutuste vaheline aeg (kui pikk vahe on kahe raskeveoki ülesõidu vahel). 	Ilmastik ja hüdroloogilised tegurid: <ul style="list-style-type: none"> • temperatuur; • põhjavee kõrgus; • sademete hulk; • jääläätsed. 	Drenaaž: <ul style="list-style-type: none"> • topograafia; • drenaaži võimaldavad konstruktsioonid. Teekonstruktsion: <ul style="list-style-type: none"> • paksus, kvaliteet ja kihtide eraldatus. Muldkeha: <ul style="list-style-type: none"> • aluspinnase klass ja selle külmakerkelisus.

Uuringumeetoditeks võivad olla näiteks maaradar (külmumissügavus, kihtide paksused ja paiknemised, deformatsioonid), proovide võtmine (kihtide paksused ja omadused), teega piirnevate alade vaatlus (vete liikumine), kandevõime mõõtmine (FWD), varasemate andmete analüüs, kohalike inimeste intervjuerimine.

5.4 Rekonstrueerimine

Rekonstrueerimise all mõeldakse tee olulist muutmist (viimine uude klassi, põhjalik ümberehitus/muutmine, materjali lisamine üle 15cm). Mõnes mõttes võiks rekonstrueerimist käsitleda kui uue tee ehitamist ning tuleb arvestada projekteerimise osas toodud juhistega. Erinevus on selles, et uusehitise puhul saab alustada nullist, kui rekonstrueerimise puhul on vana ehitise „ees“,

mis tingib teistsuguse lähenemise. Järgnevalt põhjused, miks rekonstrueerimist peaks planeerima ning punktid, millest lähtuda rekonstrueerimisprojekti koostamisel.

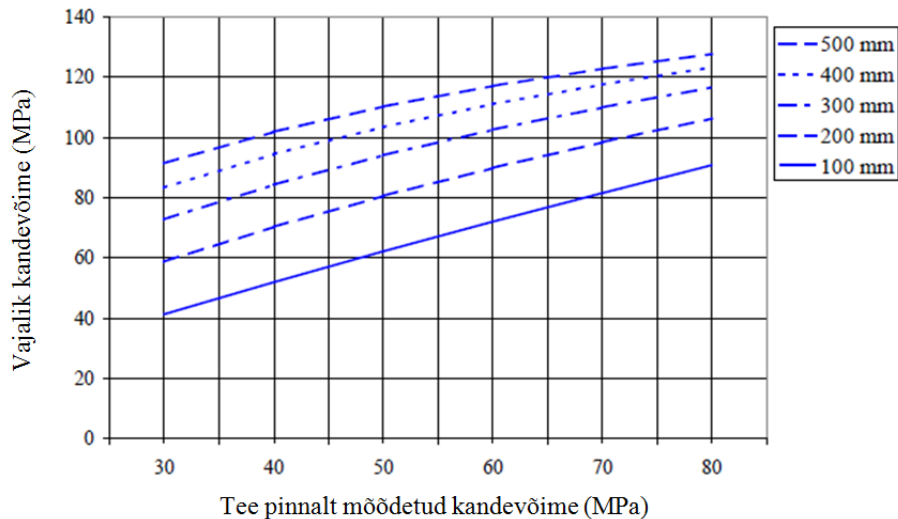
Vajadus rekonstrueerimiseks võib tulla järgmistest põhjustest:

- tee projekteerimine ja/või ehitus on olnud puudulik;
- hooldustöid ei ole tehtud, mistõttu tee on lagunenu;
- teel on sõitnud suuremad koormused, kui arvestatud (nt veomaht on ületanud oluliselt algselt planeeritud) või vedu on toimunud teeklassile ettenähtust valem ajal (nt C-läbitavusklassi teel kevadel);
- planeeritav veomaht nähakse kasvavat nii suureks, et teekonstruktsiooni tuleb tugevdada;
- ehitatakse uut teed halva seisukorraga tee jätkamiseks;
- liiga järsud pöörded/kurvid;
- tee on liiga kitsas ja kalded on liiga suured;
- möödasõidu- ja tagasipöördekohtade puudus või nende aladimensioneeritus;
- liiklusohutuse parandamine.

Rekonstrueerimisprojekti koostamisel tuleks arvestada järgmisi punkte:

- tee kandevõime parandamine veomahule kohaseks;
- teetrassi paiknemine ja vajadus selle muutmiseks;
- muldkeha ja katendi seisukord ning omadused;
- külmakerkelisus ja külmakergetest tekkinud ebatasasused;
- kurvide õgvendamise vajadus;
- möödasõidu-, ümberpööramis- ja ladustamiskohtade parandamine ning lisamine;
- mahasõitude lisavajadus;
- pealispinna kalded;
- truupide hooldus ja uute paigaldamine;
- võsa ja puude eemaldamine;
- tee laiendamine teeklassi tõstmiseks;
- ojade ja kuivendussüsteemide kaevamine ning hooldus.

Kui on vajadus tõsta vaid tee kandevõimet ning aluspinnas seda võimaldab (nt kui tee on ehitatud turbale, siis aluspinnas ei pruugi võimaldada „traditsioonilisi“ parandusmeetmeid, nagu materjalide lisamine või kraavide süvendamine; täpsemalt peatükis 2.2.2), on lihtsaim viis seda teha lisades kattele uut kruusa ning saadavat tulemust hinnata graafiku abil joonisel 5.8.



Joonis 5.8. Kruusakihi lisamisest saadav tulemus. Vajalik on teada tee olemasolevat kandevõimet ja vajalikku kandevõimet. Joonis on koostatud kruusale, mille elastsusmoodul on 150MPa [16]

Kasutades muid viise ja materjale, saab tulemust hinnata kasutades KAP'i (Maanteeameti katendarvutusprogramm, saadaval internetileheküljelt <http://www.mnt.ee/?id=12024>). Arvutus eeldab eelnevaid kandevõimemõõtmise tulemusi.

Kandevõimet saab tõsta veel enam lisades katendisse geovõrgu (mehaaniline stabiliseerimine; selgitus peatükis 2.2.3) või tehes keemilist stabiliseerimist bituumeni ja/või tsemendiga või põlevkivituhaga. Mõlema meetodi puhul tuleks konsulteerida vastava ala spetsialistiga.

Teede rekonstrueerimisi, või ka lihtsamaid hooldustöid planeeritakse vastavalt tee olemasolevale ja ennustatavale seisukorrale. Teede pikaajalise tagamine nõuab planeerimist. Iga-aastased hooldusplaanid hõlbustavad ka ressursside jaotamist. Alljärgnevalt soovitusel, kuidas teha teede monitooringut, mille alusel planeerida perioodilist hooldust ja rekonstrueerimist.

Hinnates olemasoleva tee seisukorda, tuleks vaadelda järgmisi defekte. **Peamine probleem, mis tavaliselt viib tee lagunemiseni, on seotud „mittesoovitava“ vee olemasoluga teel/tees** (seega on enamasti selle kõrvaldamine ka esmaseid tegevusi tee seisukorra parandamiseks):

- Halb drenaaž, kraavid. Suures osas halvad tingimused ja teede lagunemised on seotud veega. Korralik drenaaž on võtmeteguriks teehoolde juures hoidmaks teed heas korras. Kraavid peavad töötama korralikult ja kui võimalik, siis olema ilma seisva veeta. Kui kraavides kasvavad niiskuslembesed taimed, siis see on märk seisvast veest. Kraavid tuleb

hoida puhtana võsast regulaarsete puhastamiste käigus. Kraavid peavad olema piisavalt sügavad hoidmaks vett eemal teekonstruktsiooni aktiivtsoonist (maanteede puhul loetakse aktiivtsooniks katendi paksus + 0,5m, maksimaalselt 1,5m. Metsateede puhul võiks aktiivtsooniks lugeda katendi paksus + 0,5m; geovõrkude kasutamise puhul vaid katend, kui on arvestatud sellega, et tee võib olla üleniiskunud muldkehal).

- Taimestik. Teeäärtes (peenardel) kasvav taimestik tekitab aja jooksul probleeme teel seisva veega. Taimestik tuleks teeäärtest eemaldada kas greideriga või kasutades taimemürke lastes vetel voolata vabalt kraavidesse (kui see on keskkonnavalaselt aktsepteeritav).
- Nähtavad kivid ja rahnud. Kivid ja rahnud võivad tõusta tee pinda külmakerke tagajärjel. Sellest tulenevat ebatasasust on võimalik parandada lisades juurde kruusa või kaevates kivid/rahnud välja.
- Löökaugud. Löökaugud põhjustavad ebamugavat sõitu ja ebaefektiivset transporti. Löökaugude tekkepõhjused on kas vale terakoostisega kattmaterjal või mittepiisav põikkalle. Probleem lahendatakse parema põikkalde andmisega ja/või uue kattmaterjali lisamisega olemasolevasse kattesegamisega greideriga.
- Roopad. Roobaste tekkeks võib olla mitmeid erinevaid põhjuseid, nagu madal kandevõime, suur niiskuse hulk teekonstruktsioonis, liiga paks kulumiskiht, halb tihendus või halvasti täitematerjalid. Roobaste tekkepõhjuseid on selgitatud peatükis 5.3.1.
- Külmakerkehajustused. Probleem olukordades, kus on halb drenaaž ja on kasutatud tolmsid ja savikaid materjale. Külmakerge põhjustab kattes pragusid, roopaid, deformatsioone ja lokaalseid külmakerkehajustusi peamiselt kevadel. Probleemi saab parandada drenaažiga ja uue materjali lisamisega.
- Katte pehmenemine. Katte pehmenemine tekib tavaliselt kevadel ja sügisel liigniiskuse tõttu. Põhjused võivad olla liigsuur peenosiste hulk, halb drenaaž või mittepiisav põikkalle.
- Teekattel olev seisv vesi. Probleemiks võivad olla ummistunud kraavid, mittepiisav põikkalle, roopad, mäts tee ääres.
- Teekattele kantud huumuskiht. Teekattel olev huumuskiht võib olla kantud läbi masinate rehvide või on tekkinud läbi kõdunenud orgaanika. Huumuskiht tekitab teekatte pinna „ligasust“ ning hoiab kattel liigset vett, mis põhjustab kandevõime langust ja tee pinna lagunemist. Huumuskiht eemaldatakse greiderdamisega.
- Truupide defektid. Truubid peavad vähemalt 75% ulatuses olema vabad võõrkehast. Truubid puhastatakse kas survepesuga või mõne muu sobiva meetodiga.

- Kulumiskihi paksus. Õhuke, ära kulunud või vale terastikulise koostisega kiht mõjutab sõidumugavust ning põhjustab sidusa materjali puudumisel tee kiiret lagunemist (nt aukude teket). Liiga paksul (enam kui 12cm) kulumiskihil ei ole piisavat nihkekindlust; suur peenosiste hulk põhjustab katte vettimist ja seeläbi roobaste teket.
- Põikkalle mõõdetakse 2m loodiga ja kohtadest, kus esineb seisvat vett.
- Tasasus mõõdetuna kiirendusanduriga (nt teatud nutitelefonidel on olemas andur ja vajalik rakendus saadaval). Andur annab tasasusest mõõdetava tulemuse, mida saab teede seisukorra määramisel kasutada.

