



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

Version 2.0 (2020)



Tallinn 2020

## EESSÕNA

Juhendi koostamine on tehtud Tallinna Tehnikakõrgkoolis võttes aluseks Riigimetsa Majandamise Keskuse (RMK) vajadusi ja kogemusi ning Maaparandussüsteemide projekteerimismorme. Juhend on eelkõige mõeldud metsateede ja maaparandussüsteemi teenindavate teede jaoks, kuid siin toodud põhimõtteid kasutada ka muude kruus- või killustikkattega (laiemalt siirdekatendiga) teede puhul.

Juhendis on käsitletud teede muldkehasid ja katendeid, mitte teede põhimarametreid (plaani- ja püstkõveriku raadiused, nähtavuskaugused, piki- ja põikkalle, ristprofiili parameetrid), rajatisi (sillad, truubid) ega teepäraldisi (liiklusmärgid, tähispostid, piirded).

Versioon 2.0 (2020) on võrreldes varasema versiooniga 1.1 (aprill 2014) põhjalikult revideeritud tulenevalt maaparandussüsteemide projekteerimismormide uuendamisest aastal 2019. Lisaks on arvestatud aja jooksul saadud juhendi kasutuskogemustega. Juhendi versioon 2.0 on võrreldes versiooniga 1.1 läbinud täieliku uuenduse, mistõttu ei ole võimalik eraldi välja tuua täiendusi ja erisusi.

Juhendi uuendamisel on osalenud Sven Sillamäe, Toomas Kivisto ja Margus Reimann.

## SISUKORD

Mõisted.....	4
Tähised ja lühendid .....	6
1. Metsa- ja maaparandussüsteeme teenindavate teede projekteerimine .....	7
1.1 Teede liigitus ja projekteerimistasemed.....	7
1.2 Tee põhiparameetrid .....	9
1.3 Uurimistöö nõuded .....	11
1.3.1 Eripinnastest.....	15
1.4 Tee konstruktsiooni projekteerimine .....	17
1.4.1 Mehaaniline stabiliseerimine .....	18
1.4.2 Sideainete kasutamine .....	20
1.4.3 Geosünteedide kasutamine metsateedes, üldosa.....	22
1.5 Muldkeha projekteerimine .....	27
1.6 Tee projekteerimine nõrkadele pinnastele .....	31
1.6.1 Turbast.....	31
1.6.2 Nõrgale pinnasele projekteeritava metsatee tüüplahendus .....	42
1.7 Teekatendi projekteerimine.....	47
1.7.1 Geosünteedidest teekatendis .....	50
1.7.2 Nõuded katendis ja kulumiskihis kasutatavatele materjalidele .....	53
2. Metsa- ja maaparandussüsteeme teenindavate teede ehitus .....	57
2.1 Keskkond .....	57
2.2 Tee ehitamise täpsemad nõuded.....	57
2.2.1 Tee ehitamise üldnõuded .....	57
2.2.2 Tee muldkeha rajamise nõuded.....	58
2.2.3 Teekatendi ehitamine .....	60
3. Metsa- ja maaparandussüsteeme teenindavate teede hooldamine ja rekonstrueerimine .....	61
3.1 Tee hooldamine ja uuendamine.....	61
3.1.1 Hooldus- ja uuendamistööde põhimõtetest ja meetodikatest .....	63
3.3 Tee rekonstrueerimine .....	68
Viidatud allikad .....	69
Lisa 1. Kuidas valida eraldavat geotekstiili.....	71

## MÕISTED

**Alus** - katendi ühe- või mitmekihiline osa, mis asub katte ja muldkeha vahel;

**Dreenimata nihketugevus** – teisisõnu pinnase hetktugevus; olukord, kui rõhk ei jõua poorivees hajuda ning efektiivpinge tekkida ning pinnase tugevuse määrab üksnes nidusus;

**Dreenaar** - dreenisüsteem liigse vee kogumiseks ja ärajuhtimiseks;

**Elastsusmoodul** - suurus, mis iseloomustab materjali elastsust: pinge ja sellele vastava elastse deformatsiooni suhe;

**Fraktsioneeritud killustik** - purustatud ja sõelutud jämetäitematerjal, mille teramõõdud jäävad valdavalt etteantud fraktsiooni piiridesse, nt fr. 16/31,5 mm;

**Geosüntee** - 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;

**Mittekootud geotekstiil** - suund- või korrapäratult paiknevatest kiududest, niitidest või muudest mehaaniliselt ja/või kuumtöötusega ja/või keemiliselt ühendatud elementidest valmistatud geotekstiil;

**Kootud geotekstiil** - kahest või enamast lõimelõngast, -niidist, -lindist või muust elemendist tavaliselt täisnurga all põimitud geotekstiil;

**Geovõrk** - omavahel pressimise, sidumise või põimimise teel ühendatud tõmbeelementidest koosnev lahtiste silmadega tasapinnaline võrk, mille avad on suuremad, kui võrgu koostisosad;

**Geokomposiit** - tehases valmistatud liitmaterjal, mille vähemalt üks koostisosa on geosünteeet-toode;

**Geokärg** - omavahel ühendatud (sünteetilisest või looduslikest) geosünteediribadest valmistatud kärjekujuline või sellega sarnanev vedelikku läbi laskev kolmemõõtmeline õõnestarind;

**Hüdrauliline sideaine** - nii õhus kui vees kivistuv mineraalne sideaine;

**Kate** - katendi ühe- või mitmekihiline osa, mis paikneb alusel ja võtab vahetult vastu transpordivahenditelt tuleva koormuse (metsateedel kulumiskiht);

**Katend** - mitmekihiline konstruktsioon, mis võtab vastu transpordivahendite koormuse ja jaotab selle muldkeha pinnasele;

**Killustik** - jämetäitematerjalid, fraktsioneerimata täitematerjalid ja sidumata segu;

**Kraav** - üldine nimetus kaevikule, mille ülesanne on juhtida pinnavett.

**Kruus** - loodusliku või tehisliku päritoluga ümardunud kujuga kivimitükkidest koosnev sõmermaterjal, valdavalt teramõõtudega 2/63 mm;

**Kulumiskiht** - v.t kate;

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

**Mahukaal** - pinnase mahumass korrutatud raskuskiirendusega ( $\gamma = \rho_g$ , ühikuks kN/m<sup>3</sup>);

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

**Muldkeha** - tee ehituseks vajalik pinnase konstruktsioon koos selle juurde kuuluvate veeviimaritega;

**Nidusus** - 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;

**Nihkepinge** - jõud, mis surub ühte pinnasemassiivi nihkumisele teise pinnasemassiivi suhtes;

**Nõva** - v.t küvett;

**Pinnas** - omavahel sidumata või nõrgalt seotud osakestest koosnev kivimimass;

**Pinnavesi** - Maa pinda kattev vesi;

**Pinnavesi** - põhjavee ülemine kiht, mis lasub vettpidaval kihil;

**Plastsusarv** - voolavuspiiri ja rullpiiri vahe;

**Voolavuspiir** - pinnase veesisaldus protsentides, mille juures pinnas muutub pehmest voolavaks;

**Rullpiir (plastsuspiir)** - pinnase veesisaldus protsentides, mille juures pinnas läheb poolkõvast olekust kõvasse;

**Ridakillustik** - jämetäitematerjal, mille  $d \geq 4$  mm ja  $D=31,5$  või 63 mm ning mille kesksõela läbinud materjali kogus massiprotsentides jääb vahemikku 20% kuni 70%;

**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 kihtides;

**Sisehõõrdenurk** - üks pinnase tugevusparameetritest, mis leitakse eksperimentaalselt. Koos nidususega iseloomustab pinnase nihketugevust;

**Tee konstruktsioon** - insenerrajatis, mis koosneb muldkehast ja teekatendist koos kõigi lisakihtidega;

**Terastikuline koostis** - osakeste jaotumine terasuuruse järgi, väljendatuna teatud arvu sõelte läbindite massiprotsendina.

## TÄHISED JA LÜHENDID

**CBR** – *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 läbistamiseks kindlate mõõtmetega silindriga pinnast standardisel alal kindlale sügavusele. 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;

**C<sub>c</sub>** – kompressiooniindeks;

**c<sub>v</sub>** – konsolidatsioonimoodul (m<sup>2</sup>/aastas);

**C<sub>α</sub>** – sekundaarde konsolidatsiooni moodul;

**C<sub>u</sub>** – pinnase lõimistegur ( $C_u = d_{60}/d_{10}$ );

**C<sub>c</sub>** – pinnase jaotustegur  $C_c = d_{30}^2 / (d_{10} * d_{60})$ ;

**c<sub>u</sub>** – dreenimata nihketugevus (kPa);

**CPT** – *cone penetration test* ehk surupenetratsioon;

**DCP** – *dynamic cone penetrometer*, antud juhendis on selle all mõeldud Ameerika ASTM D 6951-03 vastavat seadet, mida kasutatakse ka Euroopas erinevate uuringute juures ning mis on eriti hästi sobilik metsateede uuringuteks;

**DP** – *dynamic probing*, EVS-EN ISO 22476-2 üldnimetus löökpenetreerimisele;

**DPL** – *dynamic probing, light*, EVS-EN ISO 22476-2 vastav kergekaaluline penetromeeter;

**DPI** – *DCP penetration index*, DCP-seadmega saadud penetratsiooniindeks, mm/löök;

**HfA** – Rootsi meetodikale vastav löökpenetreerimise meetodika, mis on Eestis laialt levinud geotehnilise uuringu liigiks;

**STP** – *standard penetration test* vastavalt EVS-EN ISO 22476-3;

**WST** – *weight sounding test* ehk keerdpenetratsiooni test.

# 1. METSA- JA MAAPARANDUSSÜSTEEME TEENINDAVATE TEEDE PROJEKTEERIMINE

## 1.1 Teede liigitus ja projekteerimistasemed

Ehitusseadustiku (RT I, 19.03.2019, 99) §92 ja 93 alusel:

- „Tee on rajatis, mis on ette nähtud inimeste, sõidukite või loomade liikumiseks või liiklemiseks“;
- „Metsatee on riigi omandisse jäetud maal paiknev valdavalt riigimetsa majandamiseks kasutatav tee“.

Maaparandusseaduse (RT I, 31.05.2018, 3) §4 alusel:

- „Maaparandussüsteemi teenindav tee on maaparandushoiutöö tegemiseks vajalik metsa- ja eratee, mis ei ole määratud avalikuks kasutamiseks“.

Metsateed on jagatud järkudeks Keskkonnaministri määrmuses nr 34 „Metsatee seisundi kohta esitatavad nõuded“ (RT I, 16.06.2015, 3):

- 1. järgu metsatee on tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine metsamaterjali väljaveo kogus on rohkem kui 10 000 tm aastas ning seda metsateed kasutatakse väljaveoks aasta ringi, v.a kevadisel intensiivsel teede lagunemise ajal;
- 2. järgu metsatee on tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine metsamaterjali väljaveo kogus on 1000–10 000 tm aastas ning seda metsateed kasutatakse väljaveoks aasta ringi, v.a kevadisel intensiivsel teede lagunemise ajal;
- 3. järgu metsatee on tee, mille arvutuslik kümne aasta keskmine metsamaterjali väljaveo kogus on 1000–10 000 tm aastas ning seda 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 1000–10 000 tm aastas ning metsateed kasutatakse väljaveoks külmal ajal;
- 5. järgu metsatee on tee, millel üldjuhul ei toimu metsamaterjali väljavedu.

Maaparandussüsteemi teenindavad teed on jagatud järkudeks Maaeluministri määrmuses nr 45 „Maaparandussüsteemi projekteerimismid“ (RT I, 08.05.2019, 1):

- 1. järgu tee on tee, mille arvutuslik kandevõime on vähemalt 100 megapaskalit ning mille liiklusseaduse tähenduses raskeveoste (edaspidi raskeveos) ühe kuu kavandatav netoveomaht ületab 10 000 tonni;
- 2. järgu tee on tee, mille arvutuslik kandevõime on vähemalt 80 megapaskalit ning mille raskeveoste ühe kuu kavandatav netoveomaht on 1000 kuni 10 000 tonni;
- 3. järgu tee on tee, mille arvutuslik kandevõime on vähemalt 70 megapaskalit ja mida kasutatakse maaparandussüsteemi teenindamiseks ning millel sõidavad lisaks

maaparandussüsteemide hoiutööde tegemiseks vajalikele masinatele ka traktorid, liikurmasinad ja raskeveosed;

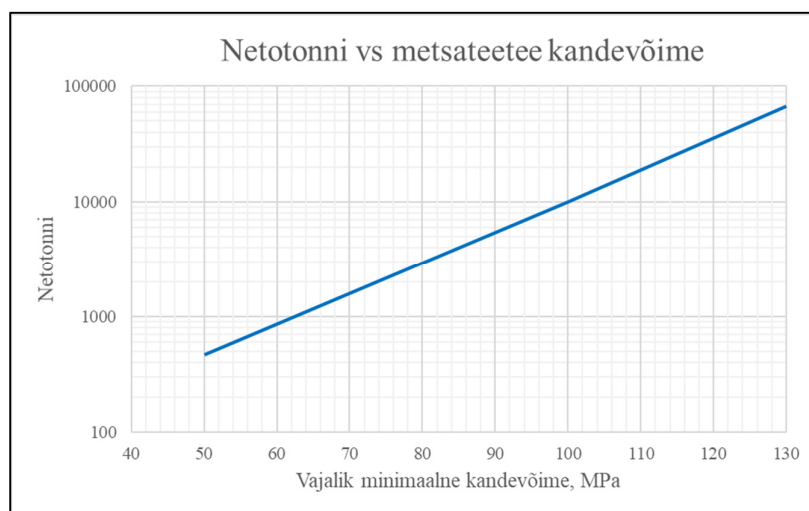
- 4. järgu tee on tee, mille arvutuslik kandevõime on vähemalt 60 megapaskalit ja mida kasutatakse üksiku maaparandussüsteemi teenindamiseks ning millel võivad raskeveosed sõita ainult külmal või kuival ajal.

Viimases määruses on lisatud veel, et kui teed kavandatakse kasutada projekteerimistingimuste andmisest alates kümne aasta jooksul ka metsamaterjali väljaveoks, projekteeritakse teekatend, arvestades keskkonnaministri 11. juuni 2015. a määruse nr 34 „Metsatee seisundi kohta esitatavad nõuded” § 8 lõikes 1 sätestatud metsatee järgule vastavat metsamaterjali kavandatavat väljaveomahtu.

Võrreldes viidatud Keskkonna- ja Maaeluministri määruseid nähtub, et kuigi sõnastus on erinev, on teede järgud üksteisega võrreldavad. Viimastest tulenevad teekatendi minimaalsed kandevõimed megapaskalitest, mille saab võtta aluseks ka metsateede osas. Kuna esitatud kandevõimed on minimaalsed, võib suuremate koormuste puhul olla vajadus kasutada kõrgemaid väärtusi.

Joonisel 1 on esitatud seos teel ühes kuus veetavate netotonnide ja tee minimaalse vajaliku kandevõime vahel. Soome kogemustele [14] tuginevalt tuleb arvestada, et planeeritava tonnaaži väljaveo tagajärjel on teekatte pinda tekkinud kuni ca 5 cm sügavune roobas (eeldusel, et teekatendis paiknevad materjalid on tihedad). Teisisõnu eeldatakse, et kui väljaveomaht on olnud 10'000 netotonna ning tee kandevõime 100 MPa, on teekattes tekkinud kuni ca 5 cm sügavune roobas ehk püsiv deformatsioon.

Joonisel 1 esitatud vajalike kandevõimeväärtuste osas on eeldatud, et valdav osa teel liiklevatest raskeveostest kasutavad paarisrattaid (v.a juhttelg). Kui  $\geq 10\%$  raskeveostest moodustavad üksikrehve (ing. *super-single*) kasutavad autorongid (nö poolhaaked), on soovituslik suurendada minimaalset vajalikku kandevõimet 30% võrra (nt 100 MPa asemel kasutatakse 130 MPa).



Joonis 1. Seos tee minimaalse kandevõime ja ühes kuus väljaveetava netotonnaaži vahel arvestades, et teekatte pinda võib tekkida kuni ca 5 cm sügavune roobas ning et raskeveostel kasutatakse paarisrattaid (v.a juhttelg).

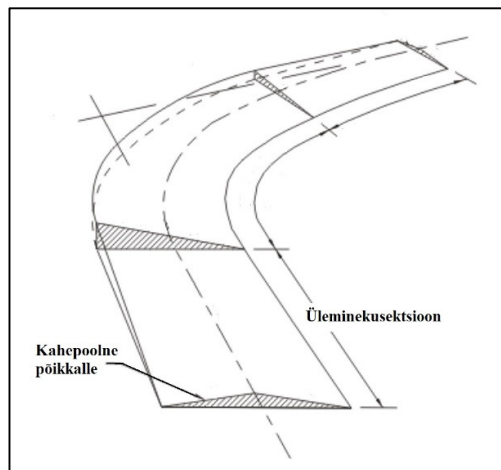


## 1.2 Tee põhiparameetrid

Maaparandussüsteemi teenindava tee põhiparameetrid on minimaalsete või maksimaalsete (olenevalt kumb on määravam) väärtustena esitatud Maaparandussüsteemi projekteerimismõnede §41 ning ristmiku parameetrid §42. Lihtsustamaks nõuete mõistmist, antakse järgnevalt osadele esitatud väärtustele graafilised selgitused.

§41 lõige 4: „Tee plaanikõverikul raadiusega alla 200 meetrit projekteeritakse viraažikalle 5,0 protsenti. Üleminek põiklaldelt viraažikaldele ja vastupidi projekteeritakse sujuvalt 20-meetrise lõigul enne ja pärast plaanikõverikku. Vahetult teineteisele järgnevatel vastandkõverikel ei projekteerita viraažikalde üleminekut kahepoolsele põiklaldale, vaid nende kokkupuutepunktis projekteeritakse tee põiklaldeta.“

Viraažikalde kasutamise vajadus suhteliselt järskudel plaanikõverikel tuleneb liiklusohutusest ja -mugavusest. Üleminek kahepoolsest kaldelt ühepoolsele tuleb teha sujuvalt enne kõveriku algust nagu on näidatud joonisel 2 oleval näidisel.



Joonis 2. Üleminek kahepoolsest kaldelt viraažikaldele, joonis allikast [23].

§41 lõige 5: „Tee plaanikõverik projekteeritakse ringikõverikuna, mille vähim raadius on 50 meetrit.“

Plaanikõverik on teetrassi plaani sirgeid lõike ühendav kõver plaaniosa, mis võib olla lahendatud ringikõverana või teiste matemaatilistelt kirjeldatavate sujuvate kõveratena. Metsateede puhul ei ole reeglina vajadust keerulisemate lahenduste jaoks kui ringikõverik, mistõttu on käsitletud vaid seda.

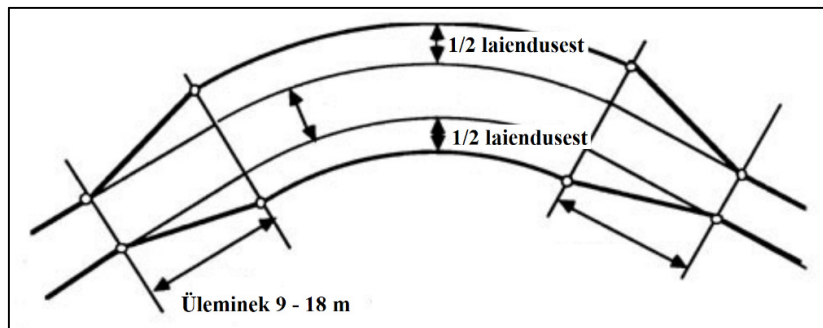
§41 lõige 6: „Tee plaanikõverikul raadiusega 200–800 meetrit projekteeritakse sõidutee sisekülje 0,2-meetriline laiend. Plaanikõverikul raadiusega alla 200 meetrit projekteeritakse sõidutee sisekülje laiend, arvestades lisa 2 joonisel 5 kujutatut. Üleminek tee sirgelt osalt plaanikõveriku laiendile projekteeritakse sujuvalt tee sirgel osal.“

Tee laiend tuleb üldreeglina projekteerida muldkeha laiendamise teel kõveriku siseküljele, kuid erandkorras (kui mistahes põhjusel ei ole seda võimalik lahendada vaid sisekülje kasutades) võib teed laiendada sümmeetriliselt ka kahele poole (joonis 3). Kui maanteedel toimub üleminek laiendile ühtlaselt eelkõveriku ulatuses nii, et täislaiendus saavutatakse ringikõveriku alguseks, siis kui metsateedel eelkõverikku ei kasutata, tuleb teha vajalik laius saavutada sirgel teosal.

Projekteerimisnormis ei öelda, kui pikk peab olema laienduse ulatus, on vaid nõue, et see toimuks sujuvalt. Sellekohase näidisenähtena võib kasutada Maaparandusrajatiste tüüpjoonist nr 6.5 „Sõidukite tagasipööramiskoht - ring“, kus tee laiend saavutatakse 10 m pikkusel lõigul, mis on aluseks võetud projekteerimisnormi §41 lõige 7 osas. Optimaalne tee pikkus laiendusega üleminekuks sirgelt osalt plaanikõverikule sõltub viimase raadiusest. Soovituslik üleminek jääb vahemikku 9...18 m (tabel 1, joonis 3).

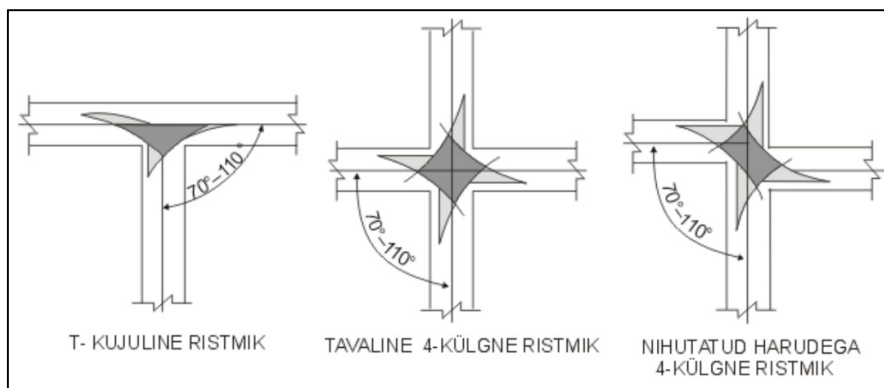
Tabel 1. Tee laienduse soovituslik pikkus sõltudes kurvi raadiusest

Ringikõveriku raadius, m	Laienduse ülemineku pikkus, m
20	18
20 – 25	15
25 – 30	12
30	10



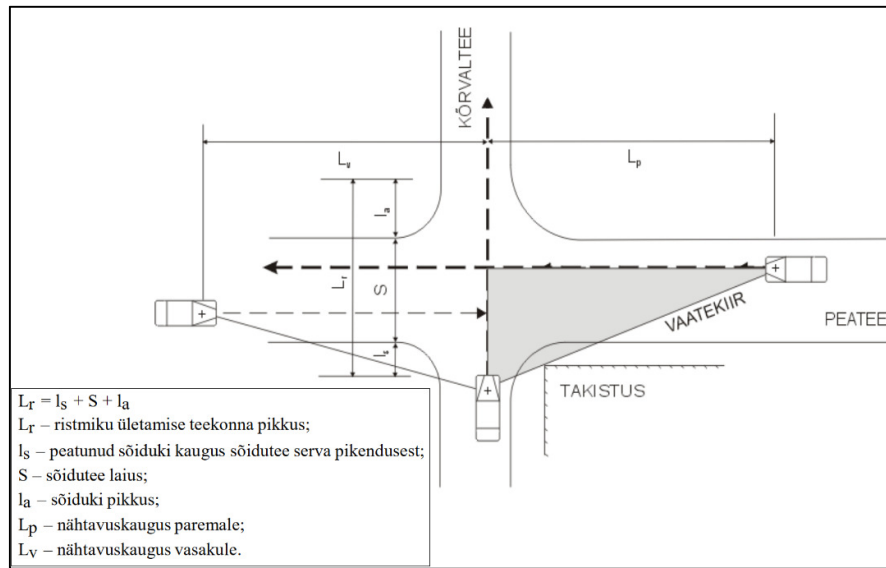
Joonis 3. Tee laiendamine ringikõverikul tuleb üldjuhul lahendada sisekülje laiendamisega, kuid erandjuhul (kui vaid ühe poole laiendamine ei ole mistahes põhjusel võimalik) saab seda teha ka mõlemal pool teed, joonis allikast [24].

§42 lõige 1: „Teede lõikumisnurk ristmikul projekteeritakse 70–110-kraadise nurga all“, mis näeb välja joonisel 4 kujutatuna.



Joonis 4. Erinevad ristmike tüübid, joonis allikast [10].

§42 lõige 3: „Projektlahendus peab tagama pöördeliiklusele projektkiirusest tuleneva vähima peatumisnähtavuse 40 meetrit. Vähim peateele avanev nähtavuskaugus ristmikul on 80 meetrit, erandkorras 50 meetrit.“ §42 lõige 4: „Vähim ristuvale teele avanev nähtavuskaugus ristmikul on viis meetrit.“ Peatumisnähtavus ja nähtavuskaugused on defineeritud joonisel 5.



Joonis 5. Ristmiku nähtavuskauguste selgitused graafilisel kujul, joonis allikast [10].

### 1.3 Uurimistöö nõuded

Maaeluministri määruses nr 77 „Maaparanduse uurimistöö nõuded“ (RT I, 21.12.2018, 53) on muuhulgas esitatud nõuded ka tee uurimistööks, millest tulenevad andmed peavad olema piisavad projekteerimaks vajadustele vastava tee konstruktsiooni.

Määruse nr 77 §28 nõuab, et uurimistööde käigus kogutaks teavet valitsevate pinnaseolude kohta. Uuringute eesmärgiks on määrata, mis pinnased jäävad rajatava tee alla või mida saab kasutada selle muldkehas, mis võimaldab leida kõige optimaalsema katendilahenduse või arvutada eripinnaste esinemise korral erilahenduse. Maaparandussüsteemi projekteerimisnormide lisa 1 tabelis 25 on esitatud erinevate pinnaseliikide elastsusmoodulid nii kuivalt kui märjalt. Tehtav uurimistöö peab andma piisavalt teavet, mille alusel leida, mis aluspinnasega on rajatava tee puhul tegemist.

Uurimistöö paremaks planeerimiseks võib eelifona kasutada Maa-ameti mullastiku kaarti, mis võimaldab saada muuhulgas järgmist informatsiooni:

- mis tüüpi pinnaste levikualale tee jääb ning missugune on niiskusrežiim (kas kuiv, ajutiselt või alaliselt liigniiske);
- kuidas pinnased vahelduvad, mille alusel saab planeerida uuringupunktide täpsemaid asukohti;
- kus ja mis ulatuses asuvad eripinnased (peamiselt turvas).