5.4.1 Roobaste liigid

On olemas nelja liiki roopaid vastavalt nende tekkepõhjustele. Roobaste selline liigitamine on vajalik otsustamiseks, missugust remondimeetodit kasutatakse.

- roopa tüüp 0 – tekib materjalide järeltihenemisest ja täielikult vältida on seda pea võimatu. Küll saab piirata roopa ulatust tihendades materjalid vajalikule tasemele või jättes tee peale valmimist ilma liikluskoormuseta aastaks seisma. Järeltihenemisest tekkiva roopa kasv ajas pidurdub, kui materjalid tihenevad ja muutuvad jäigemaks. Selletüübiline roobas ilmneb väikese vajumina tee pinnal. Roobas võib tekkida ka külmakerke tagajärjel. Nimelt külmudes vesi materjali poorides paisub liigutades materjaliosakesed paigast. Jää sulades jääb materjal kohevamasse olukorda, kui ta oli enne jäätumist.
- roopa tüüp 1 – toimub katendi ülaosas nihkepingete tõttu, aluspinnas jääb muutumatuks. Sõidujälje mõlemale poole tekivad tee tasapinnaga võrreldes kõrgemad kühmud. Põhjuseks on katendis kasutatud materjali ebapiisav nihkekindlus. Vältimaks sellist olukorda, on esimese ja teise järgu teede puhul nõutud purustatud teradega ja suurema terakoostisega materjalide kasutamine (mõlemad tegurid tõstavad materjali nihkekindlust). Antud roopa teket on võimalik vältida või roobast parandada lisades katendisse juurde skeletti (purustatud jämedateralist materjali) või stabiliseerides materjali kas sideainetega või paigaldades katendi ülaossa geovõrku;
- roopa tüüp 2 – aluspinnas vajub ning kogu katend vajub kaasa. Tee pinda moodustub lai roobas ja sõidujäljest veidi eemal tee pind tõuseb (kuna muldes kasutatud materjal on nihkunud külgedele). Põhjuseks on metsatee konstruktsiooni tugevusele mitte vastav koormus, ehk tee mõistes liigkoormus. Parandusmetodiks on katendi jäikuse/tugevuse tõstmine lisades uut materjali ehk kasvatades katendi paksust, kasutades geovõrke või stabiliseerimist.

- roopa tüüp 3 – kulumisroobas, teravad ja kitsad jäljed. Parandusmeetodiks tee hõõveldamine, vajadusel kulumiskihi materjali lisamine.

Teel nähtav roobas võib olla mitme teguri ühismõju. Parimaks parandusmetoodika valikuks tuleks leida siiski peamine süü ja keskenduda selle parandamisele. Nt parandades roopa tüüpi 1 sama materjali lisamisega ei kõrvalda probleeme, kuna lisatud materjalil ei ole samuti piisavat nihkekindlust. Seega kulutatud ressurss on tarbetu. [32]

5.5 Turbale ehitatud teede korrashoid

Turbale ehitatud tee korrashoid võrreldes muude teedega on muidu sama, kuid ühe suure erinevusega. Teed ehitades jälgiti täpselt vajumisi ning arvestati nendega. Tee seistes tekkis aluse ja mulde vahel tasakaaluseisund, kui pooriveerõhk hajus ja konsolidatsiooni tagajärjel saavutas turvas vajaliku tugevuse. See tasakaaluseisund on tee pikaajalisele vastupidavusele väga oluline. Kui miski mõjutab tekkinud tasakaaluseisundit, võib see tekitada uue konsolidatsiooni ning läbi selle lisavajumeid.

Tasakaaluseisundit mõjutab uue materjali lisamine kattele (üle 15cm), tee laiendamine, kraavide kaevamine või süvendamine.

Põhjavee pinna alandamisel, näiteks kaevates uue oja, võib olla sama mõju, kui lisades muldele uut kaalu. Kui turba peale ehitatud tee all alandatakse põhjavee pinda, hüdrostaatiline üleslükkejõud teele väheneb ja kuivanud materjali massist tulenevad efektiivpinged kasvavad. Seetõttu all asuvale turbale tuleb suurem koormus ning algavad uuesti konsolidatsioon ja vajumid. Seega turbale ehitatud teede puhul on soovituslik, et ei muudetaks püsivat hüdroloogiat (selgitus peatükis 2.2.2 ja joonisel 2.6).

Siin peitub ka põhjus, mis peab arvestama lisaks esmasele konsolidatsioonile ka teise astme tihenemisega, mille tulemusena võib tee aja jooksul vajuda rohkem, kui soovitud (nt madalate mullete puhul „upub“ tee turbasse). Lahenduseks sellele ongi kohe alguses kõrgete mullete ehitamine või kergmaterjalide kasutamine. Hilisem lahendus tee pinna tõstmiseks (või ebaühtlaste vajumite parandamine) ilma lisakonsolidatsiooni tekitamist on materjalivahetus kergmaterjalide vastu.

Lisa – Geosünteeetika olemus

6. GEOSÜNTEEDID

Madala liikluskoormusega ja/või ajutised teed ehitatakse tihti nõrga kandevõimega pinnastele. Võimaldamaks liiklusvahenditel sellel liikuda, tuleb hajutada nende koormus tasemele, mida alus suudab kanda (millest tuleneb ka katendi mõiste: „Katend on mitmekihiline konstruktsioon, mis võtab vastu transpordivahendite koormuse ja jaotab selle pinnasele“). Selleks kasutatakse jämedateralisemaid (tugevamaid) materjale, millel peavad olema head mehhaanilised omadused ja kihil piisavalt tusedust.

Probleem tekib üleminekutsoonis (kus jämedateraline materjal lõppeb ja algab pehme pinnas). Jämedateraline materjal tungib pehmemasse pinnasesse, samuti ei toeta all olev materjal pealmise kihi osiseid piisavalt. Seetõttu ei tööta jämedateralisest materjalist ehitatud kiht ühtlaselt, vaid kaotab oma kandevõimes. Koormuse tagajärjel materjali osised nihkuvad halva külgtõttu, tagajärjeks tekkivad roopad.

Lahendamaks probleemi, kasutatakse katendite tugevdamiseks geovõrke või kootud geotekstiile, mis annavad jämedateralisemale materjalile lisakülgtuge läbi geosünteedi tõmbetugevuse ja väikese venivuse. Soovituslikult peaks armeerivat geosünteedi kasutama, kui aluspinnase elastsusmoodul on alla 30MPa.

Tavalistel teedel kasutatavatel täitematerjalidel on head survetugevusomadused, kuid ei suuda võtta vastu tõmbetugevusi. Armeerivad geosünteedid on see-eest välja töötatud võtma vastu tõmbepingeid. Tõmbepinged geosünteedis pehme alusega teedel tekivad dünaamilise koormuse ja vajumiste tõttu. Selliste protsesside tõttu hakkab toimuma geosünteedi ja jämedateralise materjali vahel vastastikune mõju, mille tulemusel tekib geosünteedis tõmbepinge ning koormus jaotub suuremale alale.

Aja jooksul tekitab dünaamiline liikluskoormus nähtuse, kus aluspinnasest pärinev peenosis tungib teda katva kihi terade vahele halvendades selle omadusi, samaaegselt toimub ka vastupidine, pealne kiht vajub alumise sisse tekitades tulemuseks teel püsivaid deformatsioone (ebaühtlased vajumised, pikiroopad). Lahendamaks antud probleemi, kasutatakse geotekstiile, mis toimivad eraldajate ja filtreerijatena.

Mulle ehitamisel nõrkadele pinnastele (nt turvas) on vaja tagada konstruktsiooni stabiilsus, teemat käsitleb lähemalt peatükk 2.2.8. Kuna peamine geosünteeetika kasutamine metsateede ehituses puudutab katendeid, siis antud peatükis selgitatakse valdkonda pigem selles võtmes.

6.1 Geosünteeetide olemus

Metsateedel kasutatavateks geosünteeetideks (mõiste vastavalt standardile „EVS-EN ISO 10318:2007 GEOSÜNTEEDID. Terminid ja määratlused“ on: „Üldnimetus toote kirjeldamiseks, mille vähemalt üks lehe-, riba- või kolmemõõtmelise tarindi kujuline koostisosa on valmistatud sünteetilisest või looduslikust polümeerist, ning mida kasutatakse kokkupuutes pinnase ja/või muude materjalidega geotehnilistel ja üldehituslikel rakendustel“) võivad olla geotekstiilid, geovõrgud, geokärjed ja erosioonitõkkematerjalid (viimaseid käsitletakse peatükis 3.4):

- Geotekstiilid (mõiste: „Vedelikke läbi laskev tasapinnaline (sünteetilisest või looduslikust) polümeerist tekstiilmaterjal, mis võib olla mittekoatud, punutud või koatud mida kasutatakse kokkupuutes pinnase ja/või muude materjalidega geotehnilistel ja üldehituslikel rakendustel“), mis jagunevad:
 - koatud (sh silmuskootud) geotekstiilid;
 - mittekoatud:
 - mittekoatud kuumtöödeldud;
 - mittekoatud nõeltöödeldud.
- Geovõrgud (mõiste: „Omavahel pressimise, sidumise või põimimise teel ühendatud tõmbelementidest koosnev lahtiste silmadega tasapinnaline võrk, mille avad on suuremad, kui võrgu koostisosad“), mis jagunevad jagunevad suures laastus:
 - koatud (sh silmuskootud) geovõrgud – geovõrgu ribad on omavahel ühendatud kudumise (sh silmuskudumine) teel;
 - keevitatud geovõrgud – geovõrgu ribad on omavahel ühendatud keevitamise teel;
 - monoliitsed (või ekstruuderdatud) geovõrgud – geovõrgud, mille ribide ühendused on monoliitsed.
- Geokärjed (mõiste: „Omavahel ühendatud (sünteetilistest või looduslikest) geosünteeediribadest valmistatud kärjekujuline vedelikku läbi laskev kolmemõõtmeline õõnestarind“), mis võivad olla valmistatud mittekoatud geotekstiilist, geovõrgust või georibadest.

Loetletud geosünteeetide valmistusmaterjalideks on (tähestikulises järjekorras):

- aramiid (AR);

- polüamiid (PA);
- polüester (PET);
- polüolefiinid:
 - polüetüleen (PE, PEHD);
 - polüpropüleen (PP);
- polüvinüülalkohol (PVA).

Geosünteedide valmistusmaterjalidel, -meetoditel ja struktuuril on võtmetähtsus toodete omadustele.

6.2 Geosünteedide omadused ja valiku põhimõtted

Tulenevalt aluse kandevõimest leitakse geosünteedi peamine ülesanne katendis (kas eraldamine või armeerimine, on esitatud tabelis 3.7), sellest lähtuvalt geosünteedi liik, ning millest tulenevalt geosünteedi vajalikud omadused ja esitatavad nõudmised. Vaata lisainfot ka peatükist 2.2.8.

Iga geosünteede sisaldava projekti õnnestumiseks on kolm eeldust, mis peavad kõik olema täidetud:

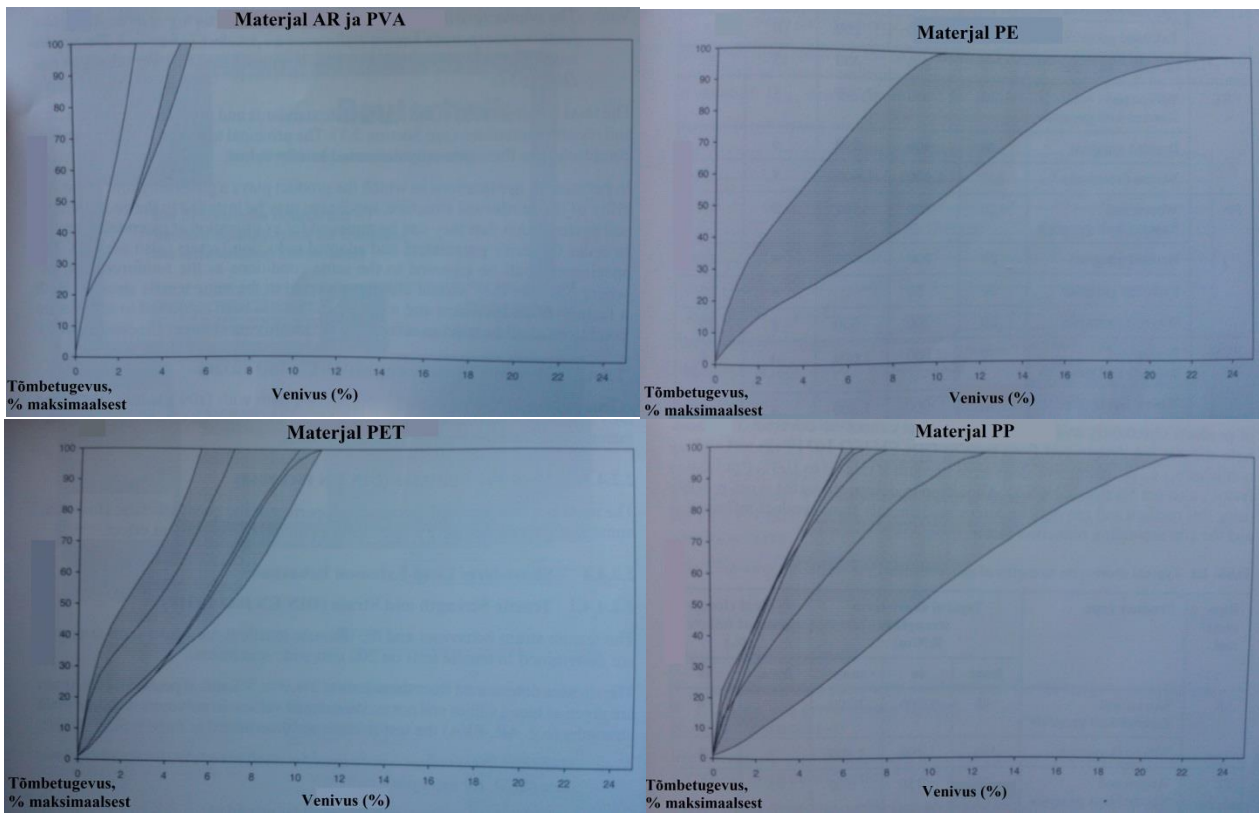
- kvaliteetne projekt;
- korralik ehitamine;
- kvaliteetsed materjalid (geosünteedid, mis vastavad nõuetele).

Toodete kvaliteeti ja vastavust nõuetele kontrollitakse testidega.

6.2.1 Geosünteedide kvaliteedikontroll ja omadused - üldine

- Geosünteedid peavad olema selgelt märgistatud EVS-EN ISO 10320 kohaselt ja omama CE-märgistust. Pikemalt CE-temaatikat selgitamata, antakse vastavustunnistus materjalidele, mis vastavad Euroopa Liidu vastavatele tootele kohaldatavate direktiivide nõuetele (harmoniseeritud tootestandardid) või millel on olemas ETA (European Technical Approvals) sertifikaat. Standardites või tootele ETA poolt väljastatud dokumendis on kirjeldatud testmetoodikat, mille kohaselt tuleb CE vastavustunnistust taotlevat toodet testida. Iga toode peab kandma tootja nime ja toote tähistust.
- Mahukaal EVS-EN ISO 9864. Mahukaal mõjutab geosünteedide omadusi, kuid selle numbrilised väärtused ei oma otsest seost armeerimise funktsioonile. Mahukaalu väärtusi kasutatakse eraldava geotekstiili valikul (peamiselt GRK süsteemis).
- Tõmbetugevus ja venivus EVS-EN ISO 10319. Geosünteedide maksimaalsed tõmbetugevused (lühiajaline tõmbetugevus) ja venivusnäitajad määratakse 200mm laiuse proovikehaga. Testi tulemusel näidatakse ka tõmbetugevused venivusprotsentide 1, 2, 3, 5 ja kui võimalik, 10% juures (madala venivusega polümeeride nagu AR ja PVA ei ole viimane

võimalik). Tulemused esitatakse graafikutel (joonis 6.1). Mõningaid tüüpilisi näiteid toodete tõmbetugevus-venivusnäitajatest leiab tabelist 6.1.



Joonis 6.1. Erinevate materjalide venivusnäitajad. Joonistel on vahemikud, kuhu samast materjalist erinevad tooted on testide tulemusel paigutunud [23]

Tabel 6.1

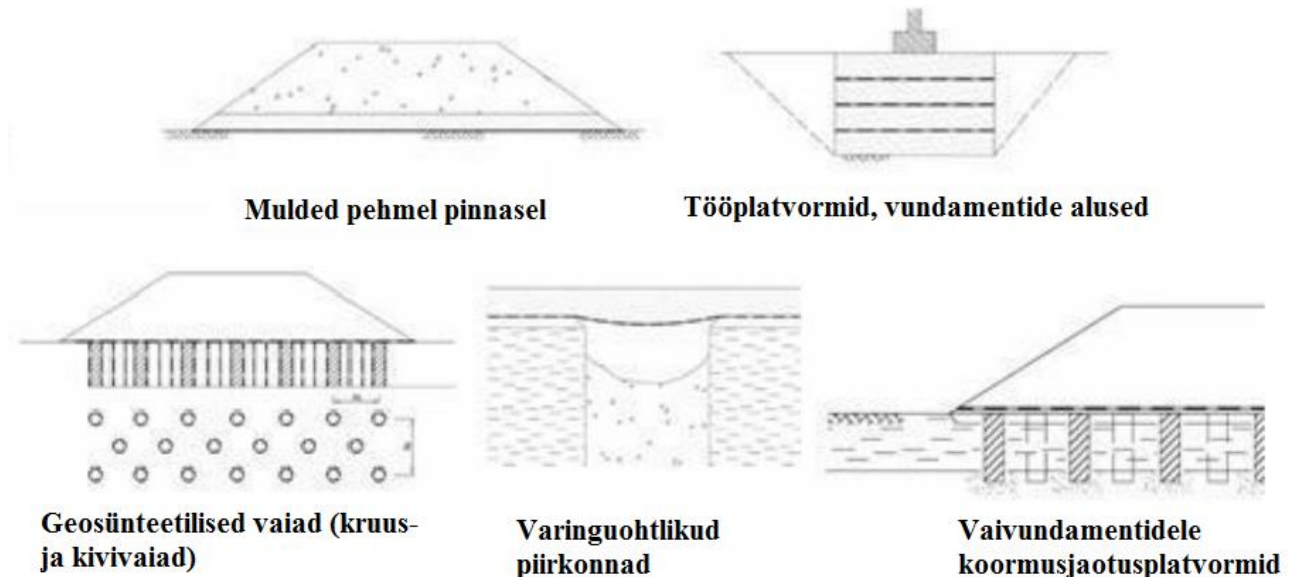
Tüüpilised geosünteedide lühiajalised tugevusnäitajad [23]

Valmistusmaterjal	Toote tüüp	Tüüpilised lühiajalised tõmbetugevused (kN/m)			Tüüpilised maksimaalsed venivusnäitajad	
		Alates	Kuni	Maksimaalne	Alates	Kuni
AR	Kootud geovõrgud	40	1200	2200	2	4
	Kootud geotekstiilid	100	1400	2400	2	4
PE	Kootud geovõrgud	20	150	300	15	20
	Ekstruuderdatud geovõrgud	40	150	200	10	15
	Kootud geotekstiilid	30	200	400	15	20
PET	Kootud geovõrgud	20	800	1600	8	15
	Keevitatud geovõrgud	20	400	500	6	10
	Kootud geotekstiilid	100	1000	1600	8	15
PP	Kootud geovõrgud	20	200	500	8	15
	Keevitatud geovõrgud	20	200	400	8	15
	Ekstruuderdatud geovõrgud	20	50	-	8	20
	Kootud geotekstiilid	20	200	600	8	20
PVA	Kootud geovõrgud	30	1000	1600	4	5
	Kootud geotekstiilid	30	900	1800	4	5

Geosünteedide valdkond areneb pidevalt edasi ning turult võib leida tooteid, mille tõmbetugevus- ja venivusnäitajad lähevad tabelis toodud väärtustest välja.

6.2.2 Geosünteedide kvaliteedikontroll ja omadused – mullete armeerimine

Mullete armeerimise all on mõeldud geotehnilist projekteerimist ehk joonisel 6.2 kujutatud olukordi.



Joonis 6.2 Geotehniline projekteerimine kasutades geosünteeite [23]

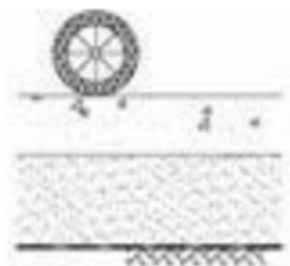
Lisaks peatükis 6.2.1 kirjeldatule ning täienduseks peatükile 2.2.8.1:

- geosünteedi moodul (tähisteks J ja ühik kN/m), mis tuletatakse tõmbetugevustestist läbi tõmbetugevusvahemiku ja samaaegse venivuse. Iseloomustab geosünteedi tugevust läbi venivuse;
- roome – üks olulisemaid tegureid, millega arvestada juhul, kui geosünteedi eluiga peab olema sama, kui konstruktsiooni eluiga ehk rajatis toetub kogu eluea jooksul geosünteedilt tulenevale tugevuse suurenemisele. Testitakse standardi EVS-EN ISO 13431 kohaselt. Roomekatse tulemustega vähendatakse arvutustes geosünteedi maksimaalset (lühiajalist) tõmbetugevust, ehk roomenäitajad on üheks varuteguriks;
- muud varutegurid, millega vähendatakse geosünteedi maksimaalset (lühiajalist) tõmbetugevust. Arvestatakse paigaldusaegsete potentsiaalsete vigastustega, mis sõltub kasutatavatest täitematerjalidest, objekti pH-ga, keemilise ja mikrobioloogilise olukorraga ning teatud olukordades ka temperatuuriga (kui on oht, et temperatuur tõuseb muldes normaalsest kõrgemaks).

Nimetatud omadustega arvestamine sõltub geosünteedi rollist konstruktsioonis – kas see on lühiajaline või konstruktsiooni kogu elua pikkune.