Näiteks järgmiste muldade leviku osas saab eeldada, et tee aluspinnaseks jääb saviliiv või liivsavi:

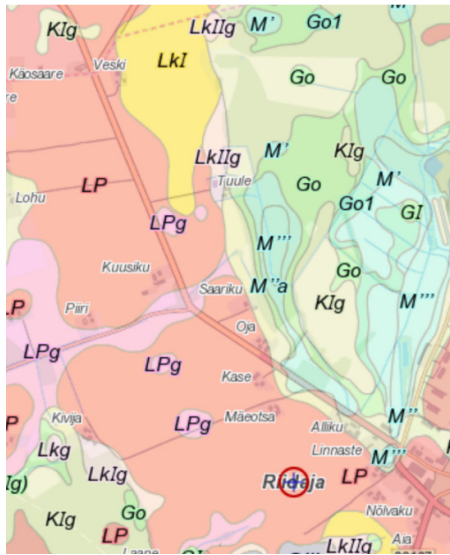
- leostunud muld (Ko), mille huumusesisaldus on põllumaadel 2.7...3%. Tegemist on saviliiv- ja liivsavimuldadega;
- kahkjast leetunud muld (LP), mille lähtekivimiks on valdavalt punakaspruun või pruun liivsavimoreen. Nende lõimiseks on valdavalt saviliiv liivsavil, kerge liivsavi keskmisel ja

raskel liivsavil ja harvem raske liivsavi savil (kahekihiline lähtekivim). Vastavate põllumuldade huumusesisaldus on 1.9...2.4%.

Niiskusrežiimi osas võib võrdlevaks näiteks tuua kahkja leetunud mulla (LP) ja leostunud gleimulla (Go), kus esimese puhul saab дренаži rajamisega muuta tee keskkonda kuivaks, kuid teisel juhul on see raskendatud ning projekteerimisel peaks arvestama „mürgade“ pinnastega:

- kahkjast leetunud muld (LP): „Tulenevalt mulla kahekihilisusest, kannatavad nad ülaveest tingitud lühiajalise liigniiskuse all.“
- Leostunud ja leetjad gleimullad, mh leostunud gleimuld (Go): Alaliselt (keskmiselt) liigniisked mullad, kus liigniiskus on tingitud pidevalt mullaprofiili ulatuvast põhjaveest, rasketel muldadel lisandub ka ülavesi.“

Mullastikukaardi väljavõte on joonisel 6, kus tee asub osaliselt madalsooturbal (M) ja osaliselt kahkja leetunud mulla (LP) levikualal.



Joonis 6. Vaadeldav tee paikneb valdavalt kahkja leetunud mulla (LP) levikualal, kuid osaliselt ka madalsooturbal (M), [Maa-amet].

Määruse nr 77 §28 lõige 1 nõuab, et määratud oleks pinnasekihtide түsedused ning nende normsuurused (**vähemalt lõõmis, plastsus, veesisaldus, tihedus**) vähemalt kahe meetri sügavuseni. Üldjuhul tuleb need omadused määrata laborikatsetega, kuid käesolevas juhises käsitletavate teede osas on võimalik koguda suure osa informatsioonist ka vaid objektil antavate hinnangute ja tehtavate mõõtmistega.

**Lõõmise ja plastsuse osas** tuleb aluseks võtta EVS-EN ISO 14688-1 „Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 1: Identifitseerimine ja kirjeldamine“ ning EVS-EN ISO 14688-2 „Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 2: Liigituspõhimõtted“. Nimetatud standardite põhjal on võimalik teha objektil piisavalt täpne pinnase määramine. Maaparandussüsteemi projekteerimismuunide lisa 1 tabeli 25 pinnaste nimetused ja märkus nr 1 on põhimõttelised ning suuniseid andvad, kuid viidatud standardid on täpsemad (standardite kehtivad versioonid on avaldatud määruse kehtestamisest hiljem).

**Veesisaldus.** Eripinnaste (eriti turvas) ning pehme ja väga pehme savi puhul on oluline määrata pinnase looduslik veesisaldus, muude pinnaste puhul piisab, kui anda hinnang piirkonna niiskuspakkonna osas vastavalt levivatele muldadele, projekteerimismuutnormide lisa 1 tabeli 25 märkusele 2 ja tabelis 2 antud iseloomustuse alusel.

Tabel 2. Tee niiskuspakkonna tüüpide kirjeldused

Paikkonna tüüp	Paikkonna tunnus	Paikkonna tüübi kirjeldus
1	Kuiv	Pinnavete äravool on tagatud; ülemise põhjaveehorisoni (pinnasevee) tase on sügaval ega mõjuta kasvupinnase taimestikku. Pinnasteks on peamiselt kruusliivad, liivad ja saviliivad, kuid ka savikad pinnased, kui nende suhteline niiskus on voolavuspiiriga võrreldes alla 0,73. Kui pinnasevee tase jääb mõõdetuna teekatendi alapinnast sügavamale kui 1 m, on tegemist sõltumata muudest asjaoludest kuiva paikkonnaga.
2	Niiske	Pinnavete äravool pole ajuti tagatud, mille üheks tunnuseks on maapinna 0,003% lähedased (kuid suuremad sellest) looduslikud kalded. Esineb lühiajalist (alla 30 päeva) seisuvett. Pinnasevesi mõjutab kasvupinnase niiskumist, mistõttu kasvavad niiskuslembelised taimed, võib esineda pindmise soostumise tunnuseid. Pinnastena esinevad enamasti savikad materjalid suhtelise niiskusega voolavuspiiriga võrreldes alla 0,8. Teega külgnevate alade piki- ja põikplaneerimise ning kraavitamisega on võimalik niiskustingimusi parandada saavutades kuiva paikkonna olukord.
3	Märg	Pinnavete äravool on raskendatud, esineb pikaajalist (üle 30 päeva) seisuvett. Maapinna lähedal asuva pinnasevee tõttu esineb ilmseid soostumise tunnuseid. Esinevad peamiselt savikad pinnased suhtelise niiskusega voolavuspiiriga võrreldes üle 0,8. Paikkonna tüübi muutmine on võimalik ainult suureulatuslike kuivendustöödega.

**Tihedus.** Tihedusest sõltuvad materjali deformatsiooniomadused ning järeltihenemise suurus. Suhtelist tihedust määratakse laboris kas rikkumata struktuuriga proovist või kasutades taastatud teimikuid, mis evivad enam-vähem sama koostist, tihedust ja veesisaldust nagu materjal *in situ*, kuid seda saab hinnata ka välikatsetega vastavuses EVS-EN 1997-2 või ka muude sobilike seadmete ja meetoditega.

Eestis üks kasutatavaim objektidel tehtav uuringumeetod on löökpenetratsioon, mis ei ole tiheduse ja pinnaseomaduste määramiseks ideaalselt täpne, kuid võimaldab anda teatud hinnanguid, mida võib metsateede kontekstis lugeda piisavaks. Eestis kasutatakse valdavalt Rootsi HfA standardile vastavad seadet ja käsipenetromeetrit „DPL“ (viimase kohta täpsemalt EVS-EN ISO 22476-2 „Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 2: Dynamic probing“).

Allikas [6] on esitatud HfA standardile vastava seadmega tehtud uuringute võrdlus liivpinnastes eri seadmetega (CPT – *cone penetration test* ehk surupenetratsioon; WST – *weight sounding test* ehk keerdpenetratsioon) ning saadud tulemused, joonis 7.

Tabelis 11.2 on toodud välikatsete andmetel tuginevad liiva sisehõõrdenurgad ja jaotus tiheduse järgi. (Bergdahl U., Ottosson E., Malmberg BS., Plattgrundläggning (Spread foundation). Stockholm AB Svensk Byggtjänst, 1993.)

CPT $q_c$	WST Poolpöörete arv 0,2 m kohta	DP (HfA) Löökide arv 0,2 m kohta	$\phi$ °	Suhteline tihedus
0-2,5	0-10	0-4	19-32	Väga kohev
2,5-5,0	10-30	2-8	32-35	Kohev
5,0-10,0	20-50	6-14	35-37	Kesktihe
10,0-20,0	40-90	10-30	37-40	Tihe
20,0-30,0	90-130	>25	40-42	Väga tihe

Tabelis toodud löökpenetromeetri löökide arv, mis korrigeeritud arvestades varraste hõõret. Keerdpenetreerimise poolpöörete arvu tuleb mölli puhul jagada 1,3-ga enne tabeli kasutamist..

Joonis 7. Allikas [6] toodud võrdlus ja tulemused seoses Eestis laialt levinud HfA standardile vastava seadmega.

Veel üheks metsateede uuringuteks väga sobilikuks seadmeks võib lugeda Ameerika Ühendriikides (mingil määral ka Euroopas) laialdaselt kasutatava dünaamilise käsipenetromeetri DCP (*dynamic cone penetrometer* vastavalt ASTM D 6951-03, täpsem info allikas [22]), mis sarnaneb Euroopa DPL penetromeetriga. DCP on seade, millega penetreeritakse metallist varrast, mille otsas on 60° tipunurgaga koonus, pinnasesse kasutades selleks 8 kg raskust, mis kukutatakse alusele 580 mm kõrguselt (fotod 1 ja 2). Seade on olemas ka Eestis, seda on väga lihtne kasutada ning soetusmaksumus on suhteliselt madal.



Fotod 1 ja 2. Ameerika dünaamiline penetromeeter DCP ehk *dynamic cone penetrometer*, mis on kruusa- ja metsateede uuringutel ja nende seisukorra hindamisel laialt levinud. Fotod: Tomi Kaakkurivaara.

Kuigi DCP-seade sobiks kasutamiseks kõige paremini hindamaks pinnase tugevust (mõõtmistulemustest saab tuletada sisehõõrdenurga), teisendatakse tulemused siiski tavaliselt jäikuseks (elastsusmooduliks, MPa) ning saadud number võetakse katendiarvutuse aluseks. Teisendamine elastsusmooduliks toimub valemite 1 ja 2 abil – kõigepealt teisendatakse mõõtmistulemuse penetratsiooniindeks (ehk DPI) CBRiks, misjärel teisendatakse see elastsusmooduliks (MPa).

$$\log \text{CBR} = 2,46 - 1,12 \log \text{DPI}$$

Valem 1

kus

CBR – California Bearing Ratio (%);

DPI – DCP penetratsiooniindeks (mm/löögi kohta).

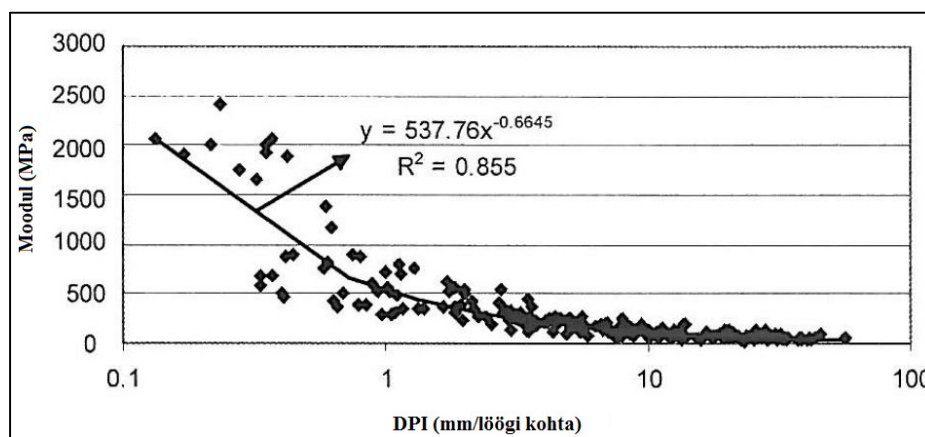
$$E = 17,6 * \text{CBR}^{0,64}$$

Valem 2

kus

E – elastsusmoodul (MPa).

Rootsis tehtud uuringud on näidanud joonisel 8 kujutatud seost e-mooduli ja DPI vahel. Oletades, et DPI = 10 mm/löök, saadakse valemitega 1 ja 2 arvutades kihi elastsusmooduliks 127 MPa, kuid kasutades joonise 8 seost, 116 MPa. Tulemused on siiski samas suurusjärgus.



Joonis 8. DCP tulemuse teisendamine elastsusmooduliks [2].

DCPga mõõtmine lõpetatakse, kui varras on surutud täielikult pinnasesse või kui penetratsioon on väiksem, kui 3 mm/löök. DCP piiranguks on väga kivised või väga nõrgad pinnased – esimesel juhul ei ole seadme tulemus usaldusväärne, kui maksimaalne terasuurus on üle 40 mm ning teisel juhul upub varras pinnasesse liiga kiiresti ja väikesi muutusi ei ole võimalik eristada. DCPga leitud pinnase CBR/e-mooduli väärtused on kirjanduse andmetel koondatud tabelisse 3.

Tabel 3. DCPga saadud mõõtmistulemuste liigitus

CBR-väärtus (%)	E-moodul (MPa)	Üldine liigitus	Katendikiht
> 50	> 215	Väga hea	Kattekiht või alus
20 – 50	120 – 215	Hea	Kattekiht või alus
7 – 20	60 – 120	Rahuldav	Vahekiht
3 – 7	35 – 60	Nõrk	Muldkeha / pinnas
0 – 3	0 – 35	Väga nõrk	Muldkeha / pinnas

### 1.3.1 Eripinnastest

Määruse nr 77 (uurimistöde nõuded) §28 lõiked 2 kuni 4 käsitlevad eripinnaseid. Taoliste pinnastele (eriti turbale) tee-ehitamist tuleks vältida ning esialgse hinnangu nende esinemisele saab Maa-ameti mullastiku kaardilt. Kui tee ehitamine eripinnasele on vältimatu, on uurimistöega vajalik

koguda andmed, mis võimaldaksid arvutada muldkeha püsivuse ning konsolideerumise ulatuse ja ajalise kulgemise (peatükis 1.6.2 on käsitletud ka tüüplahendusi). Selleks on vaja teada pinnase:

- dreanimata nihketugevust  $c_u$  (kPa);
- kompressiooniindeksit  $C_c$ ;
- konsolidatsioonimoodulit  $c_v$  (m<sup>2</sup>/aastas);
- sekundaarse konsolidatsiooni moodulit  $C_{\alpha}$ .

Vajalikud suurused saadakse kas läbi:

- laborikatsete rikkumata struktuuriga proovidest (eeldusel, et proovid on korreltselt võetud ja säilitatud; meetod on kallis);
- objektil tehtavate mõõtmiste (nt tiivik- ja (suru)penetratsioonikatsed);
- pinnaseomaduste korrelatsioonide (pinnase looduslik veesisaldus ja tihedus ehk mahumass).

Metsateede ja muude vähese liiklusedusega teede osas on enamasti piisav, kui pinnaseomadused määratakse kas läbi objektil tehtavate mõõtmiste või kasutades korrelatsioone. Näiteks EVS-EN ISO 14688-2:2018 tabel 6 märkus ütleb: „vahetul (väli)vaatlusel võib pinnase tugevust hinnata lihtsa välikatsega, nt väikese (käsi)tiivikuga.“ Käsi tiivikut on kujutatud fotodel 2 ja 3. Tiiviku kasutamine on peamiselt sobilik vaid savis ja kohevas möllis, muude pinnaste osas (sh turvas) tuleb seadme kasutamisse suhtuda konservatiivselt.

Allikate [3] ja [9] kohaselt tiivikkatse enamasti ülehindab turba dreanimata nihketugevust (eriti lagunemata, kiulise turba korral, kuna selle kiud toimivad armeerivalt), mistõttu tuleb otseseid mõõtmistulemusi korrigeerida parandusteguriga. Mõõdetud tulemusele tuleb rakendada parandustegurit, mis (kiulise)turba puhul on soovituslik võtta 0,5...0,55 ja lagununud (mudataolise) turba osas 0,6...0,8.



Fotod 2 ja 3. Käsi tiivik. Fotod: Humboldt ja Sven Sillamäe.

Peamised probleemid seoses eripinnastega on turbaga, mis on väga suurel määral kokkusurutav ning mille dreanimata nihketugevus on äärmiselt väike (<10 kPa). Muude nõrkade pinnaste nagu savi, järvelubi, muda jne nihketugevus võib olla küll väga väike (Eestis enamasti minimaalselt vahemikus 10 kuni 20 kPa), kuid mille kokkusurutavus ei ole metsateede kontekstis kuigi määrav (v.a sildade ja truupide puhul).

Eripinnaste tugevus- ja kokkusurutavusomadused on tugevas korrelatsioonis veesisaldusega, mistõttu võib öelda, et arvutuste jaoks piisavate andmete saamiseks piisaks, kui on teada eripinnase

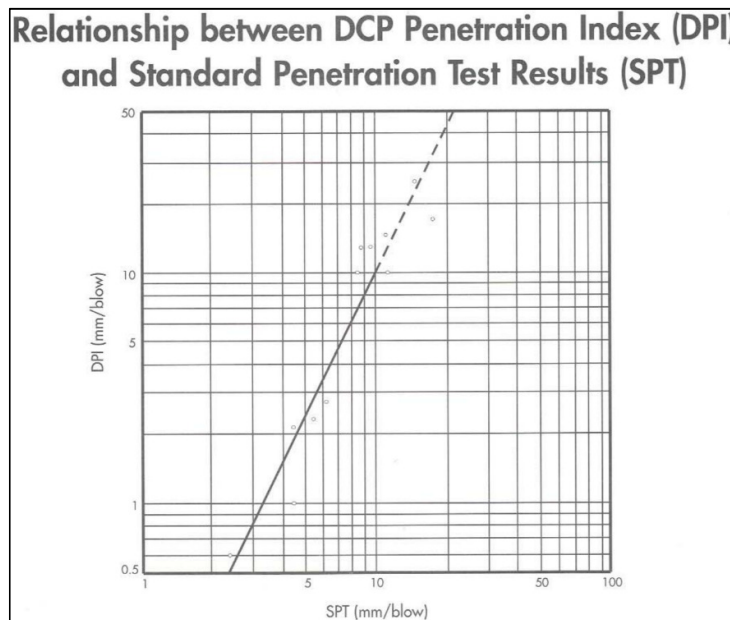


kihipaksus (koos põhjaprofiiliga) ja looduslik veesisaldus, savipinnaste puhul lisaks ka plastsuspiirid. Kui turba osas on korrelatsioon väga otsene ning andmed on publitseeritud allikas [13] (turvas käsitletakse täpsemalt peatükis 1.6.1), siis teiste eripinnaste osas ei ole väärtused nii hõlpsasti saadavad, mistõttu on soovituslik teha välimõõtmine nt käsitiivikuga. Teisalt saab vaadeldava pinnase tugevust hinnata ka lihtsa „pigistamiskatsega“, mida on käsitletud tabelis 4.

Tabel 4. Dreenimata nihketugevuse määramine lihtsustatud meetodil „pigistamiskatsega“ [21]

Nimetus	Kirjeldus	SPT löökide arv, N	$c_u$ , kPa
Väga nõrk	Pigistades surutakse sõrmede vahelt hõlpsasti välja	< 2	< 12
Nõrk	Kerge sõrmevajutusega vormitav	2...4	12...25
Keskugev	Tugeva sõrmevajutusega vormitav	4...8	25...50
Poolkõva	Ei ole vormitav	8...15	50...100
Kõva	-	15...30	100...200
Väga kõva	-	>30	>200

Tabelis 4 on kajastatud STP löökide arv, mida saab teisendada eelnevalt käsitletud DCP tulemustele ja vastupidi. Allikas [22] on esitatud STP ja DCP penetratsiooniindeksi vaheline seos, joonis 9.



Joonis 9. STP ja DCP penetratsiooniindeksi DPI omavaheline seos [22].

## 1.4 Tee konstruktsiooni projekteerimine

Tee konstruktsiooni projekteerimisel tuleks võimalusel jälgida järgmisi põhimõtteid:

- 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 tugevdusmeetmeid.

Nimetatud põhimõtted on tagatud, kui projekteerimisel jälgitakse Maaparandussüsteemide projekteerimismääruse (Maaeluministri määrus nr 45).

Määruse nr 45 §43 lõiked 2...4 ütlevad:

- Tee konstruktsioon koosneb teekatendist, vajaduse korral tee muldkehast (edaspidi *muldkeha*) ning pinnavee voolamist reguleerivatest rajatistest nagu truupid, kraavid, nõvad, vesivaod ja veeviimariid.
- Muldkeha projekteerimise vajadus sõltub projekteeritud tee pikiprofiilist, maa-ala niiskusest ja olemasolevast pinnasest.
- Tee konstruktsiooni tugevuse ja püsivuse tagamiseks kasutatakse projektlahenduses vajaduse korral geosüntete, töödeldakse pinnast sideainega, nagu näiteks aktiivsed põlevkivituhad, tsemendipõhised sideained, polümeerid ja muud sellised ained, muudetakse pinnase terastikulist koostist, lisades täitematerjali, või võetakse muid sobilikke ja keskkonnale ohutuid meetmeid.

Projekteerimisel on oluline võtta eesmärgiks, et võimalikult palju kasutataks juba kohapeal olevaid pinnaseid minimeerides juurdetoodavate materjalide osakaalu. Olemasoleva pinnase tugevusomadusi saab parandada läbi kuivendamise, tihendamise, mehaanilise ja sideaine(te)ga stabiliseerimise.

#### 1.4.1 Mehaaniline stabiliseerimine

Mehaaniline stabiliseerimine on pinnase terastikulise koostise muutmine segades sisse jämedateralist materjali (fotod 4...6). Meede on sobilik liiv- ja kruuspinnaste korral, kui pinnased on kõrge peenosisesisalduse tõttu niiskustundlikud ja madala deformatsioonikindlusega. Mehaanilist stabiliseerimist on soovituslik planeerida eelkõige olemasoleva tee rekonstrueerimise korral.



Fotod 4...6. Olemasolevale teele jämetäitematerjali lisamine, mis segatakse olemasoleva pinnasega tekitades uue terakoostisega materjali. Fotod: Sven Sillamäe, Oiva Huuskonen ja Eino-Matti Hakala.

Mehaanilise stabiliseerimise projekteerimine ja tulemuse hindamine toimub läbi terakoostise analüüsi. Valemi 3 abil saab arvestada, kui palju ja mis fraktsiooni tuleb lisada olemasolevale

materjalile, et muuta selle terastikuline koostis sobilikuks. Lihtsaim viis ülesande lahendamiseks on graafilisel kujul, mille abil saab leida vajaminevate fraktsioonide hulga.

$$(A * \% \text{ segus} / 100) + (B * \% \text{ segus} / 100)$$

Valem 3

kus

A – olemasoleva materjali fraktsiooni sisaldus, %;

B – juurdelisatava materjali fraktsiooni sisaldus, %;

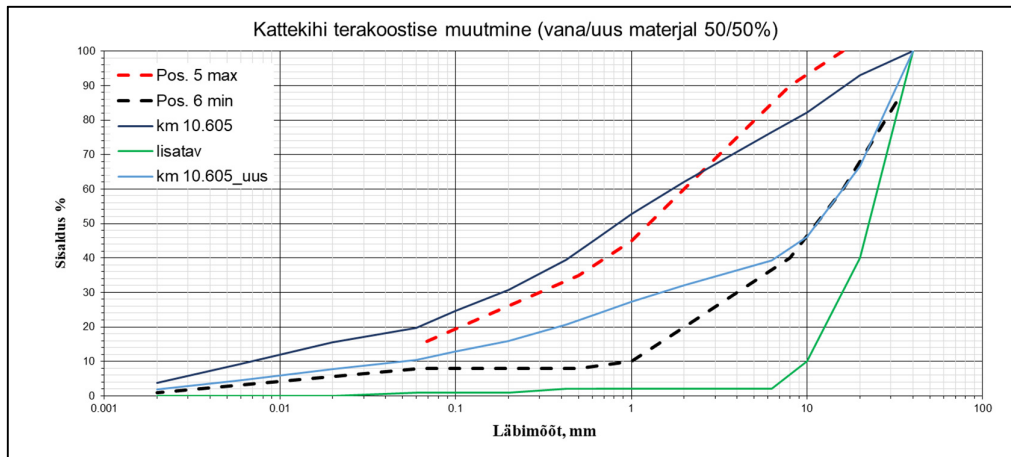
% segus – mitu protsenti olemasolevat või juurdelisatavat materjali uus segu sisaldab.

Näiteks olemasoleva kruuskattega tee kattekihi terastikuline koostis on liivakas ja savikas, mistõttu tee deformeerub kergesti (fotod 7 ja 8). Joonisel 10 on esitatud olemasoleva kruusa terakoostis võrreldes optimaalse kattekihi terakoostise piiridega (esitatud on positsioon 5 maksimaalne ja positsioon 6 minimaalne sõelkõvera piir). Kui olemasoleva kruusaga segada 50% osas uut lisatavat jämetäitematerjali (antud näite puhul killustik fr. 16/31,5 mm), saadakse tulemuseks nõutud terakoostise piiridesse mahtuv kiht.

Seeläbi suureneb nii tee deformatsioonikindlus kui ka kandevõime: kui joonise 10 vana kruusa e-mooduliks saab hinnata ca 70...100 MPa, siis uue, läbisegatud materjali osas ca 150...200 MPa. Oletades, et vaadeldava tee aluspinnase e-moodul on 30 MPa ning kruusakihi paksus 30 cm, on vana tee kandevõimeks ca 60 MPa. Kui ülemine 20 cm segada läbi uue mineraalmaterjaliga, tõuseb tee kandevõime ca 75 MPa peale ning samaaegselt suurendatakse deformatsioonikindlust ja vähendatakse niiskustundlikkust.



Fotod 7 ja 8. Olemasoleva kruuskattega tee terastikuline koostis on niiskustundlik ja madala deformatsioonikindlusega seoses kõrge peenosise ja liivafraktsiooni sisaldusega. Fotod: Infrap Oy ja Sven Sillamäe.



Joonis 10. Näide, kuidas hinnata terakoostise muutust läbi erineva sõelkõvera materjalide omavahelise segamise.