6.2.3 Geosünteedide kvaliteedikontroll ja omadused – katendite armeerimine

Katendite armeerimise all on mõeldud joonisel 6.3 ja teisi selles alapeatükis illustatsioonidega kujutatud olukordi.



Joonis 6.3 [23]

Armeerimise puhul geosünteedi ülesanne on kompenseerida pinnase puudujääke tugevuses; tekib komposiit, mille eesmärk on anda konstruktsioonile nii surve- kui tõmbetugevus (sideainega sidumata ehitusmaterjalidel tõmbetugevus praktiliselt puudub). Katendite armeerimine võidakse jagada kahte ossa – lukustus- ja membraanefekt.

Tähtsamad armeeriva geosünteedi tugevusomadused on **tõmbetugevus- ja venivusnäitajad** (EVS-EN ISO 10319) ning **geosünteedi kontakt** ümbritseva pinnasega, mis sõltub mitmetest erinevatest teguritest. Lisada võiks veel vastupidavuse erinevatele keskkonnateguritele, mida käsitleb peatükk 6.6.2.

Geosünteedide arvutamine armeerimiseks kasutatakse kolme viisi:

- tootja teeb katsetused ja annab graafikud igale tootele eraldi vastavalt aluspinnase tugevusele ja liikluskoormuse iseloomule. Leitakse, palju täitematerjali on vaja paigutada geosünteedi peale saavutamaks teatud tugevust või tee eluiga (määratakse vastavalt tekkiva roopa sügavusele) ehk empiiriline meetod;
- analüütiline meetod, mille puhul kasutatakse teoreetilisi valemeid;
- empiirilise-analüütiline meetod, milles on kombineeritud kaks eelnevat.

Mõisted, mis seonduvad armeerimisega, on **membraanefekt, hõõre, ankurdus ja lukustus**. Katendite armeerimiseks sobivad geosünteedid, millel on hea haakuvus ümbritseva materjaliga ning head tõmbetugevus-venivusnäitajad (tõmbetugevus madalate venivusnäitajate juures, tavaliselt

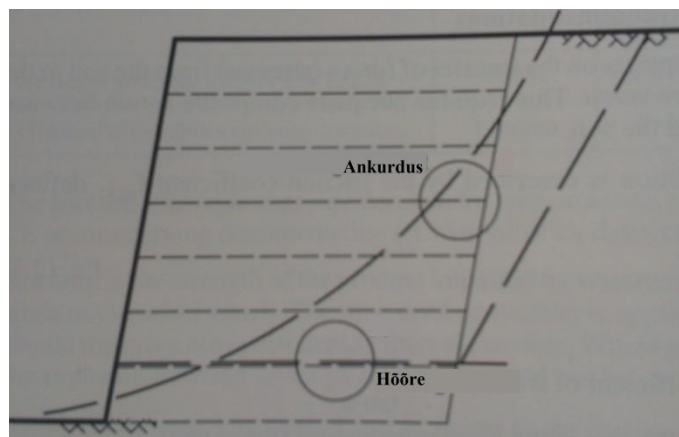
näidatakse tõmbetugevuse väärtused venivusprotsentide 2 ja 5 juures, mõningatel juhtudel, olenevalt tootjast, võidakse kasutada ka erisuguseid väärtusi).

Sobivad geosünteedid armeerimiseks on kootud geotekstiilid (millel on sobilikud tõmbetugevus- ja venivusnäitajad), geovõrgud ja geokärjed:

- hõõdrele ja membraanefektile töötavad kootud geotekstiilid;
- geovõrgud töötavad lukustusele, vähesel määral hõõrdele ja hiljem ka membraanefektile;
- geokärjed töötavad lukustusele.

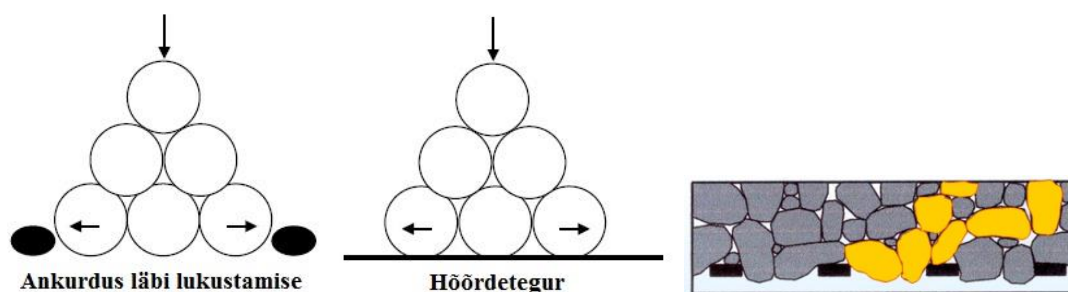
Armeerimismehanismide selgitused:

- membraanefekt – hakkab toimima, kui geosünteedile, mis on paigutatud nõrgale alusele, mõjub vertikaalne jõud. Alus koos geosünteedi ja pealmise materjaliga vajub (tekib roobas) piirini, mil geosünteed on saavutanud piisava tõmbetugevuse ja suudab suunata osa tekkivast koormusest enda tasapinda. Efekti tekkeks on vaja tavaliselt aluses üle 100mm vajumit, kuna geosünteed peab olema saavutanud teatud pingelukorra. Tavaliselt tekib vajalik vajum aluses juba ehitamise ajal ehitusmasinate sõiduga teel, seega geosünteedi kasulik toime rakendub enne tee valmimist ning tee pealispind vajub pärast tee lõplikku valmimist oluliselt vähem.
- hõõre – seda illustreerib tavaline nihketugevuse test, kus määratakse jõud, mida on vaja rakendada nihutamaks pinnast mingil tasapinnal (nii määratakse ka mineraalmaterjalide sisehõõrdenurk ja nidusus). „Pinnase nihketugevus on vastupanu ühe pinnasemassiivi osa nihkumisele teise suhtes. Pingete suurenedes massiivis teatava piirini tugevusvaru ammendub ja algab püsiva kiirusega nihkumine.“ [Valdo Jaaniso]
- ankurdus – sarnane hõõrdetegurile, kuid nüüd pinnas, mis hõõrdub mõlemal geotekstiili poolel, üritab seda konstruktsioonist välja tirida. Kirjeldades seda laboratoorse näite põhjal, siis on tegemist jõuga, mida oleks vaja rakendada tõmbamiseks geosünteedi välja kahe liikumata pinnase vahelt. Omadus kirjeldab peamiselt juhtu, kui geosünteed peab vastu nõlva armeerimisel, kuid näitab kaudsest ka seda, kui efektiivselt toimib geosünteed autoteede alustes vähendades liikluskoormusest tekkivaid nihkepingeid. Joonis 6.2 selgitab hõõrdetegurit ja ankurdust nõlva armeerimise näitel.

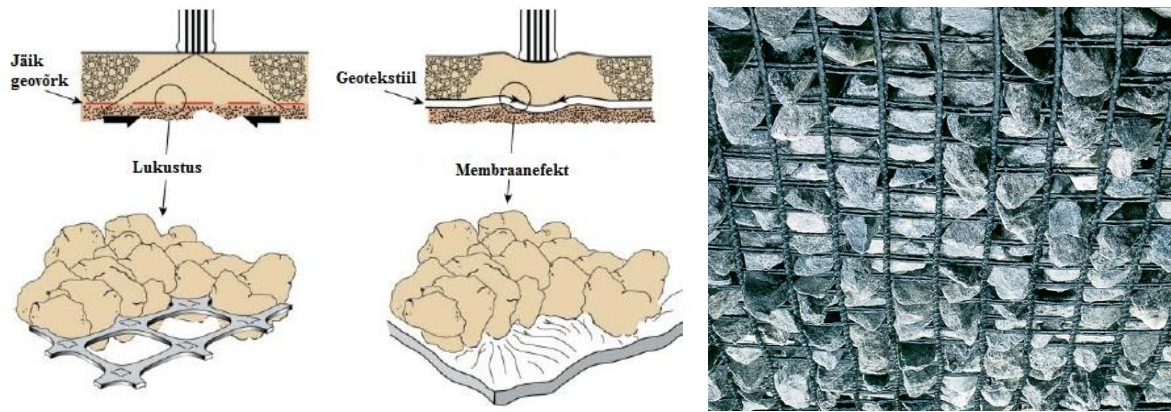


Joonis 6.4. Ankurduse ja hõõrde mõistete illustratiivne selgitus nõlva armeerimise näitel [23]

- lukustus – materjaliosakesed geovõrgu peal „lukustuvad“ võrgu avadesse (joonised 6.5...6.8); eelduseks on killustiku terasuurusele sobiva suurusega ava. Ideaalse lukustusefekti tekkeks ümarad kruusaterad ja suured kivid ei sobi. Seega tuleks kasutada vahetult geovõrgu peal purustatud teradega killustikku, mis lukustuks korralikult võrguavadesse. Efekt seisneb selles, et võrk läbi tõmbetugevuse ei lase oma avasse lukustunud killustikutera liikuma vaid haagib materjali enda külge. Seetõttu suureneb üleminekutsoonis tugevamast materjalist nõrgema poole kihi jäikus.



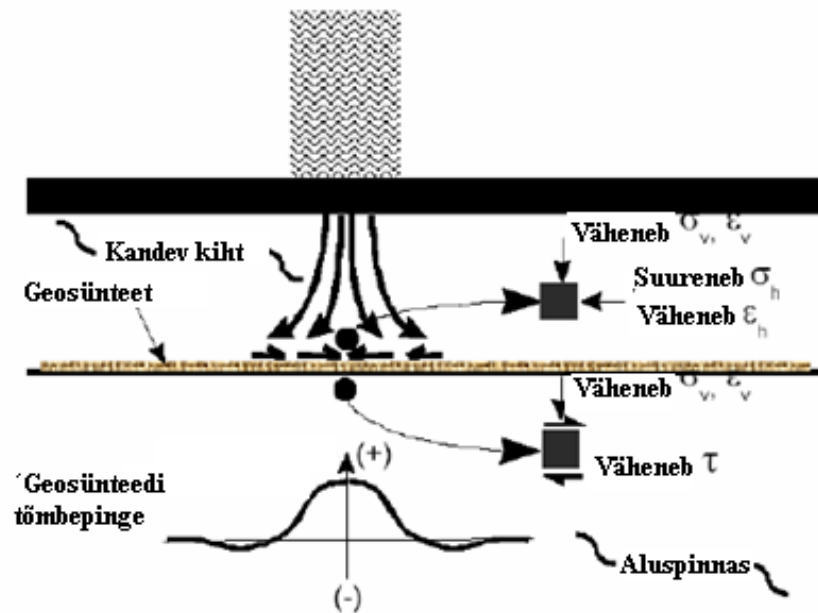
Joonised 6.5 [29] ja 6.6 [4]. Geovõrkude avadesse kinnitub materjal paremini kui ta kinnituks vaid hõõrdumise teel geosünteedi peal



Joonised 6.7 [22] ja 6.8 [7]. Materjali lukustumine geovõrgu avadesse võrreldes geotekstiili tekitatava membraanefektiga

Läbi nimetatud armeerimismehanismide, toimib armeeriv geosüntees teekonstruktsioonis järgmiselt [30]:

- vähendab enda all olevates materjalides nihkepingeid (joonis 6.9) tõstes kaudselt kandevõimet (seda ei saa otseselt kandevõimemõõteseadmega mõõta) ja suurendades kogu konstruktsiooni vastupidavust koormusele;
- takistab nihete tekkimist geosünteedi peal olevas materjalis (nt takistab killustikul „vajuda laiali“). Geosünteedi efektiivsus sõltub sellest, mis määral suudab ta materjali „enda küljes kinni hoida“ ehk geosünteedi kontaktist ümbritseva pinnasega;
- takistab erinevate materjalide omavahelise segunemise tulemusel nende omaduste muutumist halvemaks (näiteks killustikuterad ei vaju üksikult dreniiva).