### 1.4.2 Sideainete kasutamine

Pinnase segamine sideainetega jagatakse kolme osasse:

- pinnaseomaduste parandamine (ing. *soil improvement*):
  - eesmärk on parandada olemasolevate pinnaste omadusi selliselt, et neid saaks tihendada ja transportida (peamiselt on eesmärgiks savitaoliste pinnaste kuivatamine ja omaduste parandamine);
  - tulemuseks on pinnase kõrgem kandevõime ja parem vastupidavus muutuvale veesisaldusele;
  - sideainena kasutatakse enamasti kustutatud lupja, mille toimet on võimalik näha videona allikas [25]. Sideainesisaldus sõltub pinnasest jäädes vahemikku 2...8% massist;
- täiendatud pinnaseomaduste parandamine (ing. *qualified soil improvement*):
  - eesmärk on parandada olemasolevate pinnaste omadusi, peamiselt suurendada kandevõimet ja vähendada külmarkerkelisust;
  - tulemusena suureneb kandevõime, väheneb pinnase kokkusurutavus, suureneb sisehõõrdenurk ning väheneb tundlikkus külmarkergete suhtes. Seeläbi on võimalik vähendada katendikihtide paksusi, kuna muldkeha pinnas on paremate omadustega, kui looduslikult esinev materjal;
  - näidiseks on fotol 9 kujutatu, kus veeanumasse on paigaldatud 4% põlevkivituhaga (keevkihikata elektrifiltrituhk) segatud moreen kõrvuti püdelaks muutunud moreeniga, mis on stabiliseerimata;
  - proovikeha 28p ühetelgne survetugevus  $\geq 0.5$  MPa, peale 24h vees seismist ei või survetugevus väheneda üle 50%. Kasutatakse hüdraulilisi sideaineid, tsemendi puhul ca 1.5...3% massist ning põlevkivituha (keevkihikata elektrifiltrituhk) osas ca 3...5%;

- pinnase stabiliseerimine (ing. *soil stabilization*):
  - eesmärk on tõsta olemasoleva pinnase vastupanu esinevale liiklus- ja ilmastikukoormusele, teisisõnu suurendada kandevõimet ning vähendada külmakerkelisust;
  - kasutatakse hüdraulilisi sideaineid, sideainesisaldus sõltub pinnasest (tsemendisaldus  $\geq 4\%$ , põlevkivituhaga kasutamisel  $\geq 6\%$  massist); katsekeha külmakerkelisus  $\leq 1\%$ , 28p survetugevus  $\geq 6$  MPa.

Metsateede kontekstis on kasutatav eelkõige pinnaseomaduste parandamine:

- *soil improvement* kustutatud lubjaga (pehmete) savide korral eesmärgiga lõhkuda saviosakeste omavahelist nidusust ja kuivatada pinnast, et materjali saaks muldkehas kasutamiseks paigaldada ja tihendada. Peale seda on vajaduse korral võimalik segada pinnas teistkordselt kasutades hüdraulilist sideainet suurendamaks pinnase tugevust;
- *qualified soil improvement* tsemendi ja/või põlevkivi elektrifiltrituhaga (hüdraulilised sideained) liivade, mällikate, savikate pinnaste, mällide omaduste parandamiseks eesmärgiga suurendada kandevõimet ja vähendada veetundlikkust. Savikate pinnaste (plastsusarv üle 20) puhul võib olla vajalik kasutada hüdraulilise sideaine ja lubja segu. Seejärel on võimalik, et piisab vaid 10...15 cm kulumiskihi ehitamisest muid mineraalmaterjale ja geosüntete paigaldamata.

Pinnaseomaduste parandamisel ja stabiliseerimisel on kaks peamist piirangut, mis tingimata ei välista tehnoloogia kasutamist, kuid mis nõuab täpsemaid laborikatseid:

- pinnase orgaanilise aine sisaldus halvendab lubja ja tsemendi keemilisi reaktsioone; tavapäraselt piiratakse orgaanikasisaldus kuni 2%-ni;
- pinnases sisalduvad sulfaadid põhjustavad koos lubjaga punduvaid keemilisi reaktsioone.

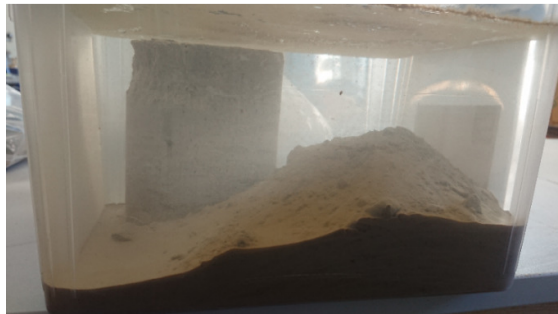


Foto 9. 4% põlevkivituhaga (keevkihi katla elektrifiltrituhk) stabiliseeritud moreeni võrreldes stabiliseerimata moreeniga, mis oli algselt samuti vormitud proovikehaks. Foto tegemise ajal on materjalid vee sees seisnud ca 1 kuu, stabiliseeritud proovikeha oli enne vette paigaldamist läbinud survetugevustesti, mistõttu on sellel näha murenemist. Vees seismine ei ole mõjutanud stabiliseeritud katsekeha püsivust. Foto: Rauno Leppik.

Pinnaseomaduste parandamist on võimalik teha nii stabiliseerimisfreesi kui lihtsama, traktori järgi haagitava seguriga, fotod 10 ja 11.



Fotod 10 ja 11. Pinnase stabiliseerimise põhimõte on sama, mis maanteed stabiliseerimisel: ettenähtud materjal segatakse stabiliseerimisfreesiga sideainega kokku, kuid lihtsamates olukordades on seda võimalik teha ka väiksema seguriga. Fotod allikast [17].

### 1.4.3 Geosünteedide kasutamine metsateedes, üldosa

Geosünteede kasutatakse metsateede ehitamisel:

- eraldamaks erinevaid pinnaseid omavahel vältides nende segunemist (nt savika pinnase ja teekatendi segunemise vältimiseks) – enamlevinud geosünteed selleks on mittekoatud geotekstiil (fotol 12 vasakpoolne materjal), aga kasutatakse ka koatud geotekstiile;
- tugevdamiseks teekatendit võimaldamaks kasutada õhemaid kihipaksusi, võimaldamaks suuremat koormust sama kihipaksuse korral või suurendamiseks kasutatava pinnase deformatsioonikindlust – enamlevinud geosünteed selleks on geovõrk (fotol 12 parempoolne materjal), aga kasutatakse ka koatud geotekstiile ja geokärge;
- tagamaks muldkeha stabiilsust, mis on vajalik nõrkade ja väga nõrkade pinnaste korral – enamlevinud geosünteed selleks on koatud geotekstiil, aga kasutatakse ka geovõrke; võimalikud on mitmed erilahendused;
- suurendamiseks nõlvade erosioonikindlust – erosioonitõkkematid (juhendis täpsemalt ei käsitleta);
- takistamaks vee imbumise pinnasesse (nt kustutusvee reservuaarides) – geomembraanid ja geosünteedilised savimatid (juhendis täpsemalt ei käsitleta).



Foto 12. Tallinna Tehnikakõrgkooli teekonstruktsioonide laboris läbi viidud täismõduline koormuskatsetus, millesse oli kaasatud ka mittekoatud geotekstiil (vasakul) ja geovõrk (paremal). Foto: Sven Sillamäe.

## Pinnaste eraldamine (mittekootud geotekstiilid)

Pinnased vajavad üksteisest eraldamist juhul, kui on oht nende omavahelisele segunemisele kas tingituna liikluskoormusest ja/või vee liikumisest (joonised 11 ja 12). Eraldava kihi kasutamise vajadust saab hinnata läbi „filterkriteeriumi“, mis tuleneb omavahel kokkupuutuvate pinnaste terastikulise koostise suhetest.

Aluspinnase ja selle peal paikneva kihi vahel vajatakse vahekihti või eraldavat geotekstiili (allpool ühisnimetaja „vahekiht“), kui peal oleva kihi materjali terakoostises on 2 mm sõela läbivaid osiseid:

- alla 15%: vahekihti vajatakse juhul, kui alla jääb pinnas, mille peenosisesisaldus on  $\geq 7\%$ , peenliiv, ühtlaseterine liiv või eripinnas;
- 15...25%: vahekihti vajatakse juhul, kui alla jääb pinnas, mille peenosisesisaldus on  $>15\%$  või eripinnas;
- 25...50%: vahekihti vajatakse juhul, kui alla jääb pinnas, mille peenosisesisaldus on  $>30\%$  või eripinnas;
- üle 50%: vahekihti vajatakse juhul, kui alla jääb pehme või väga pehme savi või eripinnas.

Vahekihti või geotekstiili vajatakse ka juhtudel, kui aluspinnas on mõjutatud kõrgeest veesisaldusest, liikluskoormusest või ehitustegevusest nii, et eri kihtide segunemise oht on kõrge.

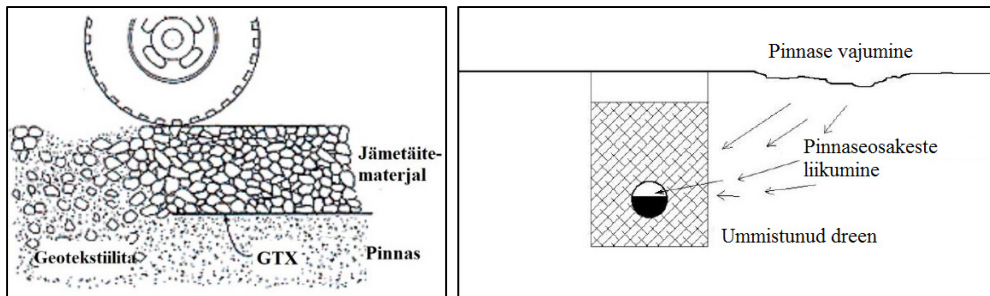
Mineraalmaterjalist vahekihi paksus peab olema minimaalselt 20 cm ning materjalid peavad täitma järgmised nõuded („filterkriteerium“, valem 4) (tavapäraselt on vahekiht peen- kuni jämeliiv (fSa kuni cSa) peenosisesisaldusega kuni 15%):

$$\frac{d_{20} \text{ vahekiht}}{d_{20} \text{ aluspinnas}} \leq 40$$

Valem 4

$$\frac{d_{20} \text{ pealmine kiht}}{d_{20} \text{ vahekiht}} \leq 40$$

$d_{20}$  = terasuurus (mm), mis vastab 20% sõelast läbimineku



Joonised 11 ja 12. Eraldavat vahekihti, mis võib olla nii geotekstiil kui „filterkriteeriumile“ vastav liiv, vajatakse takistamaks erinevate pinnaste omavahelist segunemist.

Üldjuhul on metsateedel soovituslik kasutada vahekihina geotekstiili pea kõikide aluspinnaste korral, kuigi Maaparandussüsteemide projekteerimismääruste §45 lõige 10 antakse ette järgmine lihtsustatud reegel:

- kui katendi alla jääva pinnase peenosise sisaldus on suurem kui 15% ja/või pinnase orgaanilise aine sisaldus on suurem kui 6% ja/või pinnase lõimisetegur  $C_U < 6$  (ehk näiteks

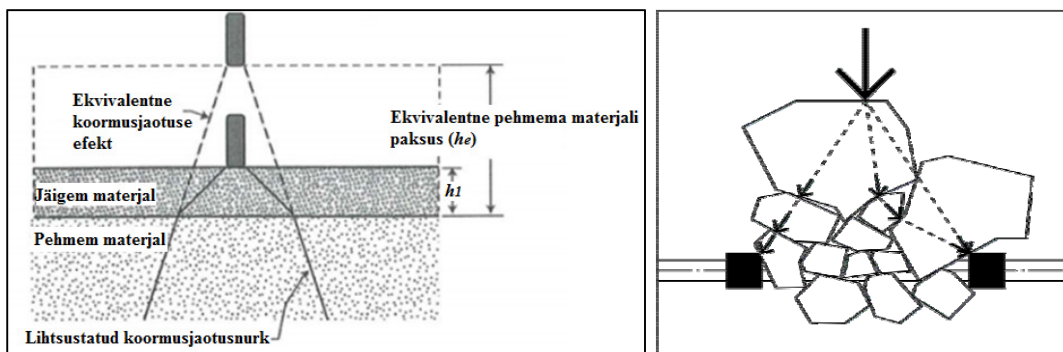
ühtlaseteraline liiv), projekteeritakse katendi eraldamine muldkehast või pinnasest eraldavat ja filtreerivat funktsiooni täitva geotekstiili või -komposiidiga.

Kogemuslikult on metsateede ehitamisel kõige sobilikumaks eraldavaks geotekstiiliks olnud IV-profili materjal vastavalt NorGeoSpec nõuetele. Sobiliku mittekootud geotekstiili täpsemad valikukriteeriumid on esitatud lisas 1.

### Teekatendi tugevdamine (geovõrgud)

Peatükis 1.1 on esitatud erinevate järkude teedele minimaalsed arvutuslikud kandevõimed, mis on katendi arvutamise ja konstrueerimise aluseks. Teekatend on defineeritud kui mitmekihiline konstruktsioon, mis võtab vastu transpordivahendite koormuse ja jaotab selle pinnasele. Seega on katendi peamiseks ülesandeks võimaldada ettenähtud liiklusvahenditel liigelda sellel pinnasel, mis teetrassil esineb. Mida nõrgem pinnas, seda tugevam/paksem peab olema katend ja vastupidi. Lisaks kandevõimele on oluline, et katendis kasutatavatel materjalidel oleks piisavalt kõrge vastupidavus püsivatele deformatsioonidele (roobastele).

Tugevdava (või stabiliseeriva) geosünteedi eesmärk on jaotada liiklusvahenditelt tulenevat koormust laiemale alale võimaldades kasutada kas õhemaid kihipaksusi või suuremaid koormusi, joonis 13. Geovõrgu toimimispõhimõtte on esitatud joonistel 14, millest nähtub, et materjaliosakesed lukustuvad geovõrgu avaustesse, misjärel kantakse osa koormust selle tasapinda.



Joonised 13 ja 14. Geovõrkude lukustuseefekt aitab tekitada jäigemat kihti, mistõttu sama kandevõime juures saab vähendada kihipaksusi või võimaldada rohkemate normtelgede ülesõitu. Efektivsemaks toimimiseks peab materjali terasuurus olema vastavuses geovõrgu ava suurusega. Joonis allikast [11]

Geovõrguga sarnase toimega on geokärg, mis samuti takistab materjalide „laialivajumist“ tekitades koostöös pinnasega komposiitkihi. Geokärje kasud avalduvad eelkõige selliste pinnaste juures, millel ei ole kõrget nihketugevust, nt kui liivpinnas deformeerub kergesti vahetul koormamisel, siis paigaldades see geokärje sisse, saab sellest ehitada teed. Geokärge kasutatakse laialdaselt erosioonitõkkematerjalina ning muuhulgas on selle abil võimalik kindlustada teed kohtades, kus on oht kõrgevee ajal teekatte ärauhumisele (foto 13).

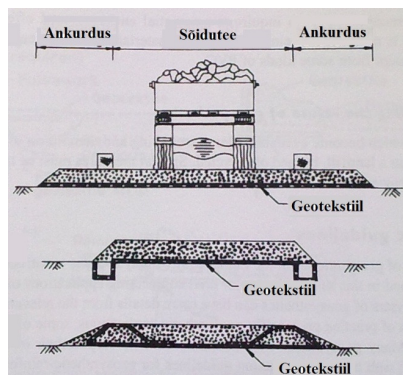




Foto 13. Geokärge on kasutatud kohas, kus suurvesi tõuseb teest kõrgemale. Eesmärgiks on hoida tee konstruktsioon madalana ja hoida jämetäitematerjali kinni. Foto: Sven Sillamäe.

Lisaks geovõrkudele ja geokärgedele kasutatakse teekatendi tugevdamiseks ka kootud geotekstiile. Kui esimesed toimivad läbi „lukustusefekti“ (s.t pinnaseosakesed lukustuvad füüsiliselt geosünteedi ribide vahele), siis geotekstiil toimib läbi hõõrdejõu, mistõttu on oluline, et selle kasutamisel ääred ankurdataks, mille näidised on joonisel 15 ja fotol 14.

Erinevalt sobiliku eraldava geotekstiili valimise juhistest (lisa 1) ei ole katendit armeeriva/tugevdava/stabiliseeriva geosünteedi valikul ühtset meetodikat, mistõttu on igale objektile vaja läheneda individuaalselt. Teemat täpsustatakse peatükis ...



Joonis 15 ja foto 14. Kasutades katendi tugevdamisel kootud geotekstiili, tuleb ääred ankurdata. Geovõrkude puhul ei ole see vajalik. Joonis allikast [16], foto [8].

### Muldkeha stabiilsuse tagamine

Katendi tugevdamine ning muldkeha, nõlvade, tugiseinte jms stabiilsuse tagamine on kaks erinevat teemat. Kui teekatendi kandevõime ei ole piisav, tekivad kattesee roopad, kuid kui nõrgale pinnasele (nt turvas või väga pehme savi) ehitatud mudleha stabiilsus ei ole tagatud, ei ole teed võimalik üldse rajadagi või toimub mingi aja möödudes tee täielik purunemine ehk stabiilsuse kadu (foto 15). Katendi tugevus kontrollitakse katendarvutusega, muldkeha stabiilsus geotehnilise arvutusega.



Foto 15. Nõrgale pinnasele (antud juhul turbale) ehitatud muldkeha on purunenud nõrga pinnase stabiilsuse kadumise tõttu. Foto allikast [7].

Muldkeha stabiilsuse probleemid tõstatuvad eripinnaste ja väga pehme savi korral. Muldkeha stabiilsuse tagamiseks on mitmeid viise, sobiliku meetodi valik sõltub arvutuste tulemustest ning majanduslikest kaalutlustest (metsa- ja muude sarnaste teede puhul on tasub kaaluda eelkõige allajoonitud variante):

- geosünteedidega või muul viisil (nt puidust parved) armeerimine;
- etapiviisiline ehitamine, sh ülekoormamine suurendamiseks pinnase tugevust järk-järgulise koormamisega;
- vaivundamendid (eksisteerib väga mitmeid vaiade lahendusi);
- geosünteediga ümbritsetud, sideainega tugevdatud või lihtsalt pinnasest (liiv, kruus) pinnassambad;
- süvatihendamine;
- vastukaalu rajamine (sh nõlvade lamendamine);
- mass-stabiliseerimine;
- kergekonstruktsioonid;

Lisaks muldkeha stabiilsusprobleemidele tuleb arvestada ka nõrkade pinnaste, eriti turba, suure kokkusurutavusega. Väga konkurentsivõimelise lahendusena võiks nimetada kombinatsiooni kohalikest kergtäitematerjalidest (nt puukoor, foto 16) ja geosünteedidest – esimene võimaldab vähendada mass-täite koormust ning teine tagada konstruktsiooni stabiilsust.



Foto 16. Üheks sobilikuks viisiks, kuidas ehitada (metsa)teed üle raba eriti keerulistes tingimustes (kõrged veesisaldused ja paksud turbakihid), on puitparvede ja puukoorest kergetäitematerjali kasutamine. Fotod: Sven Sillamäe.

### 1.5 Muldkeha projekteerimine

Metsateede ehitamise levinud praktikaks on, et muldkeha projekteeritakse ja ehitatakse kohapealsest pinnasest, peamiselt kraavide ja nõvade kaevamisel saadud materjalist. Reeglina katab maapinda humuskiht, mis paigaldatakse samuti muldkeha sisse. Siinjuures tuleb jälgida, et tee konstruktsioonis paikneksid materjalid tugevuse mõttes kasvavas järjekorras. Seega, kui suhteliselt õhukese kasvupinnase kihi all (ca kuni 30...40 cm) paikneb heakvaliteediline materjal (liiv, kruus jne), tuleks enne kraavide kaevamist ja muldkeha ehitamist humuskiht eemaldada, et mitte tekitada nõrgemast materjalist vahekihti, kuna see nõuab tugevama teekatendi rajamist. Kui kasvupinnase kihipaksus on suur (üle 30...40 cm), võib olla mõistlikum kasutada seda täitekihina ning arvestada pinnase olemasoluga teekatendi konstrueerimisel.

Orgaanikasisaldusega ning mölliste ja saviste pinnaste tugevusomadused on tugevas sõltuvuses veesisaldusest. Kui taolised pinnased on liigniisked, on nende ümberpaigutamine ja tihendamine keerukas (eriti savipinnaste osas, kui nende veesisaldus ületab 70% voolamispiirist), mis nõuab pinnase kuivatamist (mis saavutatakse jättes muldkeha mingiks ajaperioodiks seisma) või töötlemist aktiivsete lisaainetega (nt põlevkivituhad). Vastasel juhul ei saavutata vajalikku tihendustegurit, muldkeha kandevõime jääb liiga madalaks, mis võib viia teekatendi purunemiseni (fotod 17 ja 18). Pinnase soovituslikud maksimaalsed veesisalduse väärtused sõltuvalt nõutud tihendustegurist  $K_t$ , mis on esitatud tabelis 5. Metsatee muldkeha tihendustegur peab olema vähemalt 0,95 standardsest Proctorteimist (EVS-EN 13286-2).



Fotod 17 ja 18. Kui ebapiisava paksusega teekatendi alla jääb ebapiisava kandevõimega pinnas (mis võib olla põhjustatud madalast tihedusest ja/või kõrgest veesisaldusest), on tagajärjeks teekatendi purunemine. Fotod: Sven Sillamäe.

Tabel 5. Tihendatava pinnase soovituslikud maksimaalsed veesisaldused vastavalt pinnaseliigile

<b>Pinnase lubatav maksimaalne veesisaldus tihendamisel</b>				
<b>Pinnased</b>	<b>Veesisaldus nõutava pinnase tihendusteguri <math>K_t</math> saavutamisel</b>			
	$W_{lub}$			$W_{max}$
	$K_t > 1,0$	$K_t = 0,98$	$K_t = 0,95$	$K_t = 0,90$
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 mällsavi	1,05 $W_0$	1,10 $W_0$	1,20 $W_0$	1,40 $W_0$
Savi, mällsavi	1,00 $W_0$	1,05 $W_0$	1,15 $W_0$	1,30 $W_0$

Märkused:

1.  $W_0$  – optimaalne veesisaldus standardsel Proctorteimil (EVS-EN 13286-2);
2. suvel liivpinnasest mulde rajamisel veesisaldust ei piirata;
3. talvel ei tohi mulde rajamisel veesisaldus olla üle: 1,3  $W_0$  liivpinnases; 1,2  $W_0$  savises või möllises liivas; 1,1  $W_0$  teistes nidusates pinnastes;
4. pinnase lubatava veesisalduse suurus võib olenevalt kasutusel olevast tihendustehnikast varieeruda.

Projekteerides tee konstruktsioon väga jämedateralisest materjalist, tuleb selle peale ette näha kiilumis- või tasanduskihid. Eriti aktuaalne on see olukorras, kus materjal on kitsa terakoostisega, nt paekivimurd, „põlevkiviaheraine“ fr 0/300 mm vms, kuna taolise materjali tühiklikkus on kõrge ja poorid suure läbimõõduga („põlevkiviaheraine“ fr 0/90 mm tühiklikkus on peale metsatee valmimist ca 30%, suuremate fraktsioonide puhul kõrgem). Ilma sobiliku kiilumiskihita vajub pealne kiht alumise kihi pooridesse tekitades materjalikadusid ning vajaduse tee enneaegsaks remondiks (nt kulumiskihi uuendamise vajadus, kuna materjal on vajunud alumise kihi pooridesse).

Sobilikud üleminekud on järgmised:

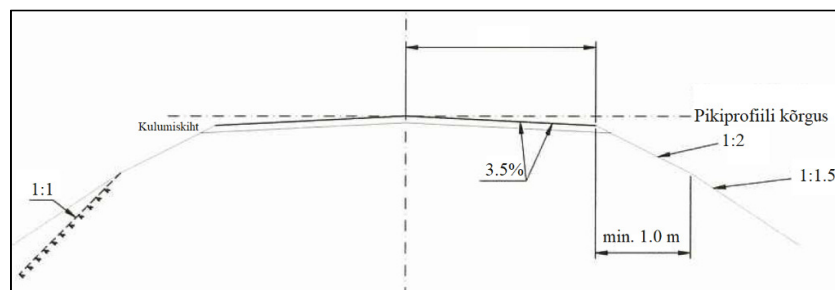
- kuni 300 mm teraläbimõõduga materjali kasutamise korral peaks selle peale paigaldama materjali, mille maksimaalne teraläbimõõt D on kuni 63 millimeetrit (nt fr. 31,5/63 mm)

- kuni 600 mm teraläbimõõduga materjali kasutamise korral peaks selle peale paigaldama materjali, mille maksimaalne teraläbimõõt  $D$  on kuni 125 millimeetrit (nt fr. 0/90, 0/125 mm).

Kiilumis- või tasanduskihi peale paigaldatakse kas järgmine katendikiht või killustikkatte ehitamise korral kulumiskiht järk-järgulise kiilumisega kasutades peenemaid killustikfraktsioone. Kiilumiskihi võib asendada sobiliku, eraldusfunktsiooni täitva geotekstiiliga (IV-profiil), kuid seejuures tuleb arvestada minimaalse vajaliku kihipaksusega 20 cm tekstiili peal. Seega, kui teekatend koosneb näiteks „põlevkiviaherainest“ fr 0/90 mm, mille peale tuleb 10 cm kulumiskiht, peab kasutama kiilumiskihti ning seda ei saa asendada geotekstiiliga.

Väga jämedateralise materjali kasutamisel tuleb jälgida, et projekteeritav kiht ei oleks liiga õhuke: rajatavas kihis ei tohi suuremate pinnaseosiste läbimõõd tihendatava kihi paksusest üle  $2/3$ .

Muldkeha nõlvus projekteeritakse ühe meetri laiusel osal mõõdetuna teekatte ülaservast nõlvusega 1:2, sealt edasi üldjuhul nõlvusega 1:1.5, kui olemasolev pinnas seda võimaldab; vajadusel kasutada erosioonitõkkelahendusi (joonis 16). Muldkeha maksimaalsed nõlvused olenevalt materjalist on esitatud tabelis 6. Süvendi nõlvus määratakse nõlva stabiilsuse arvutustega või arvestades tabelis 7 esitatut, kui nõlva püsivust ei mõjuta põhjavee voolamisest põhjustatud hüdrodünaamiline jõud.



Joonis 16. Metsatee muldkeha tüüpne ristlõige.

Tabel 6. Muldkeha või nõlva maksimaalsed nõlvused sõltuvalt pinnasest

Muldkeha pinnased	Suurim nõlvus nõlva kõrgusel, m		
	≤6	≤12	
		Alaosas 0 – 6	Ülaosas 6 – 12
Vähemureneva kaljupinnase rahnud	1:1–1:1,3	1:1,3–1:1,5	1:1,3–1:1,5
Jämedateralised pinnased	1:1,5	1:1,5	1:1,5
Peenliivad ja peeneteralised pinnased <sup>1</sup>	1:1,5 1:1,75	1:1,75 1:1,2	1:1,5 1:1,75

Märkused:

1. nimetajas toodud suurused kehtivad ühtlaseteraliste liiv- ja möllpinnaste korral ( $C_U =$  kuni 6 ja  $C_C < 1$ ), lugejas ülejäänud pinnastele;
2. mulde nõlva kõrgus määratakse nõlva üla- ja alaserva kõrguste vahena.