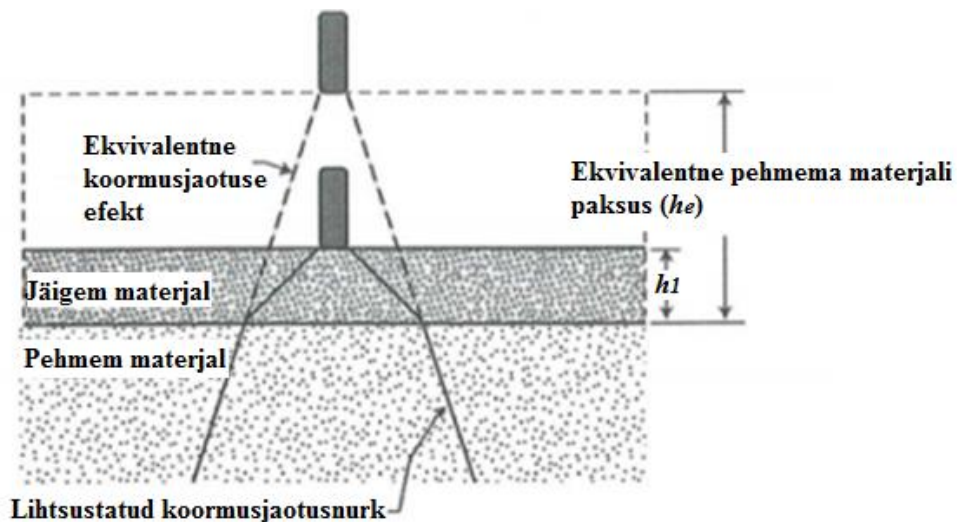
Joonis 6.9 demonstreerib geovõrgust tulenevat kasu töötamist [30]. Kasutades geosünteeti, pinged ja deformatsioonid konstruktsioonis vähenevad, seevastu geosünteedi vahetus ümbruses pinged suureneb. Järeldus sellest on, et geosünteet koondab pinged endasse ja enda vahetusse lähedusse.

Sümbolid joonisel 6.9 on järgmised:

- σ_v ja σ_h – vastavalt pinged vertikaal- ja horisontaalkomponendid;
- ε_v ja ε_h – vastavalt vertikaal- ja horisontaalsuunaline deformatsioon;
- τ – nihkepinge pinnases.

Geovõrgud ja lukustusefekt

Kasutades geovõrke ning tingimused selle efektiivseks tööks on tagatud (s.t sobiva terasuurusega materjal), moodustub materjali ja geovõrgu koostöös *mehaaniliselt stabiliseeritud kiht*. Tulemuseks suurenenud jäikus, mis aitab jaotada koormusi suuremale alale, kui ilma geovõrkudeta konstruktsioonis. Tulemuseks on võimalik vähendada kihipaksusi või lubada teele rohkem koormust (joonis 6.10).

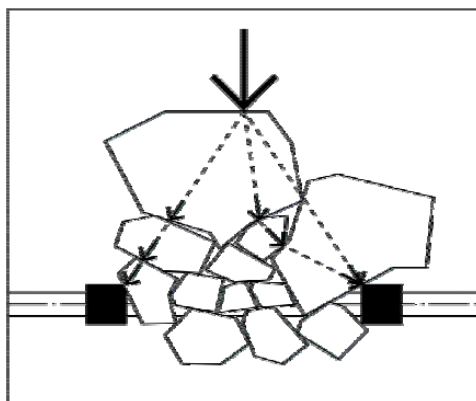


Joonis 6.10. Geovõrkude lukustusefekt aitab tekitada jäigemat kihti, mistõttu sama kandevõime juures saab vähendada kihipaksusi või võimaldada rohkemate normtelgede ülesõitu [15]

Geovõrguga stabiliseeritud „ujuv“ tee ei elimineeri vajumeid tingituna nt turba kokkusurutavusest, kuid geovõrk aitab vähendada ebahühtlaseid vajumisi ja külgsuunalisi nihkumisi.

Võtmeteguriks saamaks lukustusefekti on õige geovõrgu avasuurus kasutatava materjali terasuuruse suhtes. Geovõrk peab võimaldama täitematerjali teradel minna läbi avade (joonis 6.11). Parima tulemuse saab siis, kui materjali terakoostis on sarnane geovõrgu ava suurusega (nt geovõrgu ava suuruse 35x35mm puhul sobib hästi materjal maksimaalse terasuurusega 64mm). Lihtsa reegli kohaselt geovõrgu ava surus valitakse vastavalt täitematerjali maksimaalse terasuuruse järgi [9].

Kui sobiva terasuurusega materjali ei ole, nt geovõrgu ava suurusega 35x35mm peale on ette nähtud paigaldada aheraine fraktsiooniga 0/100, töötab geovõrk membraanefektil. Parema tulemuse saavutamiseks võiks leida suurema avaga geovõrgu või kasutada tehnoloogilist kihti geovõrgu peal.



Joonis 6.11. Lukustuse põhimõte. Materjali terasuurus peab olema vastavuses geovõrgu ava suurusega ja vastupidi [15]

Stabiliseeriv efekt täitematerjali ja geovõrgu vahel hajub umbes 350mm kaugusel võrgust. Seda tuleb arvestada seoses peatükis 2.2.8 mainitud võimalusega mitmekihilisest armeerimisest kasutades mehaaniliselt stabiliseeritud kihi konseptsiooni. Seega, tuleks geovõrk koos lukustumiseks sobiva täitematerjaliga paigaldada iga 350...400mm tagant.

Membraanefekt

Säilitamaks membraanefektile töötava armeeriva geosünteedi positsiooni ja kindlustamaks selle tööd projekteeritud eluea jooksul, tuleb see äärtest ankurdada vältimaks olukorda, kus tõmbepinged tõmbavad geosünteedi äärtest liikuma (ehk toimub ankurdus). Joonistel 6.12 ja 6.13 on kujutatud selleks erinevaid võimalusi (ankurduspikkus peaks olema vahemikus 1,0...1,5m) [25].



Joonised 6.12 [20] ja 6.13 [11]. Membraanefektile töötavad armeerivad geosünteedid tuleb äärtest ankurdada

AASHTO, 2000 sätestab Põhja-Ameerikas seose aluse CBRi ja minimaalse geotekstiili ülekate vahel, kuid põhimõtte kehtib ka meil [25]. Nõuded näidatud tabelis 6.2.

Tabel 6.2

Geotekstiili ülekate ja aluse tugevuse vaheline seos [25]

Pinnase CBR	Minimaalne ülekate
Suurem kui 3 (üle 14MPa)	300...450mm
1...3 (6...14MPa)	0,6...1m
0,5...1 (3...6MPa)	Ülekate asemel on soovitatav geotekstiil ühendada õmmeldes

Ka nn lukustav geosüntees ehk lukustusefektile töötama arvestatud geovõrk võib tegelikkuses konstruktsioonis töötada membraanefektile. Seda juhul, kui ei ole head kokkupuudet geovõrgu ja täitematerjali vahel ehk materjaliosakesed ei tunni geovõrgu avadesse joonistel 6.2 ja 6.8 kujutatud viisidel. Ka lukustusele töötav geovõrk võib hiljem töötada membraanefektile ja seda olukorras, kui teel on sõitnud rohkem normtelgi kui arvestatud ning roopa suurus on kasvanud.

6.2.3.1 Armeerivate geosünteeside omadustest

Tähtsamad omadused on **tõmbetugevus- ja venivusnäitajad** (EVS-EN ISO 10319) ja armeerimiseks kasutatava geosünteesi haakuvus teda ümbritseva pinnasega.

Kõiki geosünteesitika liike iseloomustatakse **tõmbetugevus- ja venivusnäitajatega**. Testmetoodika armeerivatele ja eraldavatele geosünteesidele on sama, kuid tähendus erinev.

Eraldav geotekstiil peab suutma takistada kahte pinnast omavahel segunemast. Seejuures pinnas, millele geotekstiil toetub, võib olla nõrga kandevõimega. Seetõttu on geotekstiilid valmistatud suhteliselt palju venivateks, st kui koormuse mõjudes pehme alus vajub, peab ka eraldav geotekstiil vajuma ehk venima, seejuures purunemata, täitmaks konstruktsioonis oma ülesannet.

Armeeriva geosünteesi juures on oluline väike venivus. Kui geosünteesi ülesanne on kompenseerida konstruktsioonis pinnaste nõrku omadusi, siis tähtis on see, et geosünteesist endast ei tekiks konstruktsioonis nõrgim osa. Armeeriv geosüntees suurendab konstruktsiooni tugevust nii, et ümbritsev pinnas haakub tootega ning „ülemäärased“ tõmbepinged, mida pinnas ise ei suuda vastu võtta, kantakse geosünteesi tasapinda. Mida rohkem armeeriv geosüntees venib enne vajaliku tõmbetugevuse saavutamist, seda suuremad deformatsioonid konstruktsioonis toimuvad. Seetõttu

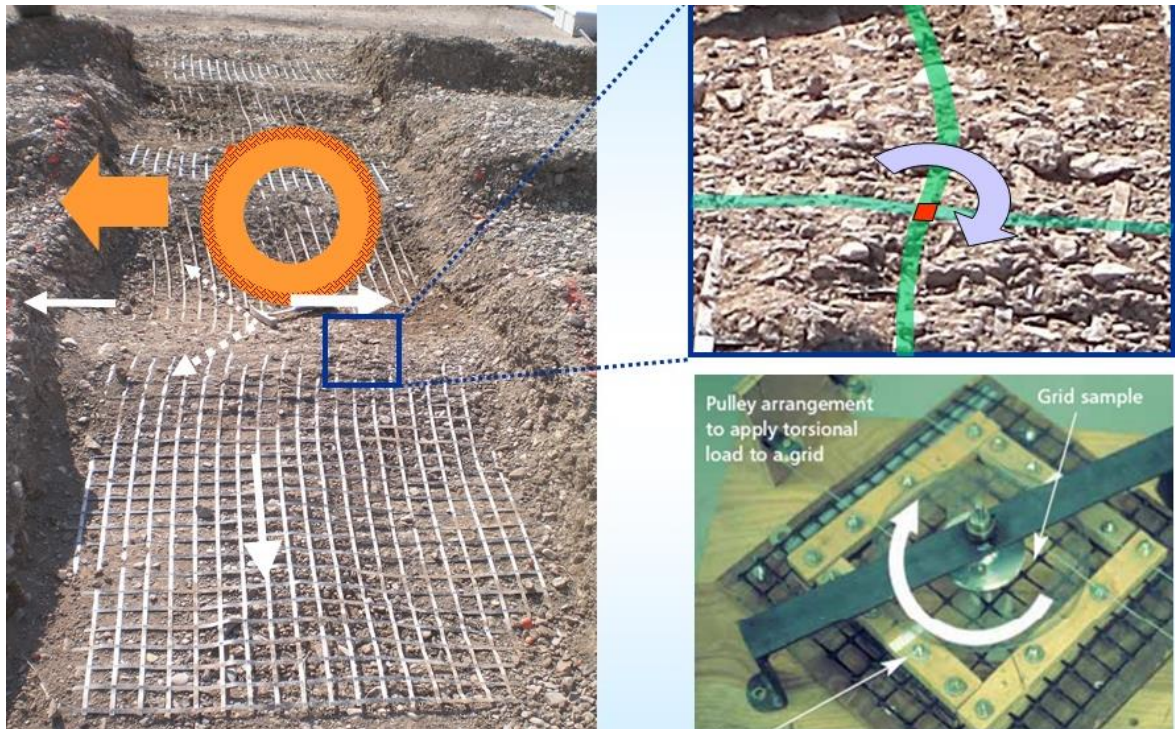
esitatakse geosünteedide tehnilistes spetsifikatsioonides toote tõmbetugevuse näitajad reeglina venivusprotsentide 2% ja 5% juures, kuid lähenemine olenevalt tootjast võib olla ka erinev.

Maksimaalne tõmbetugevus katendi armeerimise rakendustes ei oma tähtsust, kuna geosünteedid on valmistatud polümeersest materjalidest, mis koormuse rakendumisel venivad. Olenevalt valmistustehnoloogiast ja kasutatud materjalist võib geosünteedi maksimaalse tõmbetugevuse juures venida 15 või rohkemgi protsenti.

Geovõrkude omadused, mis tagavad haakuvuse ümbritseva pinnasega

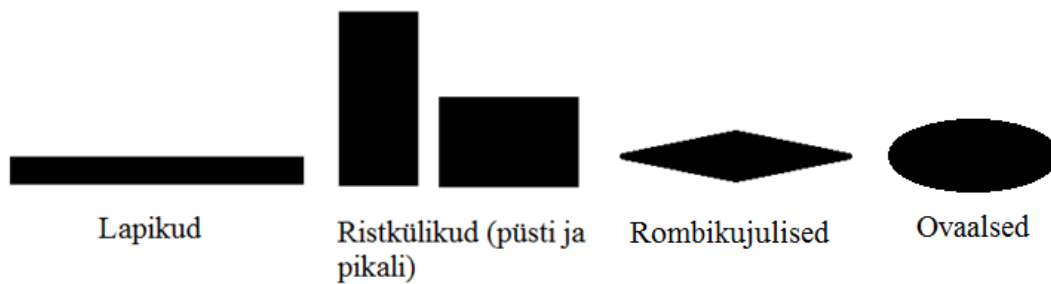
Järgnevalt omadustest, mida erinevad geovõrkude tootjad kasutavad iseloomustamiseks oma tooteid. Nende omaduste mõistmine ja sisu tundmine on oluline, kuna kõik geovõrkude tootjad esitavad arvutustulemusi lähtudes enda toodete eripäradest, mis omakorda aitavad parandada geosünteedi ja pinnase omavahelist haakuvust. Seetõttu ei ole võimalik ka ühte geovõrku asendada teisega sooritamata uuesti tugevusarvutust.

- **Jäikus.** Ühelt poolt tähendab see jäikust tasapinnas (vastavalt Põhja-Ameerika standardile ASTM D1388 on jäik geovõrk selline, mille paindejäikus on üle 1000g-cm ja pehme alla selle), teisalt seisneb see eelpingestatuses.
- **Ava suurus.** Tavalised pinnasevõrkude ava mõõtmed on vahemikus 25 – 40 mm (ühe külje pikkus kas nelinurk- või kolmnurkvõrgul). Väga tähtis on, et materjaliosakesed oleksid õiges mõõdus lukustumaks täielikult võrgu struktuuris. Alati ei ole võimalik saada ideaalselt kokkusobivaid materjale, vastukaaluks sellele on geovõrkude tootjad läbi uurimistööde leidnud parandustegurid, mida sel juhul arvutustes kasutatakse. Parim viis oleks iseloomustada ava suurust tema pindalaga.
- **Sõlme tugevus ja jäikus (ava stabiilsus).** Geovõrgu ülesanne on hoida avadesse lukustunud täitematerjal võimalikult liikumatuna ning mõningad tootjad kasutavad väärtust oma toodete iseloomustamiseks ja ühe arvutusparameetrina. Joonis 6.14 illustreerib ava stabiilsuse tähendust ning testmetoodikat, kuidas seda kontrollitakse, mõõtühikuks on kg-cm/deg ning mõõdetakse vastavalt U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measuring of Torsional Rigidity.



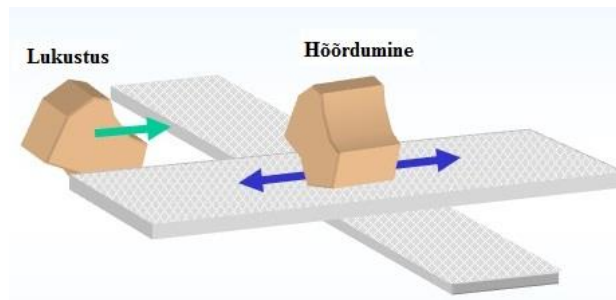
Joonis 6.14. Liikuv veok tekitab läbi veojõu geovõrgus väändejõu [4]

- **Ribi ristlõike kuju.** Erinevatel võrkudel võivad olla erinevad ribi ristlõiked. On olemas lapikud, ristkülikud (püsti ja pikali), rombid ja ovaalsed (põhimõtte joonisel 6.15). Mõningad tootjad rõhutavad ribi kuju ja olemust tugevalt.



Joonis 6.15. Erinevad pinnasegeovõrkude ribide kujud (ei ole mõõtkavas)

- **Ava kuju** (mööndustega võib öelda, et tõmbenäitajad mööda 360° perimeetrit). On olemas ühesuunalised (tõmbetugevus on oluliselt suurem ühes suunas, kui teistes; kasutatakse konstruktsioonides, kus jõud mõjub peamiselt ühes suunas), kahe-suunalised (ruudukujuliste avadega, tõmbetugevused ristsuundades pea võrdsed), kolme-suunalised (kolmnurgsete avadega, tõmbetugevused 360° perimeetris praktiliselt võrdsed).
- **Hõõre.** Omadusega arvestatakse geotekstiilide puhul, mille peamine toimemehhanism on membraanefekt, kuid ka geovõrkude puhul (joonis 6.16).

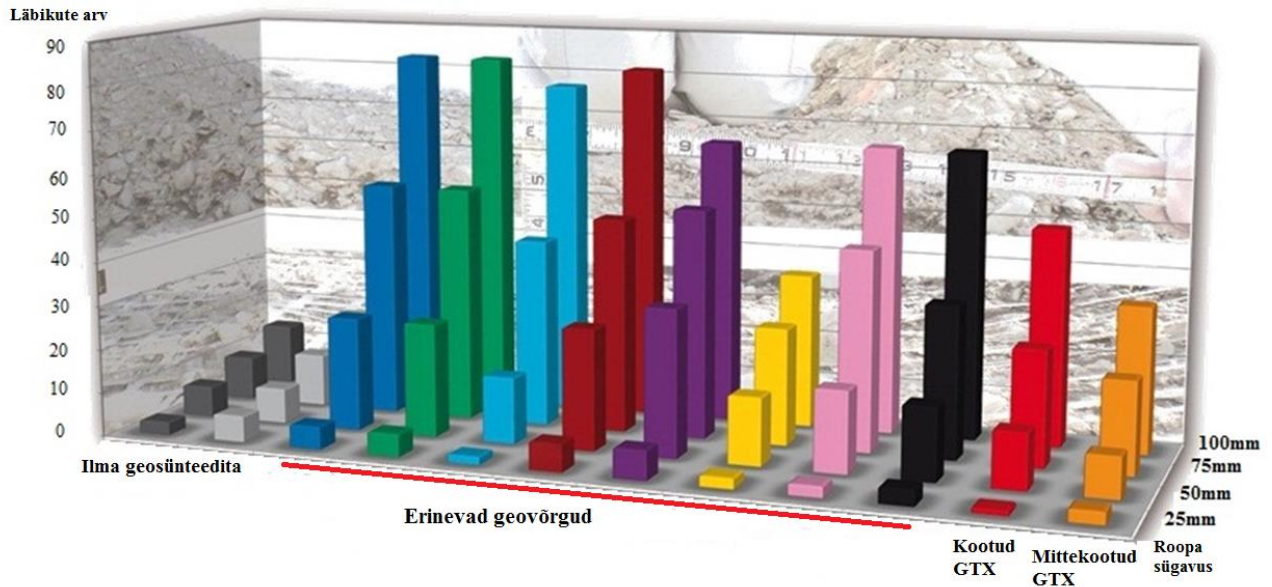


Joonis 6.16. Materjali hõõrdumine geovõrgu (-sünteedi) peal [4]

Järeldus

- Iga tootja geovõrgul on erisused, hoolimata sellest, et konstruktsioonis on ülesanne sama ja ühishimetusena „geovõrk“.
- Projektseerija poolt projekti näidatud geosünteedi võib asendada teise **samaväärse** materjaliga.
 - Tähtis on see, et uus geosünteed täidaks määratud ülesannet asendatavaga võrdväärsel tasemel. Näiteks tee projekteeritav kandevõime peab jääma samaks või tulema suuremaks (v.t peatükk 3.1) ning seda tuleks kas arvutuskäigu või mõnel muul viisil tõendada (võimalus on seda näidata nt arvutuskäiku või arvestusmeetodikat kirjeldava kokkuvõtlikku raportiga, milles on kirjas lähteandmed ja tulemuseni jõudmiseks kasutatud meetodika).

Cuelho ja Perkins, 2009 toovad täismõõtmelises geosünteedide võrdlustestis välja erinevate toodete toimivuse. Kõigepealt nähtub, et pehmete aluspinnaste puhul geosünteedide kasutamine on vajalik. Testis kõikidel kasutatud geosünteedidel olid katse ajal võrdsed tingimused, kuid tulemused erinesid (joonis 6.17). Saamaks kõikide toodete puhul tulbad samakõrgusteks ehk roopa sügavuste väärtused võrdseteks, tuleks kasutada erinevaid kihipaksusi. Järelikult on eelpoolnimetatud omadustega arvestamine oluline ning üks armeeriv geosünteed ei võrdu teise armeeriva geosünteediga.