Tabel 7. Süvendi maksimaalsed nõlvused sõltuvalt pinnasest

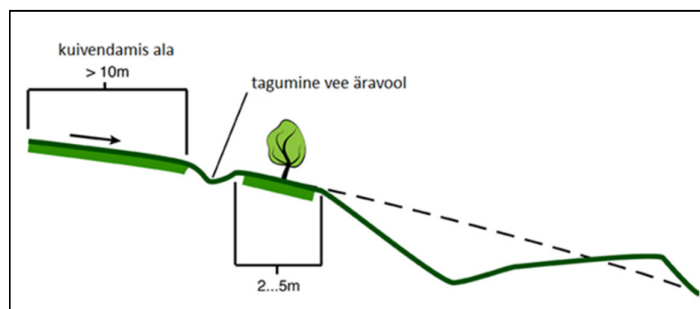
Pinnased	Nõlva kõrgus m	Suurim nõlvus
Vähemurenenud kaljupinnas	≤16	1:0,2–1:0,5
Kergelt murenenud kaljupinnas	≤16	1:0,5–1:1,5
Kruuspinnas	≤12	1:1–1:1,5
Liivpinnas, v.a kohev	≤12	1:2
Peeneteraline pinnas $I_L \leq 0,25$	≤12	1:1,5

Märkused:

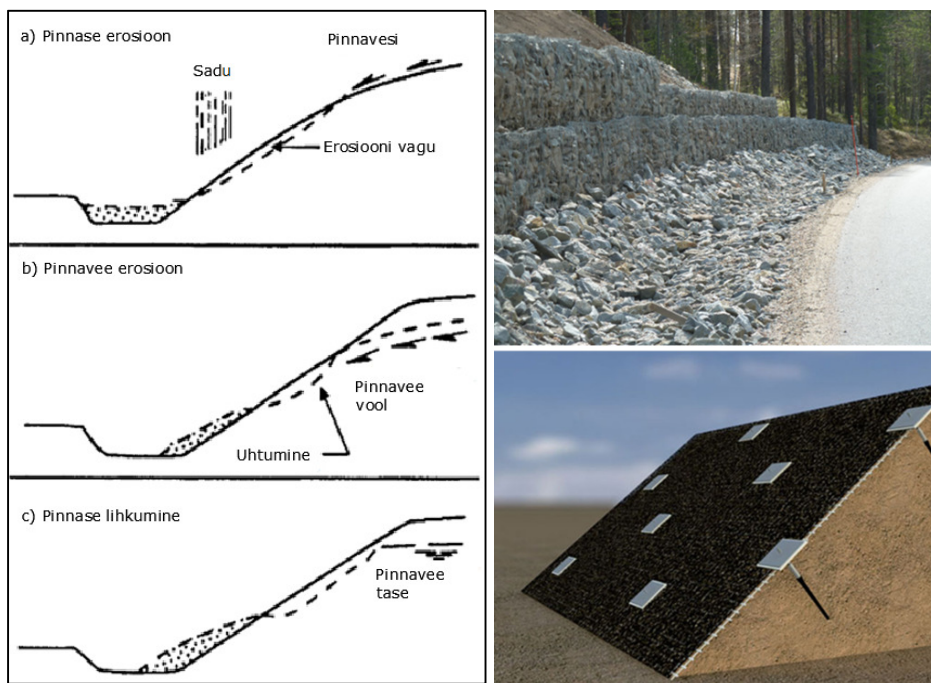
1. vähemurenevates kaljupinnastes on lubatud vertikaalnõlvad;
2. süvendi nõlva kõrgus määratakse üla- ja alaserva kõrguste vahena. Mäenõlval võetakse käesoleva tabeli kasutamisel arvesse ülemine nõlv.

Nõlva stabiilsust ohustavad nii pindmine kui seesmine erosioon. Viimase all mõistetakse erosiooni, mis toimub pinnaseosakeste transpordi teel pinnasekihi sees, pinnasekihtide piiril või pinnase ja konstruktsiooni piiril. See võib põhjustada lõpuks regressiivse erosiooni, mis viib pinnase struktuuri kokkuvarisemiseni (joonis 18). Taolised olukorrad tekivad, kui tee viiakse süvendisse tekitades sellega uue nõlva pinnasesse, milles liigub vesi. Seesmist erosiooni põhjustavad veel näiteks ummistunud või aladimensioonitud truubitorud.

Seesmise erosiooni probleeme saab lahendada ainult hästitoimiva dreenaaziga. Üheks võimaluseks on lõigata vee vool ära enne nõlvsust (joonis 17), teiseks võimaluseks on kindlustada nõlv selliselt, et nõlvast väljuv vesi ei saaks välja kanda pinnaseosakesi ning et liigveest nõrgenenud pinnas oleks kindlustatud (foto 19 ja joonis 19).



Joonis 17. Külgkaevendita muldkeha mäepoolsele küljele projekteeritakse kraav, nõva või dren pinnavee ärajuhtimiseks (Maaparandussüsteemi projekteerimismisnormi §46 lõige 5). Joonis allikast [Roadex].



Joonised 18 ja 19, foto 19. Nõlva seesmise erosiooni tekkepõhjused, mida saab vältida nõlva kindlustamisega. Joonised allikatest [Roadex] ja [NAUE], foto [Roadex].

## 1.6 Tee projekteerimine nõrkadele pinnastele

Maaparandussüsteemi projekteerimismäärde nimetatakse nõrkadeks pinnasteks „eripinnaseid“, mille drenimata nihketugevus looduslikus olekus on  $\leq 20$  kPa. Taoliste pinnastele muldkeha projekteerimise või tee muldes eripinnase kasutamise kavandamise korral tuleb vajadusel ette näha meetmed muldkeha kaitseks deformatsioonide eest (meetmed loetletud peatükis 1.4.3). Vajadus tekib siis, kui muldkeha püsivus ei ole tagatud, mida kontrollitakse geotehniliste arvutustega.

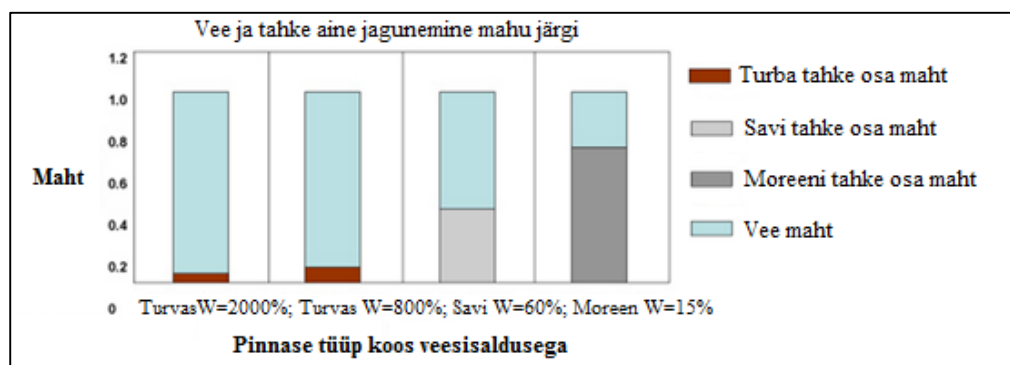
Lisaks tuleb arvestada nõrga pinnase konsolideerumisega ehk vajumisega. Enne katendi rajamist peab muldkeha intensiivne vajumine olema lõppenud, milleks leotakse aega, millal mulde või selle alla jääva pinnase või nende mõlema konsolidatsioon on saavutanud 90% oma lõppväärtusest.

Nõrgale pinnasele ehitatava metsatee tüüplahendused on esitatud peatükis 1.6.2.

### 1.6.1 Turbast

Alljärgnev info, kui ei ole viidatud teisiti, pärineb allikatest [15] ja [1].

Turvas on orgaaniline materjal, mis koosneb maandunud taimeosistest ja nende vahelisi poore täitvast veest. Turba omadused olenevad eelkõige selle tihedusest ja lagunemise astmest, mis on omavahel ka seotud. Turba tihedust iseloomustavad hästi veesisalduse väärtused. Loodusliku, kokkusurumata turba kuivmahumass on suurusjärgus  $200 \text{ kg/m}^3$  ja turbast ca 5x raskema vee ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) sisaldus protsendina turba omakaalust on alati kordades suurem, mistõttu on veesisalduse väärtuseks alati rohkem kui 100% (joonis 20).



Joonis 20. Erinevate pinnaste võrdlus vee ja tahke aine jagunemise alusel [15].

Turba veesisaldust saab mingi täpsusega hinnata tema lagunemisastme järgi (tabelid 8 ja 9), mis võimaldab anda teatud hinnanguid, kuid tee projekteerimise jaoks on veesisaldust vaja siiski mõõta. Turba lagunemisastet saab kindlaks teha käes märga proovi pigistades. Kui pigistamisest ei ole turba liigse kuivuse tõttu kasu, peab turvast hindama välimuse järgi: lagunemata või mõõdukalt lagunenu turbas on märkimisväärne osa fraktsioone, milles on näha hästi säilinud taimseid jäänuseid ning tugevasti või täielikult lagunenu turbas täimsed jäänused puuduvad.

Tabel 8. Turba lagunemisaste [EVS-EN ISO 14688-2:2018]

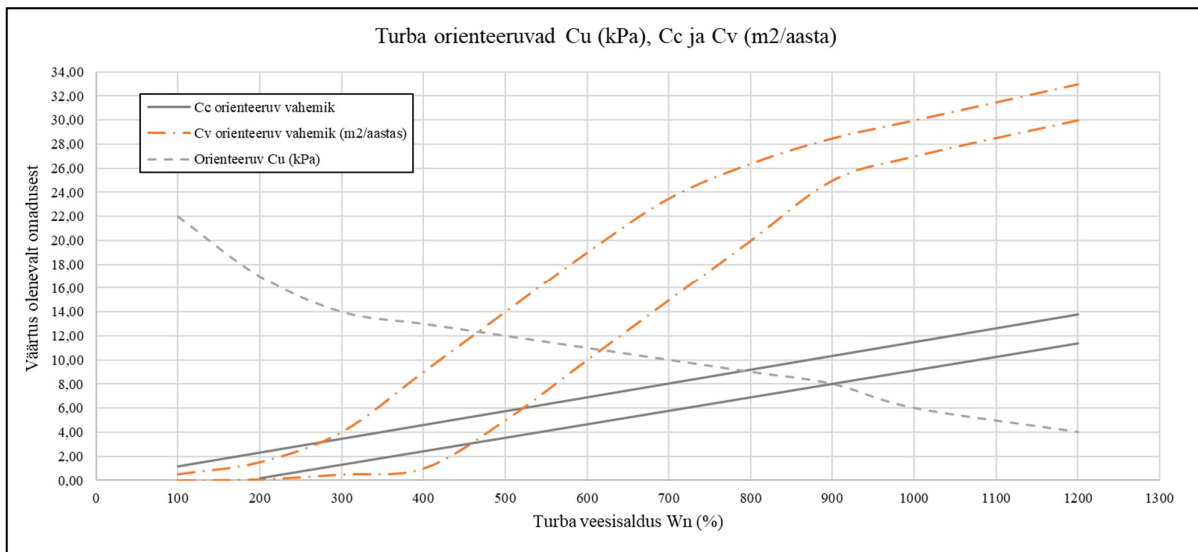
Termin	Lagunemine	Jäänused	Pigistamisel
Kiuline	Vähene või puudub	Selgelt äratuntavad	Ainult vesi, tahkeid aineid hulgas ei ole
Pseudokiuline	Mõõdukas	Kiudude ja amorfse pasta segu	Vesi sogane, tahkeid aineid < 50%
Amorfne	Täielik	Ei ole äratuntavad	Pasta, tahkeid aineid >50%

Tabel 9. Kokkuvõte turba omadustest vastavalt lagunemisastmele

Mehaanilised näitajad	Turba liik		
	Lagunemata turvas	Mõõdukalt lagunenu turvas	Täielikult lagunenu 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 ( $\text{kg/m}^3$ )	900 - 1100	900 - 1100	900 - 1100



Turba veesisalduse ning kokkusurutavus- ja tugevusparameetrite vahel esineb joonisel 21 esitatud korrelatsioon. Graafiku väljatöötamisel on kasutatud allikaid [13], [1] ja Tallinn – Tartu mnt Võõbu katselõigu laboriandmed. Esitatud andmed ei ole absoluutsed vaid suuniseid andvad.



Joonis 21. Turba drenimata nihketugevuse ( $c_u$ , kPa), kompressiooniindeksi ( $C_c$ ) ja konsolidatsioonimooduli ( $c_v$ , m<sup>2</sup>/aastas) orienteeruvad väärtused sõltuvalt veesisaldusest.

Jooniselt 21 on puudu sekundaarse konsolidatsioonimooduli  $C_a$  väärtus. Allika [12] andmetel jääb turvastel  $C_a/C_c$  vahemikku  $0.06 \pm 0.01$ . Sekundaarne konsolidatsioonimoodul sõltub koormuse suurusest (mida suurem koormus, seda kõrgem  $C_a/C_c$ , nt allika [1] alusel on see kiulisel turbal 50 kPa juures umbes 0.07, 100 kPa juures ca 0.1 ja 300 kPa juures 0.105), kuid metsateede osas piisab eelnevalt toodud seosest.

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. Aeglasel koormamisega antakse vabale veele aega turbast väljuda. Liiga kiire koormamise tõttu poorivee rõhk tõuseb ning koormust ei kanta enam turba skeletile ja mass kaotab stabiilsuse.

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 tee ehitamise ajal. Pärast tee ehitamist ja peamise vajumi tekkimist, vajumine jätkub aeglasemalt (kiirus muutub logaritmi suhtes lineaarselt).

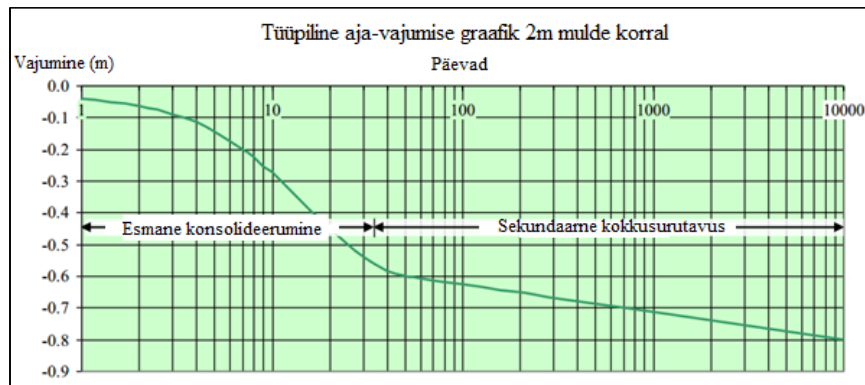
Üldiselt võttes, turvas konsolideerub, tiheneb ja vajub kahes astmes:

- 1) esimese astme konsolideerumine. Turvas on looduslikus olekus hästi vett läbilaskev. Vahetu vajum või vahetu konsolideerumine kontrollitud koormuse all on 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);

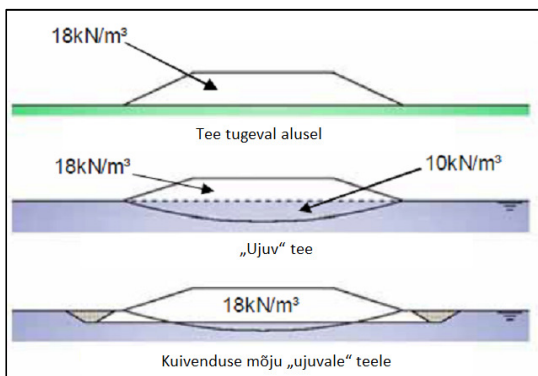
- 2) teise astme tihenemine. Turba koormamise jätkudes koormuse kandumine pooriveest turba skeletile jätkub ja turbamassi tugevus kasvab. Teine aste on lineaarne aja logaritmilisele (joonis 22), kui turbaskelett muutub aja jooksul järjest tihedamaks, poorid muutuvad väiksemaks ja turba veejuhtivus alaneb.

Esimese astme konsolideerumise suurus sõltub suuresti turbatüübist, mis moodustab ca 50...70% kogu vajumisest, mis aegade jooksul tekib. Teise astme tihenemine ja vajumine toimub kuni ca 30 aasta jooksul.



Joonis 22. Esmase ja sekundaarse (teise) astme konsolideerumise/kokkusurutavuse ajaline graafik [15]

Turvas saavutab teatud aja jooksul koormuse all tasakaaluseisundi, mis tekib koormuse, konsolidatsiooniastme, turbamassi tugevuse kasvamise, pinnasevee kõrguse ja võimalike üleslükkejõudude vahel. Tasakaaluseisundit mõjutavad uute katendikihtide lisamine või kraavide süvendamisega muutuvad hüdrokeoloogilised tingimused, mis viivad tavaliselt lisavajumiseni (joonis 23).



Näidis:

Kruusa mahukaal,  $\gamma$ , 18 kN/m<sup>3</sup>  
 Veega küllastunud kruusa tihedus,  $\gamma_s$ , 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Vee mahukaal,  $\gamma_w$ , 10 kN/m<sup>3</sup>  
 Küllastunud turba tihekkus, 10 kN/m<sup>3</sup>  
 Vette uputatud kruusa efektiivne tihedus,  $\gamma' = \gamma_s - \gamma_w$   
 $= 20 - 10 = 10$  kN/m<sup>3</sup>  
 Tiheduse erinevus:  $\gamma - \gamma' = 8$  kN/m<sup>3</sup>

Joonis 23. Vee ja kuivenduse mõju „ujuvale“ teele.

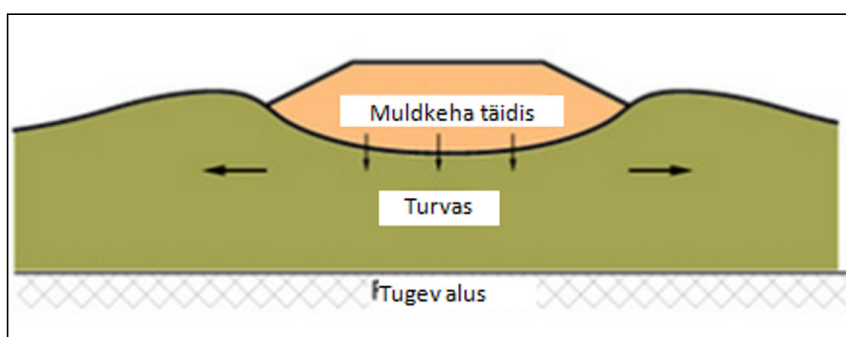
### Turbapinnasele tee projekteerimine

Turvas on väga nõrga nihketugevusega tugevalt kokkusurutav pinnas (joonis 24). Kuigi konsolideerumisega turba tugevus järk-järgult suureneb, tuleb esimeses ehitusetapis arvestada turba

loodusliku nihketugevusega. Tee (muldkeha) stabiilsus tagatakse samamoodi, kui muude nõrkade pinnaste puhul, kuid turba osas lisandub veel turba konsolideerumine, mis võib moodustada olenevalt veesisaldusest ja tee koormusest ca 10...70% turbakihi paksusest.

Seega võib öelda, et turba puhul on konsolideerumise suurus nihketugevusest kriitilisem näitaja eriti arvestades sellega, et rohkesti kiude sisaldavates turvastes ei ole stabiilsus tavaliselt probleemiks, kuna kiud lisavad nihkekindlust. Mida kõrgem on turba lagunemisaste, seda väiksem on selle nihketugevus, mistõttu on uuringutes oluline, et lisaks veesisaldusele oleks määratud ka lagunemisaste (tabel 8).

Turbale tee ehitamisel tuleb arvestada veel sellega, et deformatsioonid võivad toimuda ka turba all olevates kihtides, eriti juhtudel, kui nende kandevõime on turbast väiksem. See muutub oluliseks olukorras, mil turvas on konsolideerunud kandes järjest enam koormust üle all paiknevale pinnasele.



Joonis 24. Turba käitumine muldkeha koormuse all [15].

Vajumi hindamiseks on võimalik teha vajumiarvutused kasutades selleks kompressiooniindeksi ( $C_c$ ), konsolidatsioonimooduli ( $c_v$ ,  $m^2/aastas$ ) ja sekundaarse konsolidatsioonimooduli  $C_a$  väärtusi, mis on esitatud joonisel 21 ja selle all.

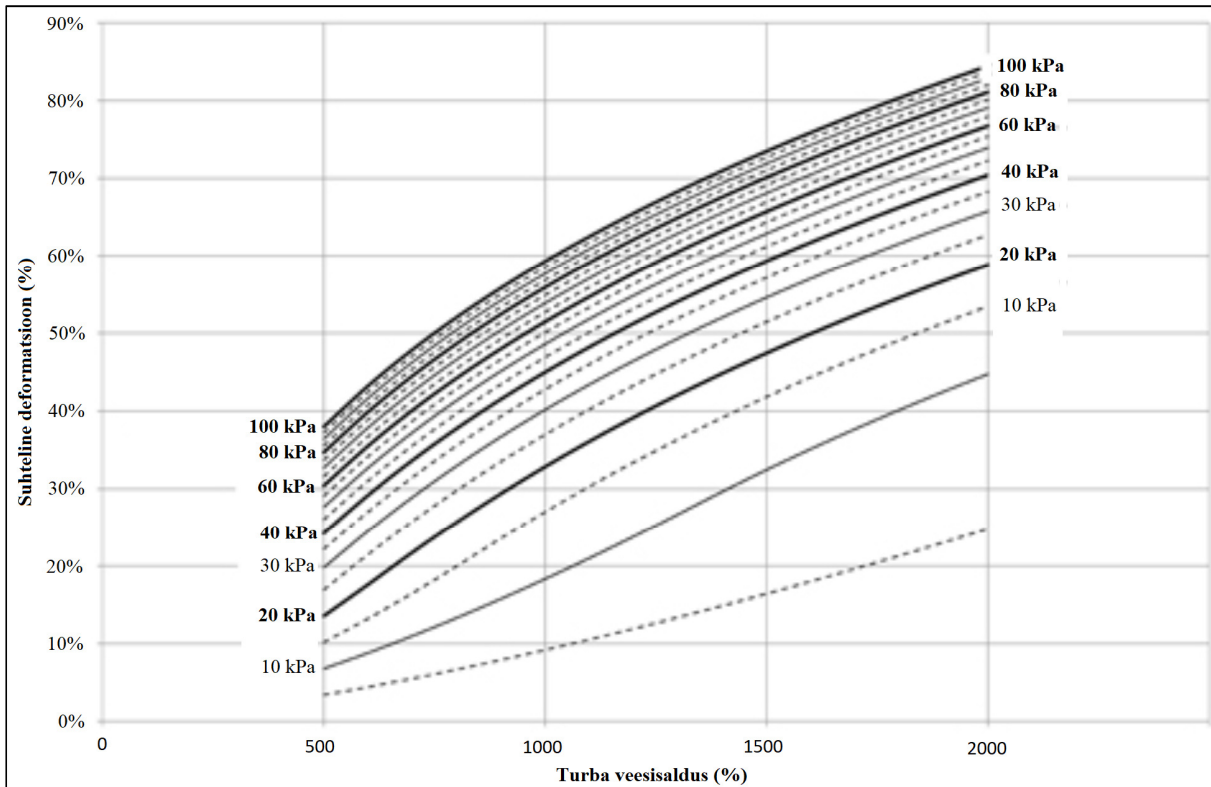
Turba konsolideerumist ja selle ajalist kulgu saab lihtsustatud viisil hinnata kasutades Rootsi maanteeameti (edaspidi „STA“) meetodit, mis tuleneb pikaajalistest kogemustest, mis on saadud Rootsis turba peale ehitatud teedelt. Meetodiga ennustatakse esimese vajumi suurust konsolidatsiooni ajal. Teise astme tihenemise arvestamiseks soovitatakse kasutada sobivat arvutiprogrammi/mudelit.

STA-meetod põhineb diagrammidel, mis on koostatud jälgides aastatel 1979...1998 ehitatud teid (joonised 25 ja 32). Diagramme kasutatakse esimese konsolidatsiooni hindamisel turbaaladel, kui rikkumatuid pinnaseproove pole saadaval. Diagrammidel on muutujateks neli peamist tegurit:

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

Diagrammid põhinevad kogemustele kiulistele ja keskmiselt lagunenenud turvastele ehitatud teedelt. Diagrammide kasutamisel eeldatakse, et turvas on konsolideerunud normaalselt (s.t koormatud on

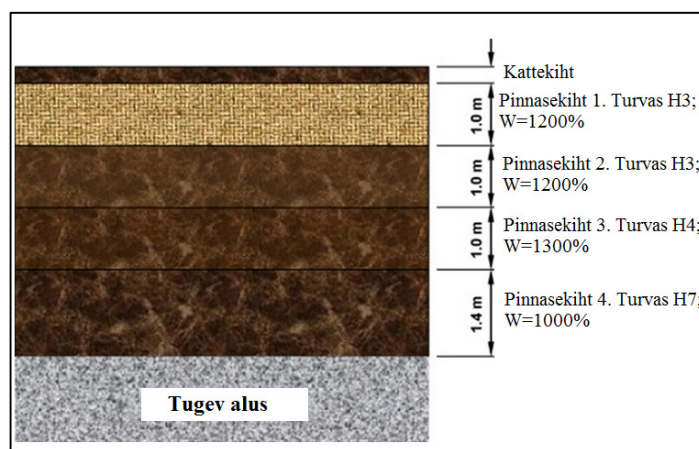
järk-järgult turba nihketugevust ületamata). Meetod põhineb turba veesisalduse ja deformatsiooni omavahelisel suhtel, mida on kujutatud joonisel 25.



Joonis 25. STA-arvutusmeetodika kohane veesisalduse, deformatsiooni ja pingete omavahelised suhted [15].

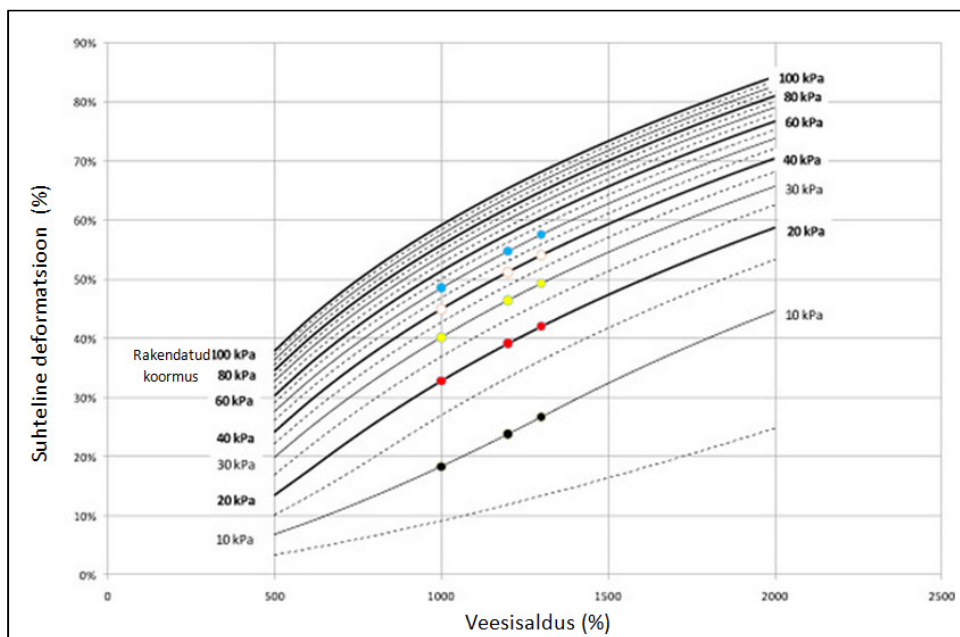
Järgnev näide kirjeldab vajumisprotsessi, kui 2,5 m paksune mulle on ehitatud 4,5 m paksuse turbakihi peale. Metsateedel ei ole mõistlik kasutada nii pakse mineraalmaterjalikihte, kuid kui on oluline tagada teekatte teatud stabiilsus ja tugevus (nt tee on vaja asfalteerida) ning ei kasutata pinnaseparandusmeetodikaid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

Turvas on jagatud nelja kihti, mille paksused on 1,0 m, 1,0 m, 1,0 m ja 1,4 m ning kihtide veesisaldused vastavalt 1200%, 1200%, 1300% ja 1000%. Detailid on esitatud joonisel 26.



Joonis 26. Näidisarvutuse lähteandmed: 2,5 m paksune mulle on ehitatud 4,5 m paksuse turbakihi peale.

Esimene etapp STA-meetodis on luua koormus-deformatsioonisuhe vaadeldavale konstruktsioonile, mis saadakse arvutustehetega, millega jäljendatakse tüüpilist mulde koormamist (joonised 27 ja 28).



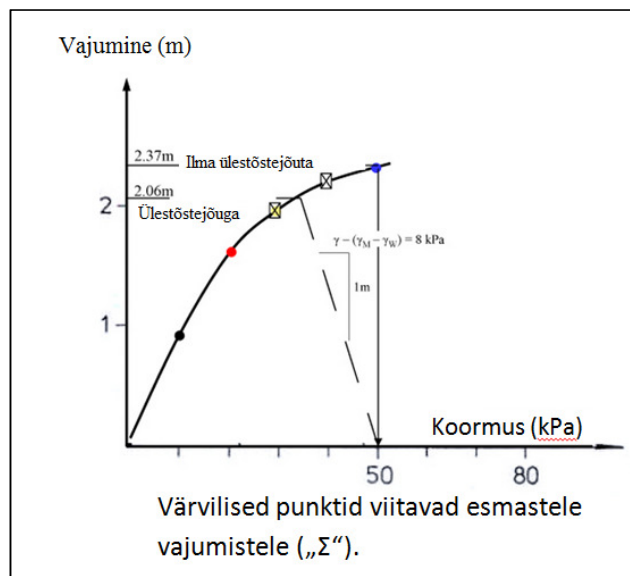
Joonis 27. Suhtelise deformatsiooni arvutamislähte kasutades diagrammi joonisel 25.

Tegemist on deformatsiooni-veesisalduse diagrammiga, mille andmed tulevad järgmistest mulde koormamistsüklitest 10 kPa (●), 10 kPa (●), 10 kPa (●), 10 kPa (○), 10 kPa (●). Näidatud värvilised punktid on esitatud joonisel 29 olevas koormamistsüklis.

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

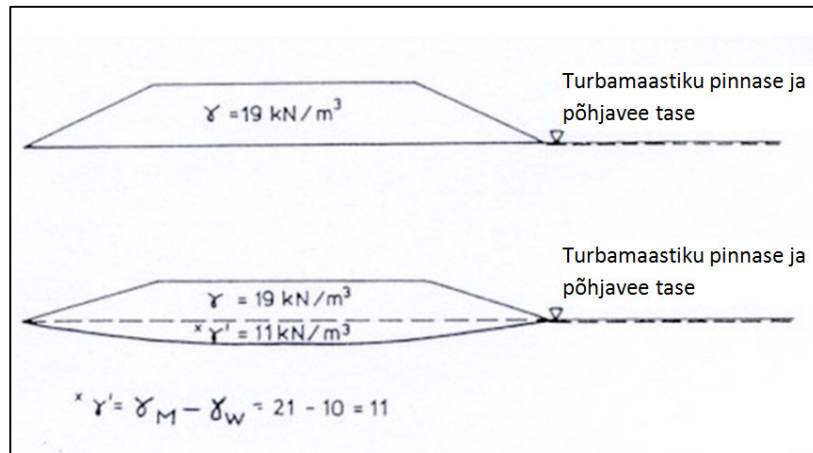
Joonis 28. Koormus-deformatsioonidiagramm näidismuldele. Esmase vajumi suurus turbas on 0,98 m 10 kPa koormusega, mis kasvab kuni 2,37 m 50 kPa koormuse juures.

Lisades esmased vajumid „Σ“ ja koormused samale diagrammile joonistub näidismulde koormus-deformatsioonigraafik (joonis 29). Esitatud diagramm ei arvesta üleslükkejõudu, mis mõjutab muldkeha vajudes allapoole pinnaseveetaset (joonis 30).



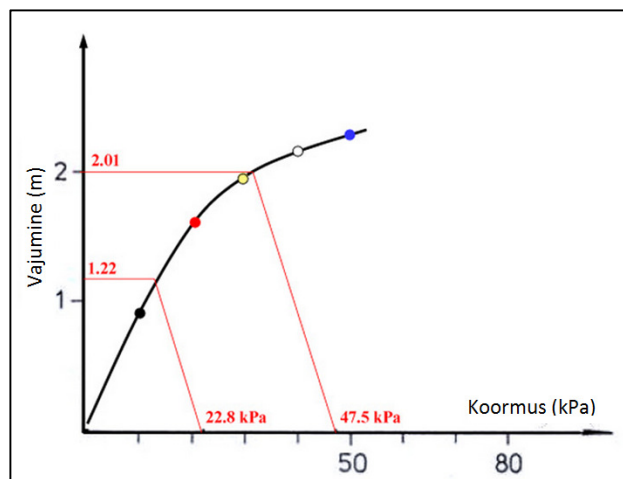
Joonis 29. Näidismulde koormus-deformatsioonigraafik.

Üleslükkejõust tuleneva mõju arvestus on esitatud joonisel 30. Oletame, et muldkeha vajub meetri võrra turbasse, mis on kuivendamata. See tähendab seda, et 1 m muldkehast muutub veega küllastumata olekust veega küllastunud olekuks. Efektiivpinged muldkeha all muutuvad 19 kPa-st 11 kPa-ni (21 kPa - 10 kPa = 11 kPa), s.t turba efektiivpinge väheneb 8 kPa (19 kPa - 11 kPa = 8 kPa) ühe meetri vajumise kohta (muldkeha kõrgus jääb samaks). Näidisarvutuses tähendab see, et arvestatud vajumid 50 kPa koormusel vähenevad 2,37 meetrist 2,06 meetrini.



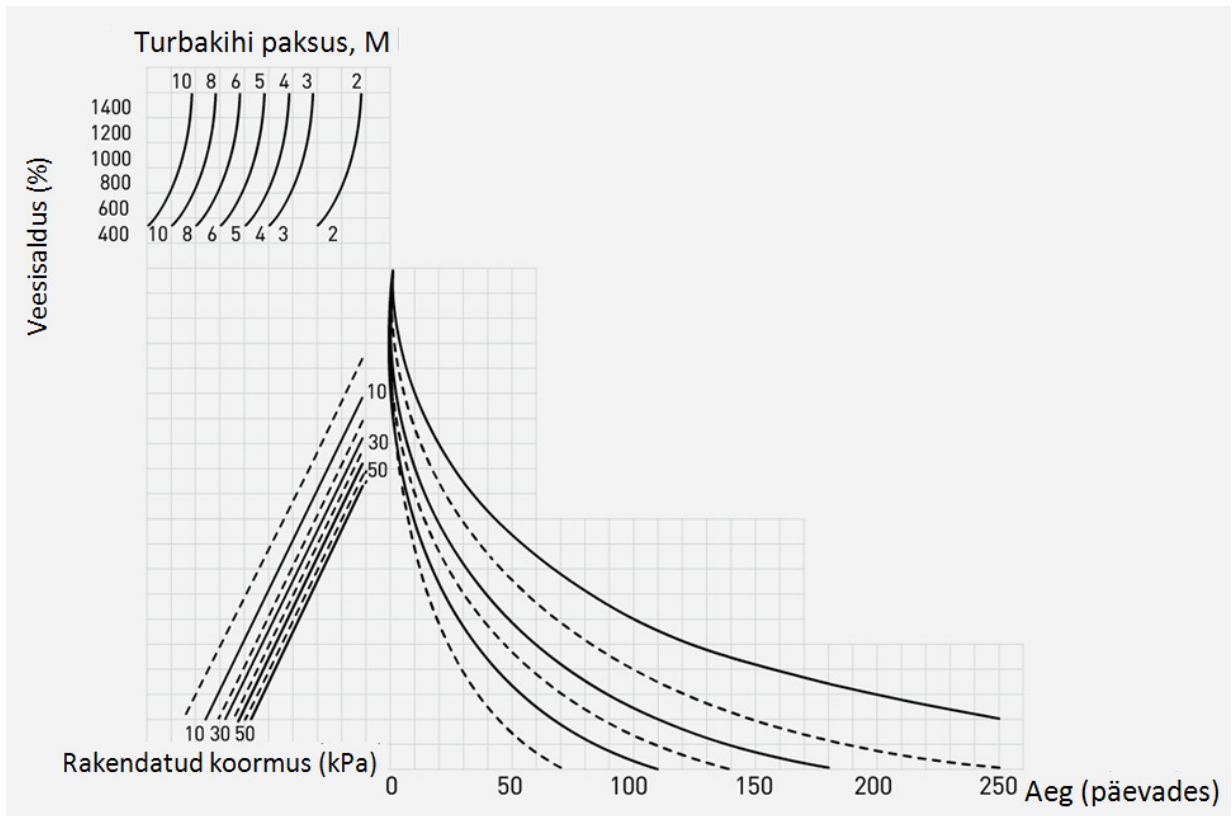
Joonis 30. Üleslükkejõu mõju. Näites kasutatakse järgmisi mahukaale:  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$  (veega küllastumata materjali mahukaal, mulde materjal);  $\gamma_M = \gamma_{\text{SAT}} = 21 \text{ kN/m}^3$  (veega küllastunud materjali mahukaal, mulde materjal);  $\gamma_M = 10 \text{ kN/m}^3$  (vee mahukaal);  $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$  (veega küllastunud materjali efektiivmahukaal põhjaveetasemest allpool).

Näiteks võetud 2,5 m mulle ehitatakse kahes etapis: esimene kiht 1,2 m paksuselt ( $\Sigma q = 22,8 \text{ kPa}$ ) ja teine kiht 1,3 m paksuselt (1,2 m + 1,3 m = 2,5 m,  $\Sigma q = 47,5 \text{ kPa}$ ). Koormus-deformatsioonidiagramm nendele koormustele on esitatud joonisel 31.

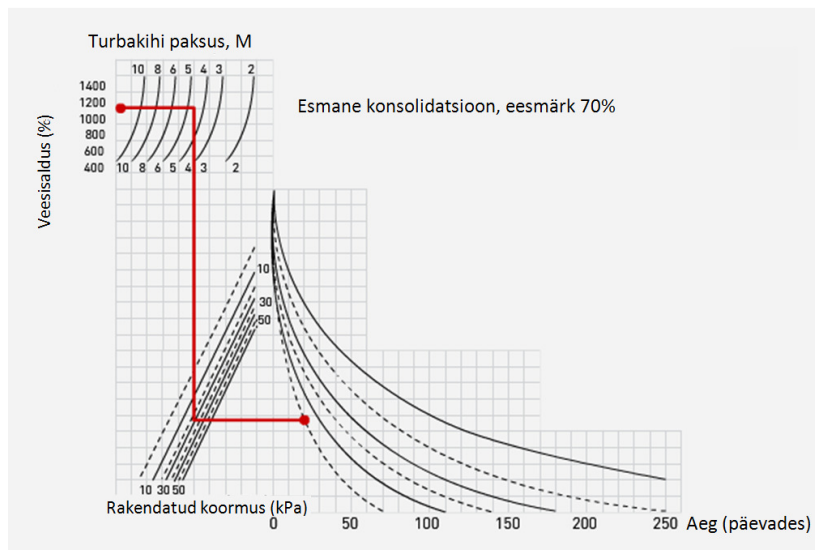


Joonis 31. Andmed näidismulde koormus-deformatsioonigraafikult.

Nimetatud kahe muldkeha koormusastme konsolidatsiooni kestvust saab hinnata kasutades joonist 32 eeldusel, et turbale paigaldatakse dreniv materjal. Kui paigaldatav kiht ei ole dreniv (nt savi, möll), tuleb turba paksus korrutada kahega (vett läbilaskmatud kihid ei võimalda kiiret konsolidatsiooni).

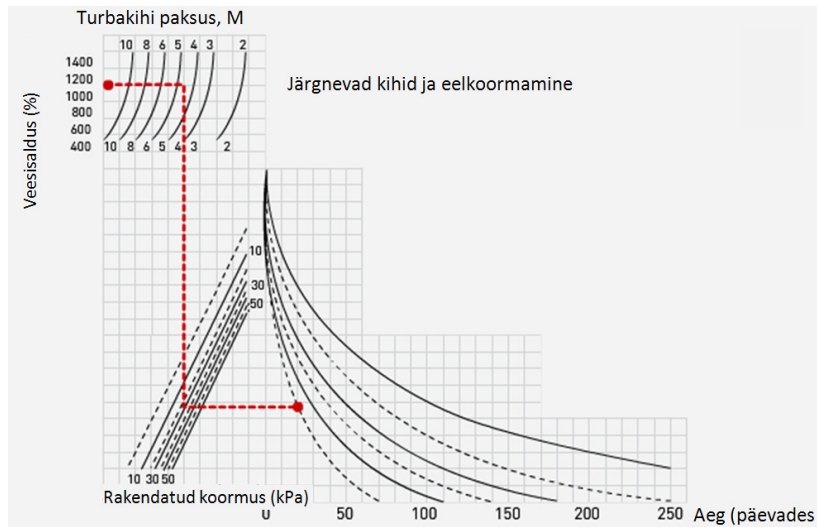


Joonis 32. Diagrammi kasutamise graafiline juhend on esitatud joonistel 33...35 [15].

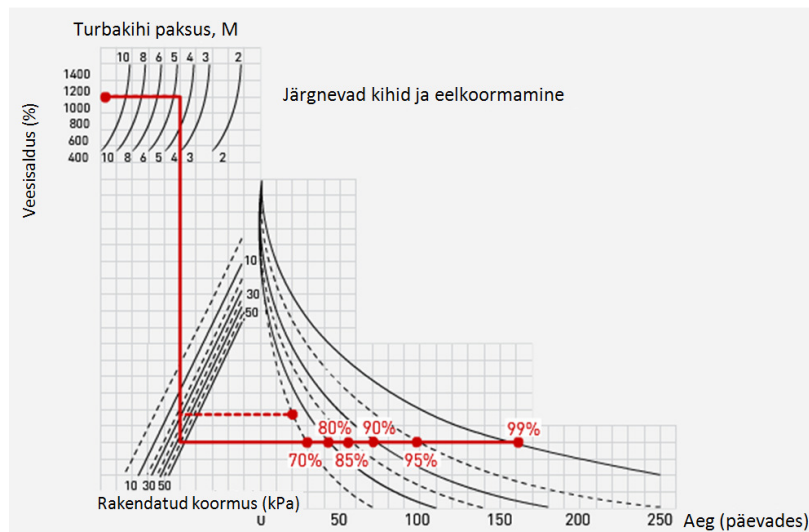


Joonis 33. Konsolideerumine esimese kihiga.





Joonis 34. Konsolidatsiooni arvestamine järgmiste kihtidega.



Joonis 35. Konsolidatsiooni arvestamine, lõplik.

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 10 loetuna jooniselt 33...35. Tabel 10 kuvab vaid turbakihi vajumisi. Kui mulde all on lisaks turbale veel muidki kokkusurutavaid kihte, tuleb koguvajumi leidmiseks arvestada ka nendega.

Tabel 10. Näidismulde vajumise arvutuse koondtabel

Kiht	Koormus (kPa)	Konsolideerumine (%)	Aeg (jooniselt 35 päevades)	Proгноositud vajum jooniselt 31 (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

### 1.6.2 Nõrgale pinnasele projekteeritava metsatee tüüplahendus

Metsateede puhul võib lihtsustatult arvestada, et kõikide eripinnaste, v.a turvas, puhul piisab järgmistest nõuetest:

- teekatendi paksus eripinnasel min. 50 cm;
- eripinnase ja teekatendi vahele tuleb paigaldada armeeriv ja eraldav geosüntees:
  - kogemuslikult on sobilik, kui kasutada polüestrist (PET) kootud geotekstiili, mille tõmbetugevus risti tee teljega on minimaalselt 80...100 kN/m ja mis vastab standardile EVS-EN 13251. Geotekstiil tuleb paigaldada jooniselt 15 kujutatud viisil, et oleks tagatud servade ankurdus;
  - geovõrkude ja –komposiitide kasutamisel peab nende maksimaalne tõmbetugevus mõlemas suunas (piki- ja ristisuunas) olema minimaalselt 40 kN/m (kuid soovituslikult vähemalt 60 kN/m), mis vastavad standardile EVS-EN 13251 või EVS-EN 13249;
  - kasutada võib ka stabiliseerivaid geovõrke vastavalt EOTA tehnilise raporti TR 041 nõuetele;
  - geovõrgu puhul peab selle all kokkupuutes nõrga pinnasega samaaegselt kasutama ka eraldavat geotekstiili;
- kraavi ülemise serva ja tee konstruktsiooni alaserva vahele tuleb jätta min. 50 cm (soovituslikult 100 cm) koormamata ala (foto 20);
- võib arvestada, et tee konstruktsiooni konsolideerumine jääb nõrga kihi kogupaksusest kuni ca 10% piiresse (3 m pakuse kihi korral ca 30 cm);
- muldkeha ehitamisel nõrgast pinnasest tuleb arvestada ehitustehnoloogiliste probleemidega, eriti tihendamisega; vajalik võib olla pinnase kuivatamine (jättes muldkeha seisma) või selle töötlemine aktiivsete ainetega nagu lubi, põlevkivituhad.



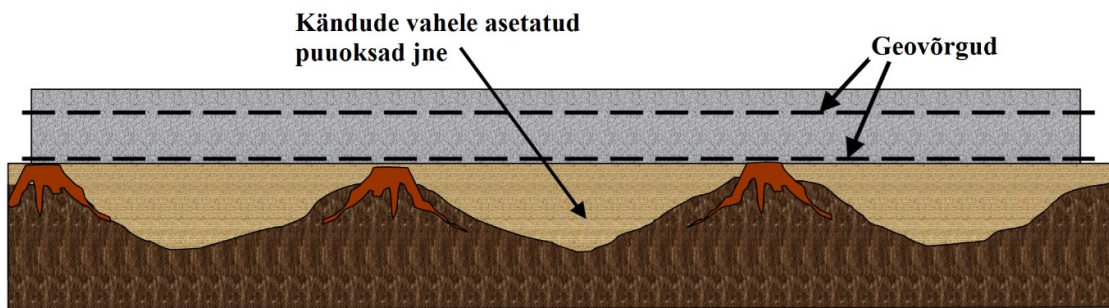
Foto 20 ja 21. Tee ja kraavi vahele jäetud ca 50...100 cm koormamata ala on eriti oluline nõrkade pinnaste esinemise korral. Parem pool näide metsateest, vasakul turbamaardla hooldusteest. Fotod: Sven Sillamäe.

### Tüüplahendus turbale ehitamisel

Teekatendi tugevdamisel arvestada samade nõuetega, mis nõrkadele pinnastele üldiselt. Kasuks tuleb raadamisest ülejääva raiejäägi kasutamine pehmete kohtade all: puuokste asetamine turbapinna peale (foto 22), kändude kasutamine (kas kändude ümberpööramine või isegi juurimata jätmine, kui need paiknevad tihedalt üksteise lähedal, joonis 36) jne.



Fotod 22...24. Näide kruuskattega tee ehitamisest turbapinnasele: väga vesistes kohtades kasutati puuoksi täiendava koormusjaotuse huvides, looduslikku pinda ei rikutud, vaid selle peale paigaldati armeeriv geotekstiil, mille all oli veel kaitsev mittekootud geotekstiil. Armeeringu laius oli min 1 m muldkehast laiem, mis tagas selle, et tee vajumisel tõusid üles ka geotekstiili ääred. Fotod: Sven Sillamäe.



Joonis 36. Kändude kasutamine turbale ehitatud tee tugevdamisel (veelgi parem on keerata väljajuuritid kändud tagurpidi), joonis allikast [4].

Turbakihi paksuse ja veesisalduse suurenemine põhjustab suuremaid vajumeid, mis omakorda nõuab paksema tee konstruktsiooni kasutamist. Näiteks:

- kui turbakihi paksus on 4 m ja veesisaldus 800%, põhjustab 0,5 m paksune mineraalmaterjali kiht ( $20 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} = 10 \text{ kPa}$ ) vastavalt joonise 25 diagrammile ca 0,6 m vajumi (15% 4 meetrist) ehk teisisõnu vajub tee allapoole esialgset maapinda;
- suurendades kihipaksust 1,0 m peale (20 kPa) tuleb vajumiks ca 1,16 m;
- 2,0 m (40 kPa) paksune tee vajub ca 1,64 m ehk teisisõnu on sobilikuks tee konstruktsiooni paksuseks 2 m.

Näite puhul ei arvestatud ühelt poolt vee üleslükkejõu mõju, mis vähendab vajumeid ega teiselt poolt teisest konsolideerumist, mis suurendab vajumit, kuid sellegipoolest võib hinnata, et 800% veesisalduse juures 4 m paksuse turba osas piisab, kui kasutada 2,0 m paksust tee konstruktsiooni.

Kogemused on näidanud, et armeeriva geosünteedi kasutamine, nõlvade lamendamine ja kraavide kaevamine vähendavad vajumeid. Olukorras, kus kraave tee äärde ei ole kaevatud (ehk turbakihi ülemine osa on kuivendamata), on geosünteediga armeeritud tee osas ühe Lõuna-Eestis ehitatud ehitusobjekti põhjal koostatud turbakihi kokkusurutavuse osas järgmised järeldused, mille alusel saab hinnata vajamineva mineraalmaterjali kasutusvajadust:

- ca 50%+, kui turba veesisaldus ületab 1400%;
- ca 30%, kui turba veesisaldus on 1000...1400%;
- ca 20...30%, kui turba veesisaldus on 800...1000%;
- kuni ca 20%, kui turba veesisaldus jääb alla 800%.

Üldistades võib öelda, et alla 500% veesisaldusega turba puhul vajumiste ja nihketugevusega suuremaid probleeme ei ole – vajumid vähenevad järsult ning nihketugevus kasvab kiiresti, mistõttu võib seda käsitleda kui „tavapäraselt“ nõrka pinnast. Üle 3 m turbakihi paksuste korral tuleks siiski kontrollida prognoositava vajumi suurus ning vajadusel arvestada paksemate kihipaksuste kasutamise vajadusega.

Kriitiliseks olukorraks, kus vajumite ületamiseks vajatakse ebamõistlikult palju mineraalmaterjali, mis omakorda tekitab ohu stabiilsuse kadumisele, saab hinnata tingimusi, kui samaaegselt on turba kihipaksus üle 5 m ja veesisaldus üle 1200%. Sealtmaalt võivad hakata probleemid eskaleeruma olenevalt turbakihi paksusest, veesisaldusest, aga ka põhja profiilist ja turba all olevast materjalist. Näiteks liiga kiire koormamise tagajärjel võib toimuda turba tugevuse äkiline vähenemine, mis viib materjali väljasurumiseni; vajumiste ajaline kulg võib olla pikem, kui planeeritud ehitusperiood ning talvel ehitatud teed võivad hakata kevadel järsult vajuma.

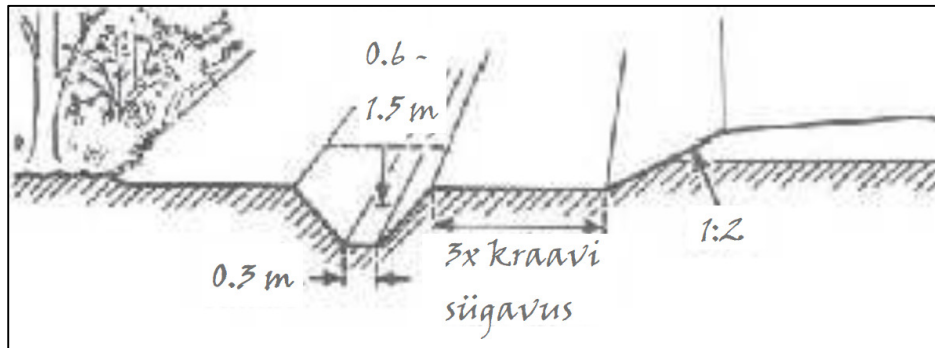
Olukorras, kui turbakihi paksus ületab 5 m ja samaaegselt on veesisaldus üle 1200%, tuleks kaaluda kergtäitematerjalide kasutamist vähendamaks tee konstruktsiooni poolt tulenevat koormust turbale.

Tavaliselt toimub hetkvajum 10 päevaga, peale mida vajumise kiirus langeb. Ühe korraga rakendatav koormus võib olla kuni 20 kPa (vastab ca 1 m paksusele kruusakihile), kuid olenevalt turba veesisaldusest (täpsemalt dreenimata nihketugevusest) võib olla vajalik kasutada väiksemat kihipaksust:

- kriitiliseks piiriks võib hinnata  $C_u = 7 \text{ kPa}$  – kui on üle selle, võib korraga rakendada koormust kuni 20 kPa (ca 1 m kruusa), kui alla selle, siis 10 kPa (ca 0,5 m kruusa);

- koormamiste vahele peab jääma minimaalselt 2 nädalat (näiteks kui paigaldatakse esimene 0,5 m paksune kiht, peab ootama vähemalt 2 nädalat enne, kui võib paigaldada peale teise kihi).