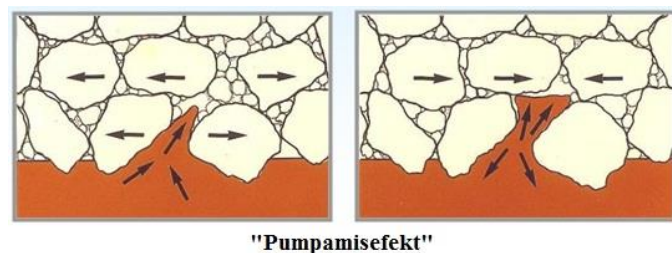


Joonis 6.17. Montana ülikoolis tehtud uurimustöö tulemused, mis näitab erinevate toodete võrdlust erinevate roopasügavuste puhul. [2]

6.2.4 Geosünteetide kvaliteedikontroll ja omadused – eraldamine ja filtreerimine

Eraldamine

Kahe materjali eraldamisvajadus geotekstiilidega sõltub alusmaterjali terasuurusest. Enamus madala kandevõimega pinnastest koosnevad väikestest osistest. Dünaamilise koormuse tagajärjel tekivad „pumpamisefekt“ „söödab“ jämedateralise materjali sisse peenet osist rikkudes nii esimese struktuuri (joonis 6.18) [4]. Geotekstiilide kasutamine (ka siis, kui juba planeeritakse kasutada geovõrke) on vajalik ehitades katendit aluse peale, mille peenosiste sisaldus on üle 15%. Eraldavaid geotekstiile on soovituslik kasutada ehitades ühtlase tarastikuga liiva peale.



Joonis 6.18. Dünaamilise koormuse käigus peene- ja jämedateraline materjal segunevad omavahel halvendades viimase omadusi. [4]

Eraldusfunktsiooni täidavad enamasti mittekootud geotekstiilid, mille tähtsaim omadus on vastupidavus läbistusele. Eraldamiseks võivad sobida ka kootud geotekstiilid, kui täidavad nõuded

vajalikele omadustele. Eraldavate geotekstiilide toimivuse kontrolliks kasutatakse järgmisi teste (tingimata ei kasutata neid kõiki korraga):

- **langeva koonuse test** (EVS-EN ISO 13433), mis simuleerib olukorda, kus geotekstiili peale materjali paigaldatakse;
- **staatilise punktkoormuse test** (EVS-EN ISO 12236), millega kontrollitakse, kui tõenäoliselt peab geosünteet vastu läbi aja konstruktsioonis tekkivatele punktkoormustele;
- **minimaalse energia indeks** (arvutatakse lähtuvalt tõmbetugevustestist saadud tulemuste põhjal – tõmbetugevuse ja venivuse suhe), nimetatakse ka energia neeldumiseks, mis tähistab maksimaalset energiahulka, mis geotekstiilis neeldub enne purunemist. Tegemist on tähtsa parameetriga, mis iseloomustab geotekstiili vastupidavust vigastustele;
- rebenemistugevus või **trapetsiaalne rebenemistugevus** (ing. *trapezoid tearing strength test*; ISO 13434) [13]. Eraldav geotekstiil peab pidama vastu olukorra, kus nt buldoosritega planeeritakse tema peale materjali ning tekstiili servas on sisselõige. Test ei ole levinud Euroopas.

Kõik omadused on tihedas seoses **tõmbetugevuse** ja **venivuse** näitajatega (EVS-EN ISO 10319). Eraldusfunktsiooni täitvatel geotekstiilidel on suured venivusnäitajad, kuna peavad „muganduma“ ümbritseva pinnasega ning ei tohi puruneda ega rebeneda. Suure venivuse tõttu ei sobi mittekoatud geotekstiilid armeerimiseks.

Filtreerimine

Geotekstiilide eraldusfunktsioon on tihedas seoses filtreerimisega ja reeglina käsitletakse neid mõlemaid koos.

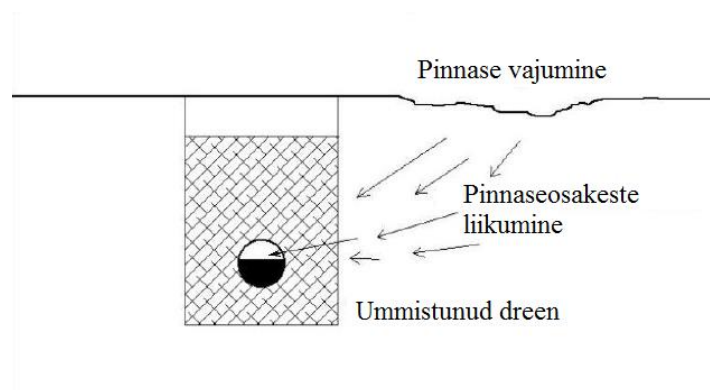
Filtreerimisülesande puhul geosünteet peab laskma vedelikud endast läbi ning suutma kanda seda enda tasapinnas mingil määral ka edasi (ehk drenida) hoides seejuures pinnast tagasi [25].

Metsateede puhul on teatud oludes filtrateerimine tähtis omadus. Nt mineraalmuld ja savi on väga vettpidavad ja -imavad pinnased, milles kapillaartõus võib ulatuda mitmetesse meetritesse. Kui vesi peaks tõusma katendi alla, on geotekstiili ülesanne tõkestada kapillaartõus ning aidata drenida vesi mööda oma tasapinda kraavidesse. Kui kandvas kihis on kasutatud külmakerkelisi materjale (nt möllikad, savikad materjalid), tuleb takistada vee ligipääs konstruktsiooni. Ülalpoolt tehakse seda ehitades peale kulumiskihti ja allpoolt kas hea filtreerivusega materjaliga või geotekstiiliga.

Sobiva toote valimisel lähtutakse ümbritseva pinnase olemusest ja terastikulises koostisest. Teedehituses kasutatakse eraldusfunktsiooni alati ühenduses filtreerimisega, seega eraldi

dimensioneerimist sellele siin ei tehta, piisab, kui valitud on õigete omadustega eraldav geotekstiil vastavalt NorGeoSpec nõuetele (kontrollitavaid omadusi kirjeldatud allpool).

Metsateede ehitusega seoses ehitatakse tavaliselt välja ka veeviimarid, mille hulka võivad kuuluda erinevad drenaažlahendused, milles kasutatakse geotekstiilid täidavad vaid filtreerimisülesannet ja mis tuleks dimensioneerida vastavalt sellele. Vesi ja vees olevad peenosised, mis on väiksemad geotekstiili pooriava suuruselt, voolavad läbi, ülejäänud pinnaseosakeste liikumine läbi geosünteedi on aga takistatud. Ilma filtreeriva geosünteedita ummistuvad drenkonstruktsioonid kiiresti (joonis 6.19).



Joonis 6.19. Dreen ummistub, kui pinnaseosakeste liikumist mitte takistada [8]

Peamised geotekstiilide omadused, mis mõjutavad filtreerimist, on:

- **iseloomulik pooriava suurus** (EVS-EN ISO 12956, iseloomustab tekstiili ummistuskindlust);
- **vee läbilaskvus pinnaga risti suunal ehk permiitiivsus** (EVS-EN ISO 11058);

Omadustele eksisteerivad nõuded NorGeoSpec-spetsifikatsioonisüsteemis.

Enamus geotekstiilide tüüpe sobivad filtratsiooni funktsiooni täitmiseks. Kõige paremini sobivad filtreerimiseks mittekootud geotekstiilid. Peentest kiududest ($\varnothing < 100\mu\text{m}$) toodetud materjalid on rohkem ummistusaltid, mistõttu tuleks filtreerimiseks valida jämedamate kiududest toodetud kangaid. [8]

Eraldava geosünteedi määratlus ei tohi kunagi piiritleda vaid ühe-kahe omadusega, kuna toote vastupidavus sõltub kõikide nimetatud omaduste koostööst. Pidades oluliseks nt vaid mahukaalu, siis polüester on võrreldes teistega raskem, seega võib sama kaaluga tootes olla kasutatud vähem materjali [13], mistõttu kannatavad vajalikud omadused. Ka tootjad ning erinevad klassifikatsioonisüsteemid, mille alusel on geotekstiilid liigitatud, arvestavad juhendites ning toote

valimisel kõikide omaduste koostööd (kas otseselt või kaudselt). Kindlustamiseks selle, et eraldusfunktsiooni saaks valitud täitma õige toode, mille kõik omadused vastavad vajadusele, on loodud erinevad eraldavate geotekstiilide klassifikatsioonisüsteemid, millega määratakse ka toodete kvaliteedikontrollinõuded (nt NorGeoSpec põhjamaades ja GRK Saksamaal).

Põhjamaades on kohustuslik kasutada NorGeoSpec-spetsifikatsioonisüsteemi, mis kujutab enesest ühtset põhjamaade süsteemi maanteedel kasutatavate eraldamiseks ja filtreerimiseks mõeldud geotekstiilide spetsifikatsioonide määratlemiseks ja toodete kvaliteedi kontrollimiseks. Loomaks metsateedel ühtset süsteemi ning tagamaks püsivat kvaliteeti, on eraldava ja filtreeriva geotekstiili valikul ning kvaliteedi kontrolliks soovituslik kasutada NorGeoSpec-spetsifikatsioonisüsteemi (ingliseelset infot süsteemist saab <http://www.norgeospec.org/>). Eestikeelne NorGeoSpec 2001 dokument on lisa 3.

KOKKUVÕTE

Koostatud metsateede katendite projekteerimise, ehitamise ja hooldamise juhend koondab järgmisi punkte ning esitab ettepanekuid:

- Teede katendid seoti aluspinnastega, mis lihtsustamise mõttes jagati klassidesse vastavalt kandevõimeväärtuste vahemikule. Teedele esitati minimaalsed arvutuslikud kandevõimed vastavalt metsatee järkudele:
 - 1. järk – 120MPa;
 - 2. järk – 100MPa;
 - 3. järk – 80MPa (lisaks nõuded katendis kasutatavatele materjalidele on leebemad);
 - 4. järk – 70MPa (lisaks nõuded katendis kasutatavatele materjalidele on leebemad);
 - 5. järk – nõuded puuduvad
- Esitati soovitus geovünteetide valikuks ja kasutamiseks:
 - armeerivate geosünteedide (peamiselt geovõrgud) kasutamine on soovituslik alates aluspinnase kandevõimest 30MPa. Eripinnastele ehitatud teede puhul (mille kandevõime jääb alla 15MPa) tüüplahendeid kasutada ei saa ning objektile tuleb läheneda individuaalselt kasutades aluspinnase parendamist ja/või konstruktsiooni tugevdamist;
 - armeerivate geosünteedide kasutamise ja vahetamise puhul tuleks lähtuda vajalikust projekteeritavast tee kandevõimest;
 - eraldavate geotekstiilide klassifitseerimiseks ja valikukriteeriumiteks soovitati NorGeoSpec-spetsifikatsioonisüsteemi, samas anti vajalik viide ka Saksamaa GRK-süsteemi kohta;
 - toodi geosünteedidega seonduvad kvaliteedinäitajad ja arvutustes kasutatavad lähteandmed koos selgitustega ja vajalike viidetega.
- Tutvustati „ujuvate“ teede konseptsiooni turbale ehitamisel, st turvast ei vahetata välja.
- Toodi välja ehitust puudutavad nõuded ja soovitused, sh põlevkivi aherainet puudutavad soovitused, mis saadi Tallinna Tehnikakõrgkooli teekonstruktsioonide laboratooriumist:
 - aheraine peaks olema segatud 30...40% savi mitte sisaldava liivaga, kandevõime väärtus Inspectoriga mõõdetes peab olema vähemalt 150MPa ning vajadusel tuleks

kasutada suureavalist geovõrku, mis tagab kontakti materjalide vahel või tehnoloogilist kihti.