Kraavide kaevamine kas ühele või mõlemale poole teed muudab olukorra soodsamaks vähendades ülemise osa veesisaldust, mis vähendab hilisemat konsolideerumist ja tõstab turba nihketugevust. Kaevatava kraavi ülemine serv peab jääma tee alumisest servast min. 50 cm kaugusele, soovituslikult võiks koormamata ala laius olla 3x kraavi sügavuse pikkus (joonis 37), kuid see sõltub kuivendamise efektiivsusest ja turba kiulisusest. Kraavi kaevamisest tulenev turvas paigaldada tee trassile muldkehaks ning jätta min. 1 kuuks (soovituslikult 3 kuuks) seisma. Oluline on arvestada, et seismise aega tuleb arvestada sulanud pinnase kohta.



Joonis 37. Rootsi soovitused seoses (metsa)tee ehitamisega turbapinnastele: kraavi sügavus minimaalselt 0,6 m, tee ja kraavi serva vahele tuleb jätta 3x kraavi sügavune pank, tee konstruktsiooni nõlva kalle mitte järsem kui 1:2, joonis allikast [26].

Kraavi kaevamise tulemusel võib arvestada, et ülemise, vähemalt 1 m paksuse turbakihi puhul väheneb selle veesisaldus maksimaalselt 500 protsendini (nt kui algselt oli 1200%, siis peale kuivendamist ja väljakaevatud turba paigutamist muldkehasse on ülemise 1 m paksuse kihi veesisaldus ca 500%). Kraavide kaevamine võimaldab turbakaevandajatel ehitada turbaväljadele suhteliselt ökonoomseid teid, kus armeeriva geosünteedi peal kasutatakse 30...40 cm mineraalmaterjali (foto 21), kuigi seoses konsolideerumisega tuleb teid iga paari aasta tagant uuendada.

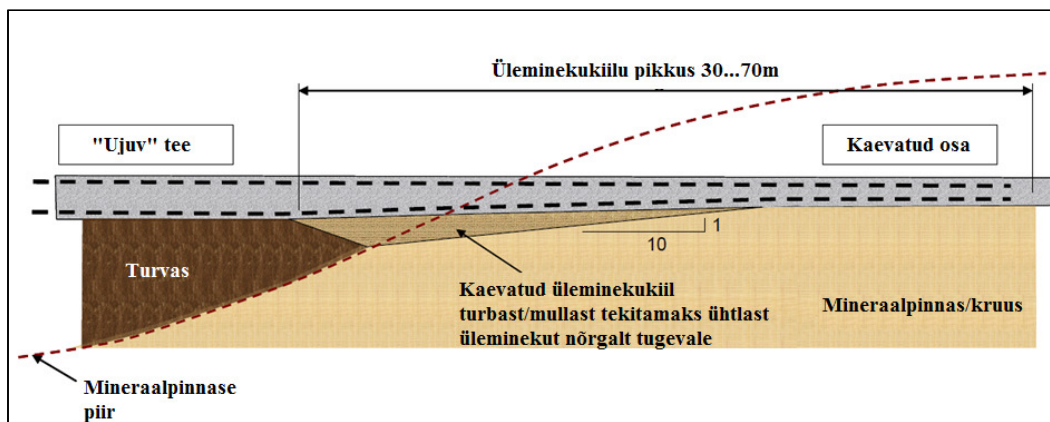
Seoses turba väga suure varieeruvusega ei ole võimalik ette anda ühtset, kõikjal toimivat tüüplahendust, kuid sobiliku teekatendi olemuse võib kokku võtta järgnevalt:

1. teekatend, mille paksus ja omadused sõltuvad muldkehas kasutatud täitest;
2. vajadusel geosünteed, mis täidab kas armeerivat või eraldavat funktsiooni või mõlemat;
3. täitepinnas, mille paksus ja omadused sõltuvad turbakihi paksusest ja veesisaldusest. Mineraalmaterjaliga masstäite puhul tuleks arvestada, et suhteliselt kõrgete veesisalduste juures (alates ca 1400%) vajub turvas koormuse all 50+% selle kogupaksusest. Täiendavalt võib vajuda veel ka turbakihi all olev nõrk pinnas;
4. armeeriv geosünteed (parim on vähemalt 100 kN/m kootud PET geotekstiil), mis on paigaldatud muldkehast vähemalt 1 m laiema (fotod 23 ja 24) või mille ääred on üles keeratud.

Täitepinnasena võib kasutada kraavide kaevamisel saadavat turvast, sel juhul turbakihi alla ei ole vaja paigaldada geosünteedi. Samaaegselt suure turbakihi paksuse (üle 5 m) ja kõrge veesisalduse (üle 1200%) tingimustes on soovituslik kasutada muldkeha ehitamiseks kergtäitematerjale, nt puukoor või -hake, saepuru, heina- ja põhupallid, vanarehvidest valmistatud plokid jms, mis on mineraalmaterjalist oluliselt kergemad vähendades seega muldkeha konsolideerumist. Kergmaterjalide kasutamine on erilahendus, millele tuleb läheneda individuaalselt.

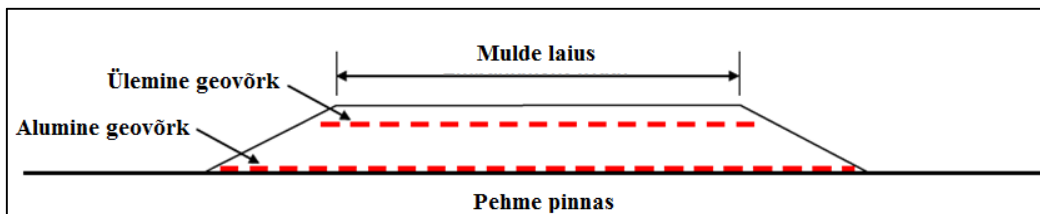
### Üleminek nõrgalt pinnaselt tugevale

Lisaks tee konstruktsiooni ristlõikele tuleb lahendada ka üleminekud nõrgalt pinnaselt tugevale. Selleks tuleb ehitada üleminekukiil, mille tugevus ja jäikus kasvavad järk-järgult. Näiteks on sobilik kasutada joonisel 38 toodud lahendust, kus kiilu kaldena on kasutatud 1:10 (maksimaalseks kaldeks võib lugeda 1:7) ning armeerimiseks kasutatav geosünteed peab ulatuma vähemalt 5 m kaugemale kiilu lõpust.



Joonis 38. Üleminekukiil turbalt (või muult nõrgalt pinnaselt) oluliselt parem kandevõimega pinnasele, joonis allikast [4].

Joonisel 38 on näidatud kahe geosünteedikihi kasutamist. See ei ole alati vajalik, kuid taoline projektlahendus suurendab teekatendi (või ka muldkeha) jäikust võimaldades hajutada koormust laiemale alale. Tavavaliselt esitatakse soovitus/nõue kasutada geosünteede kahes kihis juhul, kui nõrgale pinnasele projekteeritava tee konstruktsiooni armeerimiseks planeeritakse geovõrke ning kui vajaminevad kihipaksused ületavad 40 cm (nt joonise 40 aluspinnase kandevõime 5 ja 10 MPa korral tuleks kasutada kahte geovõrgu kihti, joonis 39). Geovõrkude omavaheline kaugus jääb vahemikku 20...40 cm olenevalt konstruktsiooni paksusest.



Joonis 39. Näide, kus tee konstruktsioon on armeeritud kahe geovõrgukihiga, joonis allikast [4].

## 1.7 Teekatendi projekteerimine

Metsateid projekteeritakse siirdekatendiga, milleks peaks käsitlema vaid killustik- ja kruuskatteid, aga kaaluda tasub ka sideainega (nt põlevkivituhaga) töödeldud pinnast, mida käsitleti peatükis 1.4.2. Kui näiteks mahasõite või sildadele pealesõite on vaja teha tolmuvaaba katte või asfaltkattega, tuleb ses osas lähtuda muudest vastavatest juhendmaterjalidest (nt nõuded avalikult kasutatavate teede ehitamiseks).

Teekatendi dimensioonimisel võetakse aluseks peatükis 1.1 defineeritud vajalik kandevõime ning pinnase tugevus, millele tee ehitatakse, mis on esitatud tabelis 11. Tuleb rõhutada, et tabel on põhimõtteline ega käsitle kõikvõimalikke pinnaseid või nende kombinatsioone, kuid see võimaldab saada metsatee katendi projekteerimiseks piisavat informatsiooni.

Tabel 11. Aluspinnases paiknevate ja muldkehas kasutatavate pinnaste elastsusmoodulid

Pinnase liik	Pinnase täpsustus	Elastsusmoodul, MPa	
		Kuiv	Märg
Väga jämedateraline	Kaljupinnas, lõhatud paas, lubjakivikillustik fr 90/300	>240	>240
Killustik ja kruuspinnas	Lubjakivikillustik (LA<35)	240	240
	Lubjakivikillustik (LA≥35)	200	200
	Kruuspinnas (cGr, mGr)	150	150
	Peenkruus (fGr)	120	120
	Möllikas, savikas kruus	120	120
	Mölline, savine kruus	50	30
Liivpinnas	Jämeliiv, keskliiv (cSa, mSa)	100	100
	Peenliiv (fSa)	50	50
	Möllikas, savikas liiv	50	50
	Mölline, savine liiv	35	20
Möllpinnas	Möllpinnas	-	20
Savipinnas	Jäik savi (C <sub>U</sub> ≥ 40 kPa)	-	35
	Pehme savi (C <sub>U</sub> < 40 kPa)	-	15
	Väga pehme savi (C <sub>U</sub> ≤ 20 kPa)	-	≤10
Eripinnased	Kõrge orgaanilise aine sisaldusega materjal (turvas, mustmuld), muda, järvelubi jms	-	≤10

Märkused:

1. pinnaste nimetused on antud lähtudes EVS-EN ISO 14688-1 ja -2. Peenosise (<0,063 mm) sisalduse piir cGr, mGr, fGr, cSa, mSa ja fSa on 5 protsenti. Möllikad, savikad materjalid sisaldavad peenosiseid 5–15% ning möllised, savised pinnased 15–40%;
2. märjaks loetakse olukorda, kui ülemise põhjaveehorisondi (pinnasevee) tase on mõõdetuna teekatendi alapinnast kõrgemal, kui 1,0 m ja/või alad, kus ei ole tagatud pinnavee äravool. Muudel juhtudel kasutada kuiva olukorra elastsusmooduleid, sh ka siis, kui teed kasutatakse raskeliikluse poolt vaid külmal või kuival aastaajal;
3. mölliste/saviste, liivade/kruusade, samuti möll- ja savipinnaste elastsusmoodul on suures sõltuvuses veesisaldusest ja plastsusest. Lubjakivikillustiku elastsusmoodul sõltub kivi tugevusest, niiskustundlikkusest (veeimavus), terastikulisest koostisest jm teguritest. Arvutustes võib kasutada tabelis esitatud väärtustest suuremaid või madalamaid elastsusmooduleid juhul, kui see on põhjendatud (sõltudes niiskustingimustest, pinnase plastsusomadustest jm);

4. lubjakivikillustiku alla kuulub ka põlevkivi rikastusjäägist toodetav killustik fr. 0/90;  
 5. tee alla jääva pinnase elastsusmoodul arvestatakse üldjuhul seal esineva pinnaseliigi põhjal. Kui muldkeha paksus on 1 m või üle selle, arvestatakse elastsusmoodulina seal paiknevat pinnast. Kui paksus on alla 1 m, leitakse kandevõime arvutuslikult kasutades valemit 5.

Teekatendi kandevõime arvutatakse kasutades Odemarki valemit (valem 5):

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 * \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 * \left(\frac{h}{a}\right)^2} \left(\frac{E}{E_A}\right)^{\frac{2}{3}}}}$$

Valem 5

kus

- $E_A$  – alumise kihi pealt saadud elastsusmoodul, MPa;
- $E_p$  – lisatud kihi pealt saadav elastsusmoodul, MPa;
- $E$  – lisatava kihi elastsusmoodul, MPa;
- $h$  – lisatava kihi paksus, m;
- $a$  – koormusplaadi raadius meetrites, üldjuhul on see 0,15 m.

Valemi kasutamise tingimused:

- 1) maksimaalne elastsusmoodul, millega sideainega sidumata kihtidega arvutuses arvestada, on  $6 * E_A$ . Kui kasutatava materjali elastsusmoodul on sellest suurem, jagatakse kiht arvutuste jaoks eri paksusega osadeks;
- 2) arvutuses kasutatav maksimaalne ühe kihi paksus võib olla 300 mm. Samast materjalist paksemate kihtide arvutamisel jagatakse need osadeks.

Valemit on võimalik kasutada näiteks Excelis, mille näide on tabelis 12, kus:

- esimeses veerus ( $E_A$ ) – alumise kihi pealt saadav elastsusmoodul;
- $h$  – arvutatava kihi paksus meetrites;
- $E$  – arvutatava kihi elastsusmoodul, mis võib olla maksimaalselt  $6 * E_A$ . Ehk kui alumine kiht on 20 MPa, võib pealmise kihina arvestada maksimaalselt  $20 * 6 = 120$  MPa hoolimata sellest, et tabelis 12 on kasutatavale materjalile antud kõrgem väärtus. Arvutuse jaoks tuleb üks kiht jagada osadeks: antud juhul jaotati „põlevkiviaherainest“ ehitatav kiht kolmeks osaks, millest viimasele sai rakendada maksimaalset elastsusmoodulit  $E = 200$  MPa.

Tabel 12. Exceli arvutusnäide valemi 5 kasutamiseks.

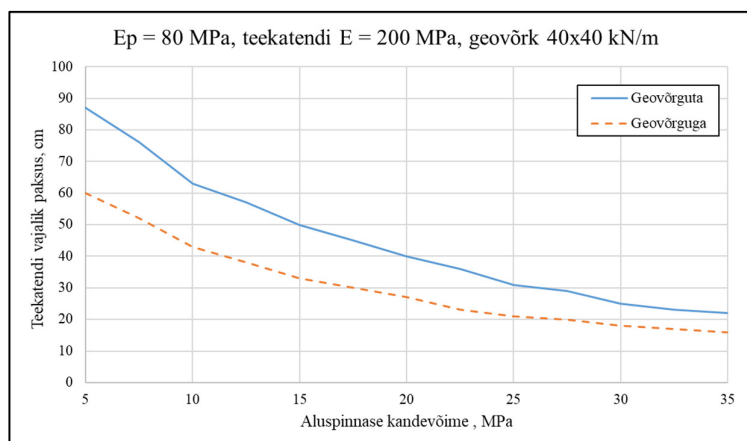
$E_A$ MPa	$h$ m	$E$ MPa	$E_{max}$ MPa	$E_p$ MPa	Selgitus
20	0	20	120	20.0	Märg mölline liiv
20.0	0.1	120	120	28.6	"Aheraine" fr 0/90 mm
28.6	0.1	172	172	40.9	"Aheraine" fr 0/90 mm
40.9	0.15	200	245	68.1	"Aheraine" fr 0/90 mm (külitud)
68.1	0.1	150	409	79.9	Kruusast kulumiskiit



Tabelis 12 ei ole kajastatud geosünteedide kasutamist. Peatükis 1.4.3 esitatud filterkriteeriumi järgi tuleks aluspinnase ja „põlevkiviaheraine“ fr 0/90 mm vahel kasutada vahekihti, mis võib olla valemiga 4 kriteeriumitele vastav pinnas (liiv või kruus), mida saab kajastada ka tugevusarvutustes, või geotekstiil. Vastavalt lisa 1 kriteeriumitele tuleb kasutada vähemalt IV-profiili eraldavat geotekstiili. Kuna IV-profiili geotekstiili funktsioonideks on eraldamine (S) ja filtreerimine (F), siis see katendi tugevusarvutust ei mõjuta. Kui kasutada armeerivat (R) geosünteedi (näiteks kas kootud geotekstiil, geovõrk, geokomposiit), on võimalik seda kajastada ka valemiga 5 tehtavas katendiarvutuses selliselt, et suurendatakse kas aluspinnaselt või selle peal olevalt kihilt saadavat elastsusmodulit sedavõrd, mida on võimalik tootjapoolse arvutusmetoodikaga saavutada. Lisaks on olemas ka universaalseid arvutusmeetodeid, näiteks „*Giroud-Han design method for geosynthetic-reinforced unpaved roads*, 2004“ [5], mida käesolevalt ei käsitleta, kuid mis võivad olla projekteerijale alternatiivseks katendiarvutusmetoodikaks juhul, kui kasutatakse teekatendi armeerimist geosünteedidega.

Armeeriva geosünteedi mõju elastsusmoodulile sõltub alla jääva pinnase tugevusest – mida nõrgem see on, seda suuremat mõju geosünteed avaldab ja vastupidi. Teatavaks piiriks võib hinnata ca 30 MPa, millest kõrgema aluspinnase elastsusmooduli puhul tugevdava geosünteedi efekt kandevõime suurendamise või vajamineva kihipaksuse vähendamise korral jääb pigem tagasihoidlikuks. Geovõrkude kasutamine on kasulik ka suuremate elastsusmoodulite korral võimaldades paremini hajutada liiklusvahendite koormust all asetsevatele pinnastele/materjalidele võimaldades seeläbi suurema arvu normtelgede ülesõitu, kuid see mõju avaldub alles tavapärastest metsateedest suurema koormusega teede puhul.

Geovõrgu kasutamisest tulenevat kasu vajamineva kihipaksuse vähenemisele on ühe näitena kujutatud joonisel 40. Graafikul esitatud tulemuste kohaselt on geovõrgu kaasamise korral võimalik kasutada sama katendi kandevõime saavutamiseks keskmiselt 31% õhemat mineraalmaterjali kihti. Erinevate geosünteedika tootjate andmed ei pruugi anda samu tulemusi – mõned tooted võivad anda tagasihoidlikuma tulemuse, mõned võivad „lubada“ rohkem. Arvestades joonisel 40 esitatud tulemusi, näeks tabelis 12 olev katendiarvutus välja tabelis 13 kujutatuna.



Joonis 40. Näidis, kuidas geovõrgu kasutamine mõjutab vajamineva mineraalmaterjalikihi paksust sama kandevõime ( $E = 80$  MPa) korral tingimusel, kui materjali e-moodul on 200 MPa (nt killustik).

Tabel 13. Tabelis 12 kujutatud katendiarvutus olukorras, kus aluspinnase ja teekatendi vahele paigaldatakse lisaks geovõrk, mille all peab olema ka eraldav geotekstiil

$E_A$ MPa	h m	E MPa	$E_{max}$ MPa	$E_p$ MPa	Selgitus
30	0	30	180	30.0	Märg mölline liiv ( <b>geovõrguga</b> )
30.0	0.1	180	180	42.9	"Aheraine" fr 0/90 mm
42.9	0.15	200	257	70.4	"Aheraine" fr 0/90 mm (kiilutud)
70.4	0.1	150	423	82.0	Kruusast kulumiskiit

Kasutades eelnevat teavet on võimalik välja töötada erinevate kombinatsioonidena tüüpkatendeid, mille mõned näidised on esitatud Maaparandussüsteemi projekteerimismääruste lisa 2 joonisel 6, kus on kajastatud ka geosünteedide kasutamist. Kuna erinevate armeerivate geosünteedide omadused on erinevad, on tüüpkatendite puhul geovõrgu mõju arvestatud veidi väiksemana kui keskmiselt 30%. Seal esitatud graafikud on näidised, mida võib kasutada tüüpkatenditena, kuid projekteerija võib koostada ka omapoolsed lahendused.

Kui metsatee ehitamiseks on saadaval „põlevkiviaheraine“ fr 0/90 mm, on soovituslik eelistada alati seda, kuna tegemist on taaskasutatud materjaliga, millest saab ehitada väga vastupidavaid ja suure kandevõimega teid. Tänapäevased logistilised lahendused võimaldavad materjali kasutada ka oluliselt kaugemal kui Ida-Virumaa ilma, et tee-ehitus sellest kallineks.

**Universaalne, valdavalt levinud oludesse sobiv metsatee katend on järgnev** (s.t projekteerija peaaegu et ei pea arvestama aluspinnase omadustega, v.a väga nõrgad pinnased):

1. 10 cm kulumiskiit purustatud kruusast fr. 0/31,5 mm või killustikkate;
2. 40 cm lubjakivikillustik fr. 0/90 mm („põlevkiviaheraine“), mis on kiilutud fr 31,5/63 mm kulunormiga ca 35 kg/m<sup>2</sup>;
3. eraldav ja/või nõrgemate pinnaste puhul ka armeerivat ülesannet täitev geosünteed;
4. muldkeha/aluspinnas.

Taoline universaalne metsatee katend sobib kasutamiseks ka kuni ca 3,0...3,5 m paksusel turbal, mille veesisaldus on kuni ca 600% (suuremate veesisalduste juures peab turbakihi paksus väiksem), kuid see nõuab armeeriva geosünteedi kasutamist.

„Põlevkiviaheraine“ fr. 0/90 mm metsateede katendites kasutamise korral ei ole vajalik selle eelnev segamine liivaga, kuid ehitamise ja tihendamise hõlbustamiseks võib seda teha kasutades liiva ca 30% materjali mahust.

### 1.7.1 Geosünteedidest teekatendis

Maaparandussüsteemi projekteerimismääruste tüüpkatendite juures olev märkus (lisa 2 joonis 6) ütleb, et geovõrgu vajalikud minimaalsed omadused (tõmbetugevus, venivus, ava suurus, eluiga jm) tuleb täpsustada tee projektis. Minimaalseteks metsatee katendisse paigaldatava **geovõrgu** omadusteks tuleb lugeda järgnevad:

- eluiga minimaalselt 25 aastat;

- EVS-EN 13249 kohaselt armeeriva (R) geovõrgu tõmbetugevus mõlemas suunas minimaalselt 30 kN/m (soovituslikult 40 kN/m) ja maksimaalne venivus maksimaalselt 12% (mida vähem seda parem);
- kasutatavale täitematerjalile sobilik optimaalne ava suurus (selgitus allpool);
- EOTA tehnilise raporti TR 041 järgse stabiliseeriva geovõrgu kasutamisel tuleb lähtuda viidatud dokumendi nõuetest, kuid arvestada tuleb tingimusega vajalikule ava suurusele;
- muud ja täpsemad nõuded geosünteedile võivad tuleneda projektlahendusest, kuid need peavad olema tehniliselt olulised (näiteks geosünteedi värvus ja mahukaal ei ole);
- geosünteedi valmistusmaterjal peab olema ettenähtud tingimustesse sobilik: näiteks kokkupuutes pinnastega ei ole sobilik kasutada klaasfiibrist geosünteede, kuna need on liiga rabedad talumaks paindumist (klaasfiibrist materjalid sobivad asfaltkihtide vahele) või kokkupuutes stabiliseeritud pinnasega (mis on aluseline) on vähem sobilik polüestrist (PET) materjal, kuna antud polümeer on tundlik suurtele pH kõikumistele (kuigi seda saab arvutuses kompenseerida varuteguri kasutamisega).

Tavapäraselt väljendatakse geovõrgu optimaalse ava suurus sõltuvusena täitematerjali maksimaalsesse tera suurusesse. Selleks arvutatakse geovõrgu ava keskmine külje pikkus „a“ (nelinurksetel võrkudel  $a = (a_1 \cdot a_2)^{0.5}$ , kus  $a_1$  ja  $a_2$  on ava külje mõõtmed), mis jagatakse maksimaalse tera läbimõõduga D ning kus optimaalne suhe jääb vahemikku 0,7...1,4:

- joonise 10 materjalide „km 10.605“ ja „lisatav“ D = 32 mm, seega on geovõrgu optimaalne ava keskmine suurus vahemikus 22...45 mm;
- „põlevkiviaherainel“ fr. 0/90 mm D = 90 mm, seega on geovõrgu optimaalne ava keskmine suurus vahemikus 63...153 mm;
- keskliiva D = 2 mm, seega on geovõrgu optimaalne ava keskmine suurus vahemikus 1.4...2.8 mm.

Eelnevast nähtub, et geovõrgud on maksimaalselt efektiivsed koostöös teatud kindla terasuurusega jämetäitematerjalidega ning kui terasuurus on väiksem või suurem optimaalselt, võib eeldada nõrgemat toimet. Koostöös liivade või väga jämedateraliste materjalidega võiksid seega sobilikumad olla kootud geotekstiilid või geokärjed, kuid see ei tähenda, et geovõrgud ei toimiks või et neid ei peaks taolistel juhtudel kasutama:

- liiv lukustub sarnaselt jämedamatele osakestele geovõrgu avastesse toimides samuti armeeriva kihina (nt tugiseinte ehitamisel kasutatakse laialdaselt geovõrke koos liivaga). Liiva puhul suurendab lukustuse efekti väiksemate avadega jäiga struktuuriga võrgu kasutamine, mille ribad on kandlilised ja kõrge profiiliga;
- väga jämedateralise materjali korral võib geovõrgu peale planeerida tehnoloogilise kihi peenemast materjalist, mis lukustuks efektiivselt geovõrgu avadesse (kuid mille paigaldus on ehitustehnoloogiliselt tülikas). Teiseks võimaluseks on kasutada „pehmet“ geovõrku, mis mugandub materjalistruktuuriga paremini kui „jäik“ geovõrk (joonis 41).



Joonis 41. Väga jämedateralise materjaliga koostöös võib „pehme“ geovõrk toimida paremini, joonis allikast [27].

**Kootud geotekstiilide** kasutamisel katendi ehitamisel tuleks lähtuda samadest lähtepunktidest, mis oli käsitletud peatükis 1.6.2. **Eraldavaid geotekstiile** oli käsitletud peatükis 1.4.3 (Pinnaste eraldamine).

Teekatendite projekteerimisel geosünteedide kasutamisega peab täiendavalt arvestama ka paigalduse, täpsemalt ülekatele temaatikaga, mis võimaldab teha mahuarvutusi.

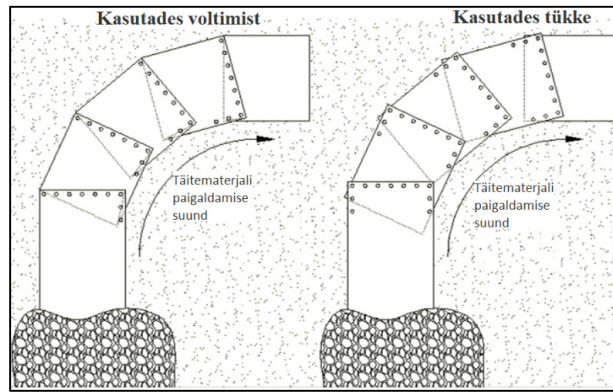
Geotekstiilide vajalikud piki- ja põiksuunalised ülekatted sõltudes alla jääva pinnase elastsusmoodulist:

- $\leq 3$  MPa: vajalik paanide omavaheline kokku õmblemine;
- 3...6 MPa: minimaalne ülekate 1,0 m;
- 6...10 MPa: minimaalne ülekate 0,8 m;
- 10...20 MPa: minimaalne ülekate 0,5 m;
- $\geq 20$  MPa: minimaalne ülekate 0,3 m.

Geovõrkude vajalikud ülekatted sõltudes alla jääva pinnase elastsusmoodulist:

- $\leq 3$  MPa: minimaalne ülekate 1,0 m;
- 3...10 MPa: minimaalne ülekate 0,7 m;
- 10...20 MPa: minimaalne ülekate 0,4 m;
- $\geq 20$  MPa: minimaalne ülekate 0,3 m.

**Geosünteedide paigalduslaiusest.** Reeglina piisab, kui 4,75...5,2 m laiune (olenevalt tootest) eraldav geotekstiil või teekatendit armeeriv/stabiliseeriv geovõrk paigaldatakse katendi alla ühe paanina ilma, et vajataks paralleelset ülekattega tehtud kitsamat paani, kuna sõidukid kasutavad 3,5...4,5 m teed sõites selle keskel. 4,75...5,2 m laiuse geosünteedi puhul on sõidetav osa kaetud ning kui nõlvade alla geosünteed täielikult ei ulatu, ei põhjusta see tee kvaliteedi halvenemist, kuna nõlvadele ei tule sõidukitelt koormust. Joonisel 42 on esitatud kaks viisi, kuidas paigaldada teekatendi alla geosünteedi väikese raadiusega plaanikõverike puhul kasutades kas voltimist (geotekstiilid) või tükke (jäigad geovõrgud).



Joonis 42. Väikese raadiusega plaanikõverike korral võib geosünteeete kas voltida või paigaldada tükkidena. Joonisel näidatud punktid tähistavad vajadust geosünteeet ajutiselt kinnitada, et selle peale oleks võimalik paigaldada materjale geosünteeete nihutamata, joonis [Propex].

Väga nõrkadele pinnastele (eripinnased, väga pehme savi) ehitamisel ning muldkeha alla paigaldatavate geosünteeetide puhul tuleb kasutada täislaist koos vajalike ülekatetega. Lisaks tuleb arvestada peatükis 1.6.2 nõutuga.

### 1.7.2 Nõuded katendis ja kulumiskihis kasutatavatele materjalidele

Reeglina kasutatakse metsateede ehitamisel kas killustikku või kruusa, millest mõlemad on esindatud tabelis 11. Maaparandussüsteemide projekteerimismõnede §45 lõige 3 öeldakse, et kui võetakse muid meetmeid, nagu näiteks geosünteeedi või kvaliteetsema mineraalmaterjali kasutamine, katendi alla jääva pinnase ja katendis kasutatava materjali töötlemine sideainega nagu põlevkivi heittuhk, tsemendipõhine sideaine, ja muud sellised meetmed, võib katendikihtide paksust vähendada, kuid seda tuleb põhjendada arvutustega:

- kvaliteetsema materjali alla võib liigitleda sõelutud ja purustatud kruusa, mille elastsusmooduliks võib lugeda tavapärase kruusa 150 MPa asemel 180 MPa;
- pinnase töötlemine sideainega tõstab selle tugevust olenevalt kasutatavast sideainest ja selle hulgast märkimisväärselt;
  - peenliiva elastsusmooduliks antakse tabelis 11 50 MPa, kuid segades see läbi ca 4...8% põlevkivituhaga (keevkihikata elektrifiltrituhk) või ca 3...5% tsemendiga, saadakse sellest valmistatud kihi elastsusmooduliks olenevalt sideainesisaldusest ca 150...400+ MPa;
  - möllpinnase elastsusmooduliks antakse 20 MPa, kuid ka selle stabiliseerimisel on võimalik saada tulemus, kus muid mineraalmaterjale ei olegi vaja kasutada kui vaid ehitada kulumiskihti (§45 lõige 7).

Maaparandussüsteemide projekteerimismõnede §45 lõikes 4 antakse ette ette killustikaluse ehitamise korral nõuded kasutatavale materjalile, mis tagab selle, et metsatee eluiga oleks võimalikult pikk ning täidaks oma ülesande vähimate hoolduskuludega:

„Killustikust alused projekteeritakse sidumata killustikusegust, ridakillustikust või fraktsioneeritud täitematerjalist kiilumismeetodil järgmistel tingimustel

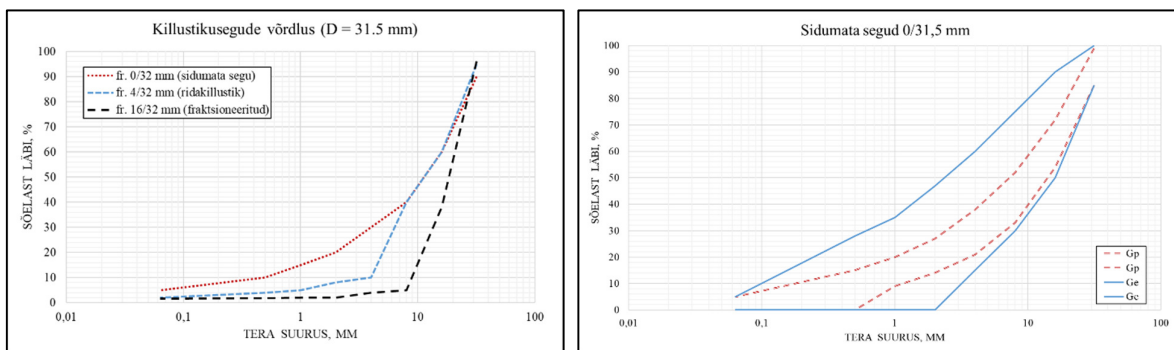
- 1) teraläbimõõt D on vähemalt 32 millimeetrit;

2) peenosiste sisaldus pärast aluse paigaldamist ja tihendamist on kuni 7%;

3) jämetäitematerjali purustatud pindadega terade sisaldus peab vastama vähemalt standardi EVS - EN 13285 alusel määratud kategooriale C<sub>50</sub> ja purunemiskindluse maksimaalväärtuse kategooria peab olema vähemalt LA<sub>40</sub>.“

Lisaks öeldakse §45 lõikes 5 seoses (sideainega) sidumata aluse terastikulise koostisega, et see peab vastama standardi EVS-EN 13285 terastikulise koostise kategooriale Ga, Gb, Gc, Go, Gp või Ge ja peenosiste sisaldus pärast aluse paigaldamist ja tihendamist on kuni seitse protsenti.

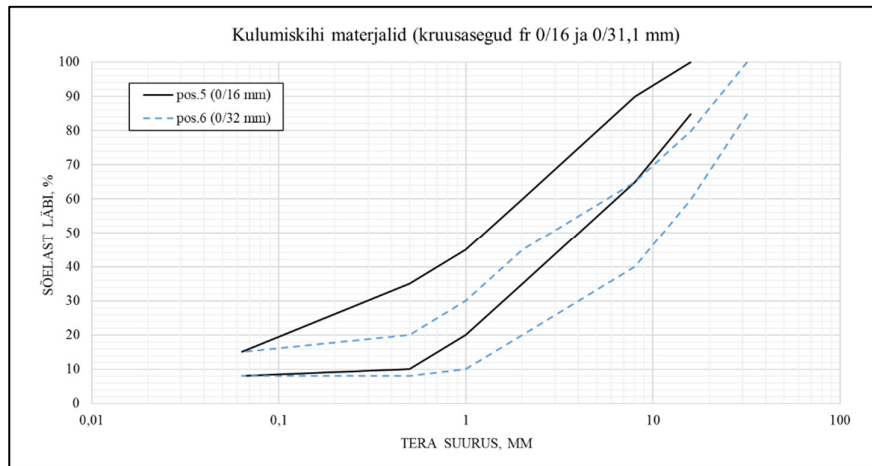
Fraksioneeritud täitematerjal on näiteks lubjakivikillustik fr. 16/31,5 mm, ridakillustik fr 4/31,5 mm ja sidumata segu fr 0/31,5 mm, millest viimase sõelkõvera väli mahuks eelpool nimetatud terakoostise kategooria piiridesse. Erinevate täitematerjalide sõelkõverate näited on esitatud joonisel 43 ning terakoostise kategooriad Gp ja Ge joonisel 44.



Joonised 43 ja 44. Erinevate killustikusegude ning sidumata segude Gp ja Ge sõelkõverapiiride võrdlus.

Projekteerimisnormide §45 lõikes 6 öeldakse, et lõigetes 4 ja 5 sätestatust halvema kvaliteediga täitematerjali kasutamise korral põhjendatakse seda ja teekatendi projekteerimisel arvestatakse nende omadustega. Taoline võimalus on vajalik, kuna alati ei ole nõutud omadustega materjali saadaval või on selle kasutamine ebamõistlikult kulukas. Halvema materjali kasutamise omadustega saab arvestada selliselt, et vähendatakse materjali elastsusmoodulit, nt purustatud kruusa 180 MPa asemel kasutatakse peenkruusa 120 MPa. Lisaks võib olla vajalik tee kasutamise käigus ette näha tihedamat hooldusvajadust: kas pinna profileerimist või pealmise kihi uuendamist.

§45 lõikes 8 käsitletakse kulumiskihti, kus öeldakse, et esimese ja teise järgu teedele projekteeritakse 10–15 cm paksune kulumiskiht, mille materjal projekteeritakse lähtudes joonise 45 sõelkõvera nõuetest. Kasutatava jämetäitematerjali purunemiskindluse maksimaalväärtuse kategooria vastavalt standardile EVS-EN 13242 peab olema vähemalt LA<sub>35</sub> ja külmakindluse maksimaalväärtuse kategooria vastavalt standardile EVS-EN 1367-1 peab olema vähemalt F<sub>8</sub>. Taolised nõuded on vajalikud, et metsatee kattekihi eluiga oleks võimalikult pikk ning täidaks oma ülesande vähimate hoolduskuludega.



Joonis 45. Kulumiskihis kasutatavad kruusasegud.

Eelnev nõue kulumiskihi materjali terakoostise kohta kehtib kruusa osas. Sidumata paekivist killustikusegu kasutamisel kruusa asemel peaks peenosiste osakaal olema väiksem. Hinnanguliselt on sobilik kasutada kulumiskihis killustikusegu fr. 0/31,5 mm, mis vastab EVS-EN 13285 terastikulise koostise kategooriale Ga, Gb või Gc ja kus peenosisesisaldus ei ületa 10%.

Lisaks on võimalik kulumiskiht ehitada ka fraktsioneeritud killustikust kiilumise meetodil olenevalt killustiku fraktsioonidest kasutades järgnevaid orienteeruvaid kulunorme:

- põhifraktsioon 16/31,5 mm: kiilekillustiku fr. 8/12 mm kulu 25 kg/m<sup>2</sup>;
- põhifraktsioon 31,5/63 mm: kiilekillustiku fr. 12/16 mm kulu 25 kg/m<sup>2</sup> ja fr. 8/12 mm kulu 15 kg/m<sup>2</sup>;
- põhifraktsioon 63/120 mm: kiilekillustiku fr. 16/31,5 mm kulu 30 kg/m<sup>2</sup> ja fr 8/12 mm kulu 20 kg/m<sup>2</sup>;
- kõige pealmiseks kihiks paigaldatakse sõelmed fr. 0/4 mm.

Kiilumismeetodil ehitatud katted käituvad hästi niisketes oludes, kuid kuivades kipuvad lagunema, mille tagajärjeks on teravate löökaukude teke. Tihedast segust katted käituvad vastupidiselt – hästi kuivas ja halvasti niisketes (märgades) tingimustes.

**§45 lõige 9:** „Kolmanda ja neljanda järgu tee võib projekteerida kulumiskihita, kui teekatendis kasutatav materjal võimaldab sellel takistuseta liigelda ja teekatet hiljem greideri või teehooldusmasina alussahaga profileerida. Kulumiskihis kasutatav kivimaterjal peab olema tugevuselt ja külmakindluselt vähemalt võrdne aluses kasutatud materjaliga, kuid võib olla peenema terastikulise koostisega, seejuures ei tohi peenosise sisaldus ületada 15%.“

- esiteks viitab eelnev, et kolmanda ja neljanda järgu teedel saaks probleemidega kasutada näiteks kohalikust karjäärast pärinevat (sõelutud) möllikat/savikat kruusa või kruusliiva;
- teiseks, kui kasutatav kruus või kruusliiv on sõelutud, s.t suuremad kivid/munakad (nt >31.5 mm või >63 mm) on eemaldatud, ei oleks tingimata vajalik paigaldada eraldi kulumiskihti, kuna taoline materjal on profileeritav (foto 25).



Foto 25. „Spetsiaalse“ kulumiskihita kruusliivast ehitatud juurdepääsutee. Foto: Sven Sillamäe.



## 2. METSA- JA MAAPARANDUSSÜSTEEME TEENINDAVATE TEEDE EBITUS

### 2.1 Keskkond

Metsas tehtavate tööde puhul tuleb lähtuda RMK keskkonnanõuetest metsatöödel (kõige viimane versioon).

Üldiseks põhimõtteks on see, et ehitamisel tuleb kasutada meetodeid, mis põhinevad heale töötehnikale ja keskkonnaga arvestamisel. Keskkonda reostavaid ja ümbruskonda rikkuvaid tegevusi ehitamises tuleb vältida. 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.

### 2.2 Tee ehitamise täpsemad nõuded

Metsatee ehitamisel tuleb lähtuda Maaeluministri määrusest nr 38 „Maaparandussüsteemi ehitamise täpsemad nõuded“, millest esitatakse alljärgnevalt valitud väljavõtted.

#### 2.2.1 Tee ehitamise üldnõuded

- Tee ehitamisel ning teelt mahasõidukoha, sõidukite tagasipööramiskoha ja sõidukite möödasõidukoha (edaspidi koos *teerajatis*) rajamisel (edaspidi koos *teetööd*) lähtutakse ehitusprojektis ettenähtud nõuetest või tüüpjooniste asjakohasest joonisest;
- enne teetööde alustamist puhastatakse maa-ala, millele tee ja teerajatis (edaspidi koos *teemaa*) rajatakse, puittaimestikust ja muudest takistustest;
- teemaalt eemaldatakse raiejäätmed, kännud ja kivid ning käsitletakse järgnevalt:
  - raiejäätmed eemaldatakse ja paigaldatakse ehitusprojekti nõuete kohaselt või paigaldatakse kraavi servast nii kaugele, et need ei satuks kraavi, või maa-alale, kus need ei takista või takistavad kõige vähem maa sihtotstarbelist kasutamist, või purustatakse või põletatakse. Raiejäätmete põletamine kooskõlastatakse Päästeametiga;
  - kännud ning kivid eemaldatakse ehitusprojekti nõuete kohaselt ning paigaldatakse maa-alale, kus need ei takista või takistavad kõige vähem maa sihtotstarbelist kasutamist;
- põllumajandusmaal eemaldatakse enne teetööde alustamist teemaalt muld, mis paigaldatakse või aetakse laiali ehitusprojektis ettenähtud nõuete kohaselt;
  - metsamaal teemaalt mulla eemaldamine ei ole vajalik, kui selle olemasoluga on projektis arvestatud;
- tee telje asend looduses ei tohi erineda ehitusprojektis ettenähtud tee telje asendist üle ühe meetri;

- kui teetööde käigus tuleb välja vee äravoolukoht, mida ei ole kajastatud ehitusprojekti, hinnatakse äravoolukoha toimimisvõimet ning vajaduse korral see korrastatakse või likvideeritakse;

### 2.2.2 Tee muldkeha rajamise nõuded

Tee muldkeha (edaspidi *muldkeha*) rajatakse ehitusprojekti ettenähtud täitematerjalist kogu muldkeha laiuses tihendatavate horisontaalkihtidena. Muldkeha tihendatava kihi paksus ja tihendamiskäikude arv peavad tagama muldkeha täitematerjali tihendusteguri vähemalt 95% standardse Proctorteimi maksimaalsest tihedusest.

- Standardse Proctorteimi meetod on kirjeldatud standardis EVS-EN 13286-2. Tegemist on võrdlustiheduse määramise meetodiga, millega leitakse pinnase suurim ehk maksimaalne tihedus ja optimaalne veesisaldus pinnase standardse tihendamisega. 95% standardse Proctorteimi maksimaalsest tihedusest tähendab näiteks seda, et kui liiva maksimaalne tihedus on määratud  $1,72 \text{ Mg/m}^3$ , siis objektile peab see olema vähemalt  $0,95 \cdot 1,72 = 1,63 \text{ Mg/m}^3$ .
- Võrdlustihedust saab kontrollida vaid mahumassi meetodil, mille käigus määratakse, kui suur on kindlasse ruumalaühikusse mahtuv kuiva pinnase mass. Kuna tegemist on ajamahuka ja aeglase meetodiga, on välja töötatud korrelatsioonidel või kogemustel põhinevad teised tiheduse mõõtmise tehnikad. Eestis levinud viisideks on mõõtmised penetromeetriga, Inspector-seadmega (või muude LWD-seadmetega), plaatkoormuskatsega, FWD-seadmega ning osadel pinnaserullidel on peal ka pideva tiheduse jälgimise võimalused. Lisaks on võimalik tihedust määrata näiteks radioaktiivse isotoobi (ing. *nuclear density gauge*) või elektromagnetilisel (ing. *electromagnetic density gauge*) meetodil kasutades vastavaid seadmeid.
- Tiheduse mõõtmise viise on käsitletud Maanteeameti juhises „Muldkeha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised“, kus peatükis 2.10 on käsitletud liivpinnase tiheduse ja Inspector-seadmega saadud väärtuste omavahelist seost.
- Metsatee muldkeha tiheduse mõõtmiseks võib kasutada kõiki selliseid seadmeid ja meetodeid, millega on võimalik kontrollida määruses esitatud nõude täitmist.

Talvel võib muldkeha ehitada ainult vett hästi läbilaskval aluspinnasel ja vett hästi läbilaskvast materjalist. Kui talvel ehitatud muldkeha ei ole võimalik tihendada ja/või kui materjal sisaldab külmunud kamakaid (foto 26), ei või sellele katendit peale ehitada enne, kui muldkeha on täielikult sulanud ja tihenunud. Seejuures tuleb arvestada muldkeha paksuse ning tihendusmasinate võimsusega.

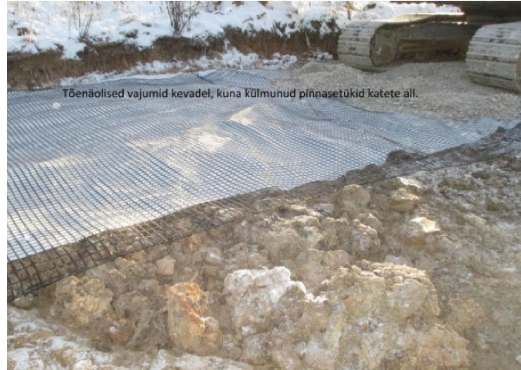


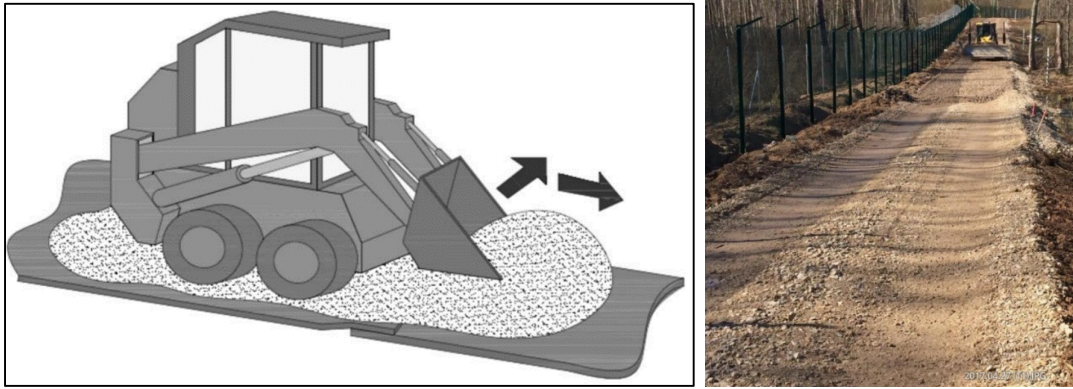
Foto 26. Näide lubamatust ehituspraktikast, kus katendit hakatakse ehitama külmunud tihendamata pinnasele. Foto: Sven Sillamäe.

Nõrkade pinnaste (eripinnaste) korral tuleb arvestada sellega, et otse pinnasel ei pruugi olla võimalik tavapäraste ehitusmasinatega liigelda. Vaja võib minna ajutisi ehituslahendusi ja tugevdusi, nt puuokstest parved, ümber pööratud kännud jne. Kuna pinnased on nõrgad ning eriti turbapinnas ka tugevalt kokkusurutav, võib teed olla vajalik ehitada mitmes etapis, mille täpsemad detailid sisalduvad projektis. Nõrkade pinnaste puhul ei ole reeglina esimes(t)e kih(t)i(de) paigaldamisel lubatud kasutada vibrotihendamist, vaid kasutada tuleb staatilist koormust.

**Geosünteedi paigaldamisel** ettevalmistatud alusele tuleb lähtuda järgmistest nõuetest, lisaks tuleb lähtuda tootjapoolsetest juhistest, vastuolude korral lähtuda viimasest:

- 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;
- geosünteedide paanide ülekatted on täpsustatud projektis, kuna ülekate vajalik suurus sõltub aluspinnase kandevõimest (peatükk 1.7.1). Minimaalselt peab ülekate olema 30 cm;
- geosünteedi ülekate tehakse vee voolamise või täitematerjali paigaldamise suunas (joonis 46);
- mehanismidega liikumine otse geosünteedikal peab olema minimaalne, soovitatavalt täiesti välditud. Liikudes geosünteedide peal, tuleb vältida manööverdämist;
- geosünteedid 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 (soovituslikult minimaalselt 20 cm) ja maksimaalne terasuurus väiksem 1/3 paigaldatava kihi paksusest;
- geosünteedid tuleks laotada maha korraga mitte rohkem, kui ühes vahetuses jõutakse seda katta.

Vibrorulliga materjali tihendamisel geosünteedi peale tuleks esimesed läbikud teha staatilise koormusega vibratsiooni sisse lülitamata, misjärel võib jätkata tavapärase meetodiga. Kui tihendamise ja tee (ehitusaegse) kasutamise käigus tuleb välja pehmeid kohti, viitab see reeglina ebapiisavale kihipaksusele. Kui teesse tekivad roopad, ei peaks neid tasandama, vaid tuleks täita (foto 27).



Joonis 46 ja foto 27. Geosünteedi ülekate tehakse vee voolamise või täitematerjali paigaldamise suunas, joonis [Propex]. Kui teekattes tekivad roopad, tuleks need tasandamise asemel täita, foto: Sven Sillamäe.

### 2.2.3 Teekatendi ehitamine

Ehitusprojektis ettenähtud materjalist teekatend rajatakse muldkehale, mille täitematerjali veesisaldus võimaldab rajada teekatendit nii, et muldkeha pärast teekatendi rajamise tööde käigus toimunud deformeerumist vastab sellele esitatud nõuetele. Enne teekatendi rajamist liigniiske muldkeha täitematerjal vajaduse korral kuivatatakse ja liigselt kuivanud muldkeha täitematerjali niisutatakse.

Talvel rajatud muldkehale, mis on külmunud, rajatakse teekatend pärast muldkeha sulamist. Enne teekatendi rajamist vajaduse korral tihendatakse sulanud muldkeha ja profileeritakse, tagades, et muldkeha vastab sellele esitatud nõuetele.

Teekatendi materjali tihendamisel tagatakse, et tihendustegur pärast teekatendi materjali tihendamist on vähemalt 100% standardse Proctoriteimi maksimaalsest tihedusest. Hinnanguliselt on nõue tagatud, kui Inspector-seadmega saadakse tihendatud kihilt vähemalt järgmised elastsusmooduli väärtused:

- kruuspinnase korral:  $\geq 120$  MPa;
- väga jämedateralise killustiku nt „põlevkiviaheraine“ fr. 0/90 mm korral:  $\geq 150$  MPa;
- killustiku korral:  $\geq 170$  MPa.

Metsatee katendi tiheduse kontrollimiseks võib kasutada ka muid seadmeid ja meetodeid, millega on võimalik kontrollida määruses esitatud nõude täitmist.

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

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

### **3. METSA- JA MAAPARANDUSSÜSTEEME TEENINDAVATE TEEDE HOOLDAMINE JA REKONSTRUEERIMINE**

Metsatee elutsükli võib 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.

#### **3.1 Tee hooldamine ja uuendamine**

Metsatee seisundinõudeid, mis on hooldamise aluseks, on käsitletud Keskkonnaministri määruses nr 32 „Metsatee seisundi kohta esitatavad nõuded“, mille põhjal määratakse metsatee seisund, mis tagab metsatee kandevõime, võimaldab teha ohutult metsamajandustöid ja liigelda liiklusseaduse ning metsatee kasutamise ja kaitse nõudeid täites.

Teede hoolduse temaatikat laiendades mõeldakse hoolduse all meetmeid, mida tehakse säilitamiseks teed seisundinõuetele vastavas seisukorras. Hooldustöödega püütakse tagada turvalist liiklemist ja vältida tee lagunemist. Hooldustööd jagunevad tava- ja perioodiliseks hoolduseks, viimast nimetatakse ka uuendamiseks.

**Tavahoolduse** alla kuuluvad tööd, millega tagatakse liikluse sujumine ja teekonstruktsioone mõjutatakse vähe:

- teede ülevaatus;
- liiklust ohustavate esemete, surnud lindude ja loomade eemaldamine;
- teekatte hõõveldamine või profileerimine lisamaterjali lisamiseta;
- lohkude ja läbilõögikohtade täitmine materjali lisamisega kuni 25 tonni kilomeetrile;
- teepeenarde mahalõikamine;
- nõlvade uhtumiste jm vigastuste likvideerimine, voolusängide puhastamine, truupide puhastamine;
- rohu niitmine, võsaraie;
- liikluskorraldusvahendite korrashoid, vajadusel asendamine;
- sildade ülevaatus, kergete vigastuste kõrvaldamine, puhastamine; jõesängi puhastamine;
- talihooldus (lume- ja libedusetõrje, pinna tasandamine, helkurribaga markiiride paigaldamine ja kokkukogumine).

**Perioodilise hoolduse ehk uuendamise** eesmärgiks on tee-elementide kulumise ja kahjustuste tagajärgede kõrvaldamine ühekordsete või mahuliselt määratud tegevustega, tagades tee vastamise

kehtestatud nõuetele, tagades olemasoleva katte säilimise ja tee vastamise kehtestatud nõuetele. Kuna perioodiline hooldus on ühekordne töö, siis lepitakse selle mahus ja sisus eraldi kokku vastavalt vajadusele. Tavahooldus toimub pidevalt, perioodiline hooldus vastavalt vajadusele.