- Koondati kokku metsateede hooldust puudutavad nõuded, lisaks esitati täiendavat informatsiooni inventeerimise ja tööde tegemise kohta; kuidas erinevad asjaolud mõjutavad tee teisukorda, kasutamist ja hoolduse ning rekonstrueerimise tegemist ja planeerimist. Toodi juhendid, kuidas planeerida kevadisi (ajal, mil teede kandevõimed on kõige väiksemad) metsavedusi.

Koostatud materjal saab loodetavasti olema heaks abivahendiks metsateede, aga ka ajutiste ja kohalike omavalitsuste teedega tegelevatele inimestele nii projekteerimise, ehitamise kui hooldamise alal.

Täiendustepanekuid võib teha ja lisainfot saada kontaktil:

Sven Sillamäe, MSc

Tallinna Tehnikakõrgkool

Pärnu mnt 62, 10135 Tallinn

e-mail: tktk@tktk.ee

sven@tktk.ee

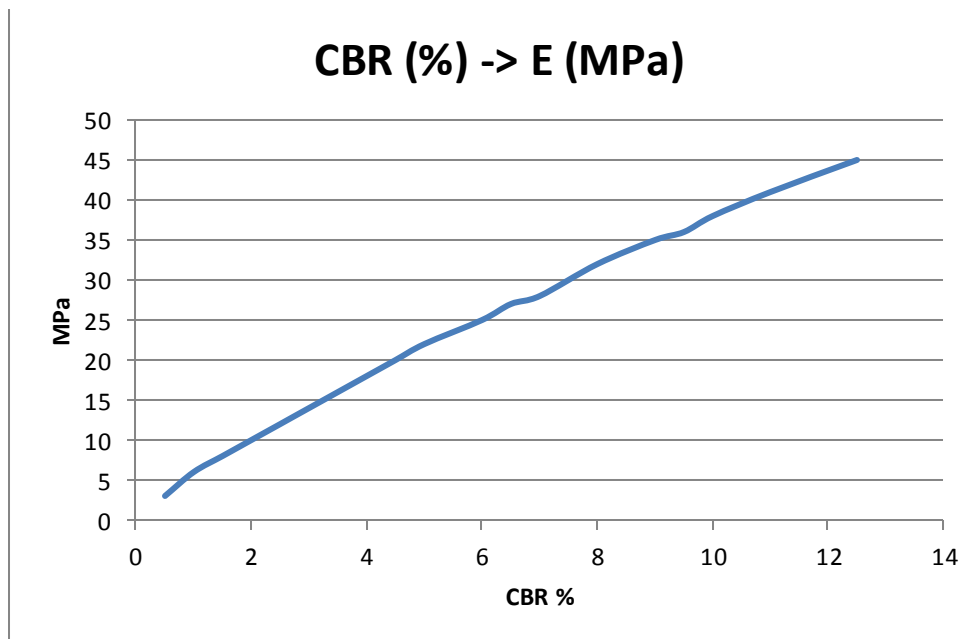
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

1. Aavik, A. Tee-ehituse loengumaterjal.
2. Cuelho, E. Perkins, S. Field Investigation of Geosynthetics Used for Subgrade Stabilisation. The State of Montana Department of Transportation, 2009. 143lk.
[http://www.westerntransportationinstitute.org/documents/reports/4W2012_Final_Report.pdf]
(25.05.2011)
3. Ehituskonstruktori käsiraamat.
4. Ewert, W. Vollmert, L. Naue GmbH & Co. KG. PowerPoint esitlus „Geosynthetics in Railway Construction“ 30. jan 2007. 139lk;
5. Forsman, J. Geovahvistetutkimus. Koerakenteiden loppuraportti 1996...2001. Tiehallinto 2001.
[http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/3200721_01.pdf] (25.05.2011)
6. Floating roads on peat. ROADDEX 2010.
[<http://www.roadex.org/uploads/publications/Seminars/Scotland/FCE:SNH%20Floating%20Roads%20on%20Peat%20report.pdf>] (12.12.12)
7. Fornit biaxial geogrid reinforcement. Huesker brožüür
8. Geosünteedide kasutamise juhised. Tallinn, Maanteeamet. 2006
9. Giroud, J.P. (2009), An Assessment of The Use of Geogrids in Unpaved Roads and Unpaved areas. Geogrid Jubilee Symposium. London
10. Johansson, S., Johansson, K., Ekedahl, F., (2007). Policies for Forest Roads – Some Proposals. Roadex
11. Kaakkurivaara, T., Uusitalo, J. Kelirikkoaikaisen puunkuljetuksen haasteet – Ratkaisuja metsäteiden kuljetuskelpoisuude ongelmiin sekä metsäteiden kantavuude mittaukseen ja kunnostamiseen. [<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp200.pdf>] (15.12.12)
12. Keskkonnaministri Määrus. Metsäteede seisundi kohta esitatavad nõuded.
[<https://www.riigiteataja.ee/akt/1051837>] (25.05.2011)
13. Koerner, K., Designing with geosynthetics. Fifth edition. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2005. 796lk
14. Lemberg, Uile. „Pinnase liigitamine geotehnikas.“ Keskkonnatehnika, 2 2012. a.: 47.
15. Matys, M. Baslik, R. Study of Interlocking Effect by the Push Test.
16. Metsätieohjeisto. Metsäteho Oy. 2001.
[http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Opas/Tieohjeisto_osa_1_Tekstiosa.pdf] (12.12.2012)
17. Muldkeha projekteerimise juhised. Eesti Maanteeamet 2006.
[http://www.mnt.ee/failid/juhised/muldkeha_remondi_projekteerimise_juhised.pdf] (10.12.12)
18. Munro, R. MacCulloch, F. Turpeesta Aiheutuvien Ongelmien Hallinta Vähäliikenteisillä Teillä, tiivistelmä. Roadex III, 2006. [http://www.roadex.org/uploads/publications/docs-RII-S-FI/Roads%20on%20Peat_Finnish.pdf] (25.05.2011)
19. Pennanen, O., Mäkelä, O. (2003). Raakapuukuljetusten kelirikkohaittojen vähentäminen. Tielikelaitos

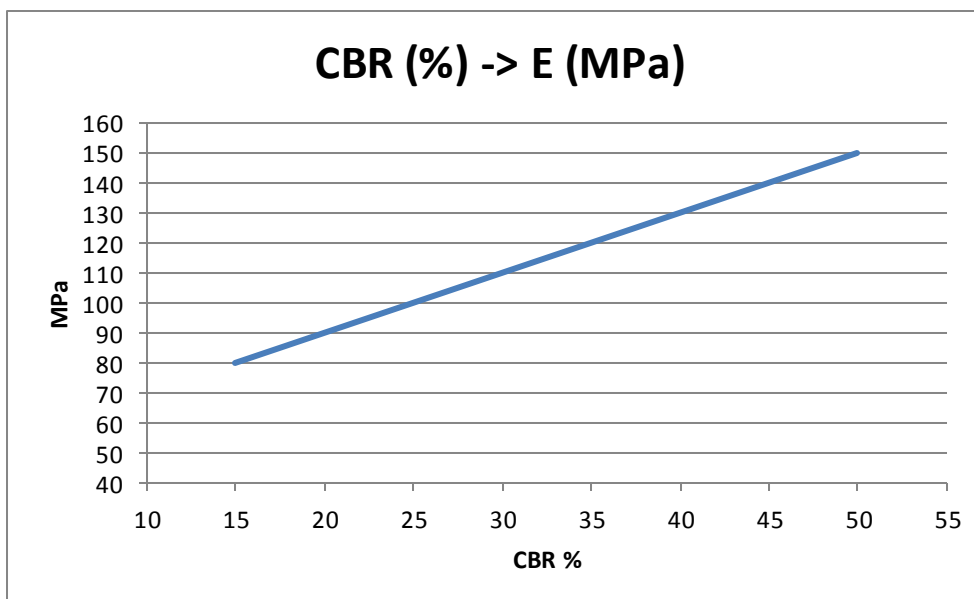
20. Põllumajandusministri Määrus. Maaparandussüsteemi ehitamise tehnilised nõuded. [<https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=13160029>], 25.05.2010;
21. Põllumajandusminister Määrus. Maaparandussüsteemi projekteerimisnormid. [<http://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=854517>], 25.05.2011;
22. Railways reinforcing ballast and sub-base layers under railway track. Tensar International brožüür. 2005
23. Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements – EBGEO, 2011.
24. Sedman, P. Hüdrogeoloogia. Õpetus maasisesest veest. EEL koolituspäev Tallinnas, 31. märtsil 2004.
25. Shukla, S. K., Yin, Jian-Hua. 2006. Fundamentals of Geosynthetic Engineering, Taylor&Francis, 2006. 410lk.
26. Sorateiden hoito ja kunnostus. Tielaitos. Helsinki 1995.
27. Standard EVS-EN 13285:2010. Sidumata segud. Spetsifikatsioonid.
28. Teede projekteerimisnormide muudatusettepanekud 01.05.2005 [<http://www.mnt.ee/?id=12024>]
29. Tenax LBO Desing Manual. Byggros.
30. Tie- ja Katurakenteiden Elinkaaren Pidentäminen Lujitteiden Avulla. LUPAV2 lõpparuanne.2006. [http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster6_rakentaminen_yhdyskuntatekniikka/LUPAV_Raportti_hgr_viimeist.pdf] (30.05.11)
31. TTÜ Mehhaanikainstituut [http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/soojustehnika-instituut/oppematerjalid/kyte-ventilatsioon/3._Turvas.pdf] (21.12.13)
32. www.roadex.org e-learning, Permanent Deformation. [<http://www.roadex.org/index.php/e-learning/permanent>] (17.12.12)
33. www.roadex.org e-learning, Roads on Peat. [<http://www.roadex.org/index.php/e-learning/roads-on-peat1>] (16.12.12)
34. Sorteiden kunnossapito. Liikenneviraston ohjeita 1/2014. Helsinki 2014

LISA 1. CBR

Üleminekugraafikud CBR-ilt elastsusmooduliks, MPa, joonised L1.1 ja L1.2.



Joonis L1.1. Graafik teisendamaks CBRi väärtusi (kuni 12) elastsusmooduliks



Joonis L1.2. Graafik teisendamaks CBRi väärtusi (15...50) elastsusmooduliks

Umbkaudseks CBRi määramiseks kiirmeetodil objektil on võimalik kasutada tabelit L1.1 [25] (Briti standard 5930:1999).

Tabel L1.1

Pinnase kandevõime umbkaudne määramine CBR protsentidena

Pinnase kirjeldus	Testmeetod	CBR (%)
Väga pehme	Sõrme on kerge suruda pinnasesse kuni 25mm	0 – 0,8
Pehme	Sõrme on võimalik sisse suruda 10mm	0,8 – 1,6
Tahke	Pöial jätab kergesti jälje	1,6 – 3,0
Jäik	Pöidlaga saab suruda kerge lohu	3,0 – 6,0
Väga jäik	Pöidlaküüs jätab jälje	6,0 – 12,0

LISA 2. Pinnaste geotehniline liigitus