Metsateede uuendamist käsitleb Maaeluministri määrus nr 75 „Maaparandushoiutööde nõuded“ 5. jagu, mille alusel teed uuendatakse, kui:

- tee läbitavus on vähenenud ja tee hooldamisega ei ole võimalik tagada selle sihipärasest kasutamist;
- teekattes olevate rööbaste, lohkude, läbilöögikohtade ja muude ebatasasuste kõrvaldamiseks kulub kruusa või muud sobilikku materjali rohkem kui 25 tonni kilomeetri kohta.

Teekatte uuendamisel kruusaga või muu sobiliku materjaliga (nt killustik) ja tee profiili taastamisega tagatakse, et teele kogunev vesi valgub teekraavidesse kogu tee ulatuses. Kruusa või muud sobilikku materjali lisatakse teele 10–15 cm paksuse kihina, mis on mõõdetud tihendatud olekus.

Teekattesse lisatakse kruusa või muud sobilikku materjali sellisel määral, et ebatasasused teel oleksid tasandatud ja kogu teekatte keskmine paksus vastaks maaparandussüsteemi ehitusprojekti nõuetele.

Teekattele kruusa lisamist on soovituslik teha varasügisel, kuna tänu sellele seob kruus hästi niiskesse kulumiskihti. Samal ajal leostunud ja pehmed teed muutuvad kuivemaks ja paremini kandvateks. See leevendab ka kevadisi probleeme kattekihiga. Sügisene töö hõlbustab samuti talihoolde tegemist. Kevadiste parandustöödega lisatakse kruusa sellistesse kohtadesse, mis on muutunud pehmemaks. 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 14 on toodud üldine graafik hooldustööde ajastamisest.

Tabel 14. Graafik hooldustööde ajastamisest

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

### 3.1.1 Hooldus- ja uuendamistööde põhimõtetest ja meetodikatest

Hooldustööde maht oleneb liiklussagedusest ja selle koosseisust, aga ka ilmastikust. Tee konstruktsiooni hoidmine kuivana ja kevadiste sulade ajal liikluspiirangute kehtestamine mõjutavad tugevalt tee korrastamist, seega tuleks seda käsitleda kui esmast hooldetöö liiki.

Tee kuivana hoidmine hõlmab seda, et teekate oleks positiivse kaldega, tee ääres ei oleks vee äravoolu takistavaid rante ja drenaaž toimiks. Tabelis 15 on esitatud mõningad probleemid ja nende lahendusvariandid.

Kruus- või killustikkattega tee põikkalle peaks olema  $4\% \pm 1\%$  ja kurvides ühepoolse kaldega 3 – 7%. Liiga väike põikkalle takistab vee äravoolamist tee pinnalt, mille tagajärjel tekivad augud, roopad ja kandevõimeprobleemid. Tõusudel ja langustel on põikkalded olulised vältimaks vee pikisuunalisest voolamisest tekkivaid uhtumisi. Liiga suured põikkalded teevad sõitmise ebamugavaks, aga ka ohtlikuks, kuna tee äärte kandevõime on väiksem ja libeduse korral võib auto hakata libisema.

Tabel 15. Mõningad ebapiisavast drenaazist tingitud probleemid [19]

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

Üheks peamiseks teekatte hooldamise viisiks on profileerimine, mida tehakse olenevalt vajadusest ja võimalustest kas greideri, teehooldusmasina alussaha või traktori järgi haagitava vastava seadmega (foto 28). Edaspidi nimetatakse seda „hõõveldamiseks“, mis jaguneb tasandushõõveldamiseks ja profiiliparanduseks.





Foto 28. Traktori järgi haagitav kerge seade, millega tehakse tasandushööveldamist. Foto allikast [19].

Hööveldamise eesmärk on tasandada sõidurada ja siirdada teepeenardesse paiskunud kulumiskihi materjal tagasi sõidurajale. Hööveldamiseks parim aeg on kevadel, kui teekatte pind on niiske. Kui hööveldatakse 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.

**Tasandushöövelduse** (foto 29) puhul tasandatakse teed lõigates kuni aukude põhjani (joonis 47) 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. Tasandushööveldamine ei sobi juhul, kui tee pinnal paistab palju suuremõdulisi kive või kui tee peal pole piisavalt kulumiskihti. Sellisel juhul tuleb teha teekatte uuendamine.

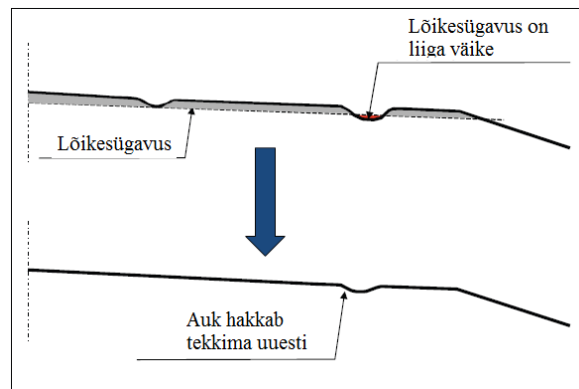
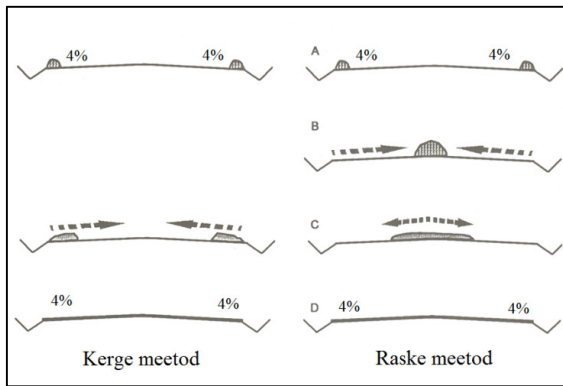


Foto 29 ja joonis 47. Kruusatee tasandushööveldamine [18] ning vajaliku lõikesügavuse defineerimine [19].

**Profiiliparanduse** peamine eesmärk on sõiduraja põikkalde vormimine ja tee äärde kogunenud kivimaterjali tagasi toomine sõidurajale. Tavalaiuses metsatee vajab kahte höövelduskorda. Esimene on hööveldamine raskel meetodil, millega tee pind lõigatakse õigesse põikkaldesse tõmmates samal ajal tee äärtes olev materjal tagasi sõidurajale. Teine höövelduskord on tasandushööveldus, millega laotatakse sõiduraja keskele aetud vall tagasi teele (joonis 48 ja fotod 30...32). Hööveldamise ajal võib vajadusel lisada ka kulumiskihi materjali või mõnda puuduvat fraktsiooni ja tolmutõrje tegemise eesmärgil  $\text{CaCl}_2$ .



Joonis 48 ja foto 30. Profiiliparandus (1) [18].



Fotod 31 ja 32. Profiiliparandus (2) [18].

Üheks metsateede seisukorraga seonduvaks probleemiks on teekattele „tungiv“ taimestik, mistõttu jäävad ääred hõõveldamata ning tee jääb aegamisi künasse, samuti paiskub sinna kulumiskihi materjali, mida ei saa hiljem enam kätte. Seda saab vältida õigeaegse tasandushõõveldamisega, kui üle käiakse ka tee ääred. Fotol 33 on kujutatud vastava töö tegemist traktori taha haagitava kergema seadmega, mille tera on tõstetud asendisse, mis võimaldaks läheneda tee äärtele. Kui tee ääred on juba kinni kasvanud, on võimalik taimestik ja pealmine humuskiht eemaldada selleks sobiliku freesiga (foto 34), mis võimaldab seejärel ligipääsu all olevale kruusale.

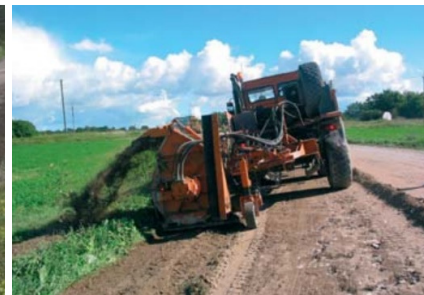


Foto 33 ja 34. Tee ääres oleva kulumiskihi materjali tagasi toomine. Kui tee ääred on juba kinni kasvanud, on võimalik taimesti ja humus eemaldada selleks ettenähtud freesiga. Fotod allikatest [19] ja [20].

## Kevadised kandevõimeprobleemid

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 lisakulutusi, 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.

Tee nõrga kandevõime näitab kandevõimemõõtmine. Tabelis 16 on tee kandevõime ja selle seisukorra vaheline seos. Siinjuures tuleb arvestada, et kui mõõtmised tehakse kerge seadmega (nt Inspector või selle sarnane) ja kui samaaegselt on kruuskatte pealne kiht tahenenud, võivad tulemused olla eksitavad ja tegelikult kandevõime mõõdetust oluliselt nõrgem. Soovituslik on kandevõimet mõõta FWD-seadmega (foto 35), mis avaldab teele sama koormuse, mis raskeveok.



Foto 35. Metsatee kandevõimemõõtmine FWD-seadmega (kuigi mõõtja on Soomest, on foto tehtud Eestis). Foto: Sven Sillamäe.

Tabel 16. Tee kevadise kandevõime ja lagunemise seos raskeliikluse (metsaveo) puhul (oleneb ka koormusest)

Tee kevadine kandevõime	Tee lagunemine
$E < 50 \text{ MPa}$	Tugev lagunemine
$E = 50 \dots 70 \text{ MPa}$	Märgatavate roobaste teke
$E > 70 \text{ MPa}$	Märkimisväärset lagunemist pole

Tee kandevõimet saab hinnata ka selle järgi, kuidas teekate käitub raskeveoki ülesõiduga: kui tekib silmnähtav püsiv deformatsioon, on põhjust kehtestada teele koormuspiirang. Tee on sellegipoolest kasutatav juhul, kui teljekoormust vähendatakse: tee koormustaluvus kasvab ca 10-kordseks, kui telje koormust vähendatakse 10 tonnilt 6 tonnile.

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. Kui vaatlust eelmisel kevadel tehtud pole, valitakse tugevdamist vajavad kohad vastavalt kogemustele või kandevõimemõõtmistele. Tee eelnev tugevdamine tuleb teha nii varakult kevadel, et tee on veel tervenisti külmunud, et see kestaks ehitustehnika poolt antava lisakoormamise. Parandamisel kasutatavad materjalid peavad olema külmakindlad (jämetäitematerjali peenosisesisaldus tuleb piirata maksimaalselt 7% peale) vastasel juhul muutub peale veetud kiht sulamisperioodil pehmeks.

### **3.3 Tee rekonstrueerimine**

Metsateede rekonstrueerimisele eelnevaid uuringuid käsitleb Maaeluministri määrus nr 77 „Maaparanduse uurimistöö nõuded“ §29 järgnevalt:

- rekonstrueeritava tee uurimisel tuleb anda hinnang tee seisundile, tuvastada probleemid ja nende põhjused, mis on aluseks projektlahendusele;
- uuringu tulemusel jagatakse tee selle seisukorra järgi iseloomulikeks lõikudeks;
- tee katendit ja aluskonstruksiooni sondeeritakse vähemalt kahe meetri sügavuseni minimaalselt kolmes punktis igas tee iseloomulikus lõigus, lisaks ka nõrkades ja läbivajunud kohtades. Nõrkade pinnaste korral sondeeritakse kuni mineraalpinnaseni;
- iga iseloomuliku teelõigu kohta koostatakse tee ristprofiil, millele kantakse olemasolu korral ka tee kuivendusrajatis.

Seejärel koostatakse olenevalt tee seisukorrast remondilahendus, mille käigus tuleb kasutada samu kohaldatavaid nõudeid ja põhimõtteid, mis uue teekatendi projekteerimisel.

## VIIDATUD ALLIKAD

1. Bujang B.K. Huat, Arun Prasad, Afshin Asadi, Sina Kazemian. *Geotechnics of Organic Soils and Peat*. CRC Press/Balkema 2014;
2. Chen, D.-H., Lin, ED.-F., Liau, P.-H. and Bilyeu, J. (2005). A Correlation Between Dynamic Cone Penetrometer Values and Pavement Layer Moduli, *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 28, No.1, pp. 42 – 49;
3. *Embankments on Organic Soils*, Elsevier Science 1996;
4. *Floating Roads on Peat*. Prepared by Foresty Civil Engineering, Scottish Natural Heritage. August 2010;
5. Giroud, Jeanpierre & Han, Jie. (2012). The Giroud - Han design method for geosynthetic - reinforced unpaved roads. *Geosynth. Int.* 30. 4-9.
6. Jaaniso V. Ehitusgeoloogiliste uuringute konspekt;
7. Jiliang Li, Thiago Fernandes Leao „Application of Nor Sand Constitutive Model in a Highway Fill Embankment Slope Stability Failure Study. *Civil Engineering Journal*, vol 4, no 10, October 2018;
8. Kaakkurivaara, T., Uusitalo, J. Kelirikkoaikaisen puunkuljetuksen haasteet – Ratkaisuja metsäteiden kuljetuskelpoisuuden ongelmiin sekä metsäteiden kantavuuden mittaukseen ja kunnostamiseen;
9. Long, M. and Boylan, N. In Situ Testing of Peat – a Review and Update on Recent Developments. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* Vol. 43 No.4 December 2012 ISSN 0046-5828;
10. Majandus- ja taristuministri määrus nr 106 (RT I, 07.08.2015, 14) „Tee projekteerimise normid“;
11. Matys, M. Baslik, R. Study of Interlocking Effect by the Push Test;
12. Mesri, G., Statak, T. D., Ajlouni, M. A. and Chen, C. S. (1997) Secondary compression of peat with or without surcharging. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 411–21.
13. Mets, M. The soils' strenght. *Baltic Geotechnics '95*, Balkema, Rotterdam 1995;
14. Metsätieohjeisto. Metsäteho Oy. 2001;
15. Roadex e-õppe kursus „Roads on Peat“;
16. Shukla, S. K., Yin, Jian-Hua. 2006. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*, Taylor&Francis, 2006;
17. *Soil Treatment. Base Layers with Hydraulic Binders*. Wirtgen GmbH;
18. *Sorateiden hoito ja kunnostus*. Tielaitos. Helsinki 1995;
19. *Sorteiden kunnossapito. Liikenneviraston ohjeita 1/2014*. Helsinki 2014;
20. Terzaghi, K., Peck, R., Mesri, G. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 1996;
21. Teeleht nr 2 (38), september 2004, lk 31;
22. *User Guide to the Dynamic Cone Penetrometer*. MnROAD;

**Veebiallikad (külastatud 12.2019):**

23. <http://www.alemohammadi.com/fe-exam/transportation/geometric-design/horizontal-curve>
24. <http://www.fao.org/3/t0099e/T0099e03.htm>
25. <https://www.youtube.com/watch?v=ahlu0gVP42I>
26. <https://www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/vagbyggnadsteknik/vagbyggnad-steg-for-steg/diken/>
27. <https://www.geosynthetica.com/interaction-flexibility-geogrid-reinforcement/>

## Lisa 1. Kuidas valida eraldavat geotekstiili

Järgnev materjal põhineb NorGeoSpec 2012 juhendmaterjalil, mis on saadaval ingliskeelsena: [www.norgeospec.org](http://www.norgeospec.org) → NorGeoSpec → Guideline.

Eraldav geotekstiili peab takistama kahel mineraalmaterjalil segunemast, kuid lubades samaaegselt vee vaba liikumist. Ülesannete täitmiseks on oluline, et tekstiil ei puruneks ega ummistuks:

- purunemiskindluse jaoks on vajalik teatud tõmbetugevus ja suur venivus (testitakse vastavalt EVS-EN ISO 10318), läbistus- (EVS-EN ISO 12236) ja torketugevus (EVS-EN ISO 13433);
- Ummistuskindluse tagab geotekstiili poorsus (EVS-EN ISO 12956) ja mõõdetav veeläbilaskvus (EVS-EN ISO 11058).

Kõiki neid omadusi koos veel mõne täiendava omadusega käsitleb Põhjamaade geotekstiilide spetsifikatsioonisüsteem NorGeoSpec, millega on liitunud ka Eesti Maanteeamet (ehk riigimaanteedel tuleb kasutada vaid kehtiva NorGeoSpec'i sertifikaadiga materjale).

Süsteemi eelised, lisaks sellele, et on määratud kõik vajalikud teede all kasutatavate eraldavate geotekstiilide omadused, on lihtsus nii projekteerijale kui tellijale õige materjali valimisel ja selle sobivuse kontrollimisel.

### Projekteerijatele – kuidas käib geotekstiili valik.

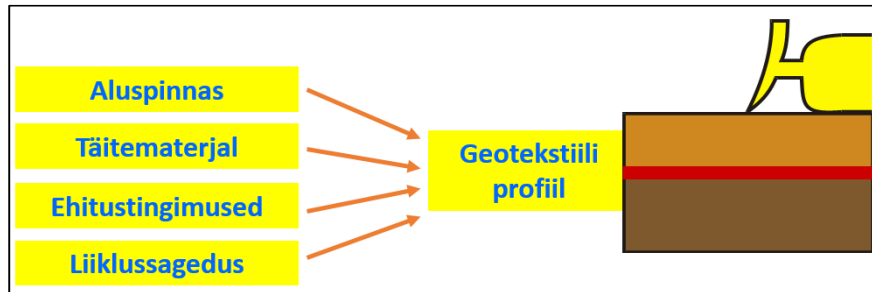
On vaja teada nelja tingimust, mis nagunii on teada (joonis L1.1):

1. alla jääva pinnase tüüp (kaks tingimust):
  - nõrk – pinnased drenimata nihketugevusega  $\leq 25$  kPa (nt savi ja turvas);
  - tugev – pinnased, mille nihketugevus ületab 25 kPa;
2. missugused on ehitustingimused (kaks tingimust):
  - tavalised juhul, kui ehituse ajal esineb kaks või enam järgnevatest olukordadest:
    - raske ehitusaegne liiklus;
    - nurgeline ja terav purustatud täitematerjal;
    - rasketehnikaga vibrotihendamine;
    - ehitustranspordi liikumine täitekihtidel paksusega vähem kui 300 mm;
  - soodsad juhul, kui kasutatakse täitematerjali, mille maksimaalne teraläbimõõt on  $< 200$  mm ja kihipaksus  $> 1,5$  maksimaalsest tera läbimõödust.
3. tee kasutamist iseloomustavad näitajad:
  - tee kasutus on intensiivne (üle 500 sõiduki ööpäevas);
  - tee kasutus on madal (alla 500 sõiduki ööpäevas);

4. kasutatava täitematerjali maksimaalne teraläbimõõt:

- $\leq 63$  mm;
- 63 kuni  $\leq 200$  mm;
- 200 kuni  $\leq 500$  mm;
- $> 500$  mm.

Nimetatud neli tingimust on kokku koondatud tabelisse L1.1, millest selgub, mis profiiliga geotekstiili tuleks kasutada, et oleks tagatud selle toimivus. Projektis piisab, kui on tähistatud vaid geotekstiili profiil.



Joonis L1.1. Kuidas saadakse kokku geotekstiili profiil.

Tabel L1.1. Eraldava geotekstiili profiili valik (NorGeoSpec 2012)

Aluspinnas	Ehitustingimused	Liiklus	Täitematerjali maksimaalne terasuurus, mm			
			63 ja väiksem	63...200	200...500	Üle 500
Nõrk	Tavaline	Intensiivne	3	4	5	5
		Madal	3	4	4	5
	Soodne	Intensiivne	3	3	--	--
		Madal	2	3	--	--
Tugev	Tavaline	Intensiivne	2	3	3	4
		Madal	2	2	3	3
	Soodne	Intensiivne	2	2	--	--
		Madal	2	2	--	--



**Näide:**

Metsatee katend ehitatakse kraavi kaevamisest tulnud vahelduvast pinnasest muldkehale kasutades „põlevkiviaherainet“ fr. 0/90 mm.

Loeme aluspinnase nõrgaks, ehitustingimused on tavalised (kindlasti on täidetud tingimused kui raske ehitusaegne liiklus ja ehitustranspordi liikumine alla 300 mm paksul täitematerjalikihil), teekasutus on madal (metsateel reeglina liiklussagedus ei ületa 500 autot/ööp) ja täitematerjal paikneb vahemikus 63...200 mm.

Tabelist L1.1 lähtuvalt saame geotekstiili profiiliks 4. Ainus asi, mida projekti on vaja kirjutada on see, et kasutatav geotekstiili peab olema 4. profiil või siis võib tähistada, et geotekstiili peab olema NGS 4 (viitab, et vastavalt NorGeoSpec-juhendile on geotekstiili profiiliks nr 4).

**Tellijale – kuidas kontrollida, et kooskõlastamiseks esitatav materjal on õige ja kas ehitaja kasutab objektil vajalikku materjali.**

Tavaliselt esitab töövõtja edasimüüvalt saadud materjali tehniliste näitajate kirjelduse (*data sheet*) ja/või toimevõime deklaratsiooni, mille peal on kirjas materjali tootja, materjali mark ja kõik seda iseloomustavad näitajad. Seda, kas kooskõlastamisele esitatud materjal vastab projektis nõutule ja kas sel on olemas NorGeoSpec'i sertifikaat, saab kontrollida [www.norgeospec.org](http://www.norgeospec.org) → Product Certificates leides üles tootja ning toote nimetuse.

Objektil olevat materjali saab kontrollida läbi märgistuse, mis on prinditud geotekstiilile ja mis kordub teatud maa tagant.

**Näide:**

Projekteerija on leidnud, et vaja oleks kasutada 2. profiili geotekstiili (näiteks tähistatud projektis kui „NGS 2“ või „II profiil“). Ehitaja esitab kooskõlastamiseks materjali toimevõime deklaratsiooni (selle pealt peab selguma toote tootja ja toote nimi, nagu näiteks joonisel L1.2, mis on väljavõtte lehe päisest). Materjali NorGeoSpec-sertifikaadi leiab üles viidatud lingilt, nagu on näidatud joonisel L1.3. Sellele klõpsates nähtub materjali sertifikaat, nagu on näidatud joonisel L1.4. Objektil saab toote õigsust kontrollida läbi märgistuse, mis on tehases geotekstiili peale prinditud (joonis L1.5).

Kõik eelnev tõendab, et ehitaja on kooskõlastanud ja ka tegelikult kasutab nende omadustega materjali, mida projektis on nõutud.

**CE**

**0799 - CPD**






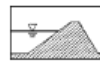



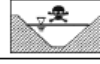
**Toimivusdeklaratsioon**

**0799 - CPD - 15**






110140NG08R01-10052012

2. **Toote kirjeldus**  
**GEO PP 2NG/08**

3. **Kasutuskohad:**

<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13249: Nõutavad omadused teede ja muude liikusalade (v.a raudteed ja asfaldkihid) ehitamisel	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13250: Nõutavad omadused raudteede ehitamisel
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13251: Nõutavad omadused kasutamiseks mullatöödel ning vundamentides ja tugikonstruktsioonides	<input type="checkbox"/>		EN 13252: Nõutavad omadused dreenaazi rajamisel
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13253: Nõutavad omadused erosioonitõrjel	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13254: Nõutavad omadused veehoidlate ja tammide ehitamisel
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13255: Nõutavad omadused kanalite ehitamisel	<input type="checkbox"/>		EN 13256: Nõutavad omadused tunnelite ja allmaakonstruktsioonide ehitamisel
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13257: Nõutavad omadused tahkete jäätmete ladustamisel	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 13265: Nõutavad omadused vedeljäätmete hoidlate ehitamisel

**Funktsioonid:**

<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	
-------------------------------------	--	-------------------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	---	-------------------------------------	--

4. **Geo&tex 2000 S.p.A., Via XXV Aprile 3, I-36020 San Nazario (VI) - ITALY**

Tel: +39 0424 98330 Fax: +39 0424 98593 @:INFO@GEOTEX2000.COM

Toodetud tehastes 16166 - A, 16166 - B, 16166 - C

Joonis L1.2. Väljavõte (fragment, originaaldokumentil on esitatud kõik materjali tehnilised näitajad) ühe geotekstiili toimivusdeklaratsioonist. Punasega on tähistatud toote nimi ja sinisega tootja nimi.

Geo&tex 2000 SpA	GEO PP 1NG/08	2020-09-08	S+F	1	QPC + QPS
	<b>GEO PP 2NG/08</b>	2020-09-08	S+F	2	QPC + QPS
	GEO PP 3NG/08	2020-09-08	S+F	3	QPC + QPS
	GEO PP 4NG/08	2020-09-08	S+F	4	QPC + QPS
	GEO PP 5NG/08	2020-09-08	S+F	5	QPC + QPS

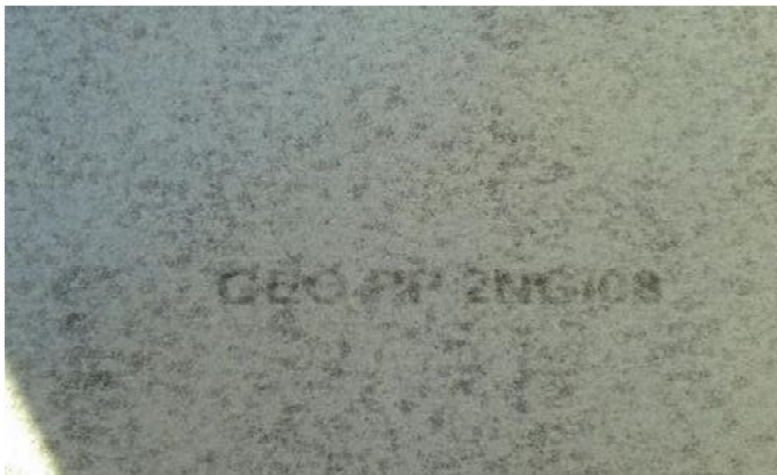
Joonis L1.3. Väljavõte leheküljelt [www.norgeospec.org](http://www.norgeospec.org) → Product Certificates.

## Quality Product Certification Separation and Filtration

This product has been found to be fit for use in accordance with NorGeoSpec 2012 System for the above given function.

<b>Certificate no.:</b>	NGS-50132
<b>Date:</b>	09.09.2018
<b>Valid until:</b>	08.09.2020
<b>Manufacturer:</b>	Geo&tex2000
<b>Product:</b>	GEO PP 2NG/08
<b>Product Type:</b>	GTX-N
<b>Raw material:</b>	PP
<b>Function:</b>	Separation and Filtration

Joonis 4. Väljavõte NorGeoSpec-sertifikaadilt, millel on esitatud vajalikud andmed.



Joonis L1.5. Näiteks kasutatud materjali märgistus tootel.