



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

Version 2.1 (2022)



Tallinn 2022

## EESSÕNA

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

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

Käesolev juhend on sisuliselt järgmiste määruste selgitus koos vajaliku taustinformatsiooni ja näidetega:

- Maaeluministri määrus nr 45 „Maaparandussüsteemi projekteerimismormid“;
- Maaeluministri määrus nr 38 „Maaparandussüsteemi ehitamise täpsemad nõuded“;
- Maaeluministri määrus nr 77 „Maaparanduse uurimistöö nõuded“;
- Keskkonnaministri määrus nr 34 „Metsatee seisundi kohta esitatavad nõuded“.

Versioonis 2.1 (2022) on võrreldes versiooniga 2.0 (2020) tehtud alljärgnevaid uuendusi:

- vähesel määral on korrigeeritud sõnastusi;
- lisatud on kergtäitematerjali, bermi ja kandevõime mõiste;
- uuendatud on viited seadustele ja määrustele;
- lisatud on tabel 5 seoses savipinnase dreanimata nihketugevuse ja elastsusmooduliga;
- tee laiendamise projekteerimiseks on antud viide Transpordiameti Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise peatükile 8;
- peatüki 3.3 lõppu on lisatud täiendav selgitus seoses teekatendite rekonstrueerimisega;
- lisatud on kergtäitematerjale käsitlev Lisa 2.

Juhendi koostamisel on osalenud Sven Sillamäe, Toomas Kivisto ja Margus Reimann ning kergtäitematerjalide osas Eero Kotli.

## SISUKORD

Mõisted .....	5
Tähised ja lühendid .....	8
1. Metsa- ja maaparandussüsteeme teenindavate teede projekteerimine .....	9
1.1 Teede liigitus ja projekteerimistasemed .....	9
1.2 Tee põhiparameetrid.....	11
1.3 Uurimistöö nõuded.....	13
1.3.1 Eripinnastest .....	18
1.4 Tee konstruktsiooni projekteerimine.....	20
1.4.1 Mehaaniline stabiliseerimine.....	21
1.4.2 Sideainete kasutamine.....	22
1.4.3 Geosünteedide kasutamine metsateedes, üldosa .....	24
1.5 Muldkeha projekteerimine.....	29
1.6 Tee projekteerimine nõrkadele pinnastele.....	33
1.6.1 Turbast .....	33
1.6.2 Nõrgale pinnasele projekteeritava metsatee tüüplahendus .....	44
1.7 Teekatendi projekteerimine .....	49
1.7.1 Geosünteedidest teekatendis .....	52
1.7.2 Nõuded katendis ja kulumiskihis kasutatavatele materjalidele.....	55
2. Metsa- ja maaparandussüsteeme teenindavate teede ehitus.....	59
2.1 Keskkond.....	59
2.2 Tee ehitamise täpsemad nõuded .....	59
2.2.1 Tee ehitamise üldnõuded .....	59
2.2.2 Tee muldkeha rajamise nõuded.....	60
2.2.3 Teekatendi ehitamine.....	62
3. Metsa- ja maaparandussüsteeme teenindavate teede hooldamine ja rekonstrueerimine.....	63
3.1 Tee hooldamine ja uuendamine .....	63
3.1.1 Hooldus- ja uuendamistööde põhimõtetest ja meetodikatest.....	65
3.3 Tee rekonstrueerimine.....	70
Viidatud allikad.....	71
Lisa 1. Kuidas valida eraldavat geotekstiili.....	73
Lisa 2. Kergtäitematerjalidest .....	78

L2.1. Kergkillustik ja -kruus .....	79
L2.1.1. Kergkillustik .....	79
L2.1.2. Kergkruus.....	80
L2.1.3. Kergkillustiku ja –kruusa omadused .....	80
L2.1.3 Kergtäitematerjalide paigaldamine taristuehituses .....	81
L2.1.4. Kergtäitematerjali sisaldava turbapinnasele ehitatava metsatee näidisarvutused .....	85
L2.2. EPS ja XPS.....	91
L2.3. Rehviplokid .....	93
L2.4. Viidatud allikad .....	96

## MÕISTED

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

**Berm** - kitsas tasandatud maariba, mis lahutab kahte eri kõrgusega ala, näiteks nõrgale pinnasele rajatud teekonstruktsiooni ja kraavi vahel;

**Dreenimata nihketugevus** – teisisõnu pinnase hetktugevus; olukord, kui rõhk ei jõua pooriveses 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 geosüntee-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;

### Kandevõime

geotehnikas mõistetakse kandevõimena pinnase võimet toetada maapinnale rakendatavaid (staatilisi ja dünaamilisi) koormusi nii, et ei oleks ületatud pinnase (nihke)tugevus. Mõiste on tihedalt seotud mõistega tugevus ehk *strength*. Tegemist on kandepiir seisundiga;

teedehituses mõistetakse kandevõimena elastsusmoodulit, mida mõõdetakse plaatkoormuskatse ( $E_{v2}$ ), FWD (*Falling Weight Deflectometer*), LWD (*Light Weight Deflectometer*, nt Inspector-seade), CBR testi (*California Bearing Ratio*) vmt abil. Mõiste on tihedalt seotud mõistega jäikus ehk *stiffness*. Tegemist on kasutuspiiriseisundiga;

**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 allpool asetsevale muldkehale või aluspinnasele;

**Kergtäitematerjal** - täitematerjal, mille terade tihedus ei ületa  $2000 \text{ kg/m}^3$  ( $2,000 \text{ Mg/m}^3$ ) või puistetihedus ei ületa  $1200 \text{ kg/m}^3$  ( $1,200 \text{ Mg/m}^3$ );

**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  $\text{kN/m}^3$ );

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

**Muldkeha** - katendi ja muude tee koosseisu kuuluvate rajatiste paigutamiseks ning tee kõrgusmärkide tagamiseks 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. Geotehnilistes arvutustes määrab pinnase kandevõime 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;

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

**Plastsusarv ( $I_p$ )** - voolavuspiiri ja rullpiiri vahe, iseloomustab pinnase "savikust". Mida suurem on  $I_p$ , seda rohkem on pinnasel savile iseloomulikke omadusi;

**Voolavuspiir (w<sub>L</sub>)** - pinnase veesisaldus protsentides, mille juures pinnas muutub pehmest voolavaks;

**Rullpiir (plastsuspiir, w<sub>p</sub>)** - 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 läbistamaks kindlate mõõtmetega silindriga pinnast standardsel 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>a</sub>** – sekundaarse 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>** – dreanimata 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, 27.05.2022, 6) §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, 01.07.2020, 8) §4 alusel:

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

Metsateed on jagatud järkudeks Keskkonnaministri määrmises 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 määrmises nr 45 „Maaparandussüsteemi projekteerimismid“ (RT I, 04.11.2020, 73):

- 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;

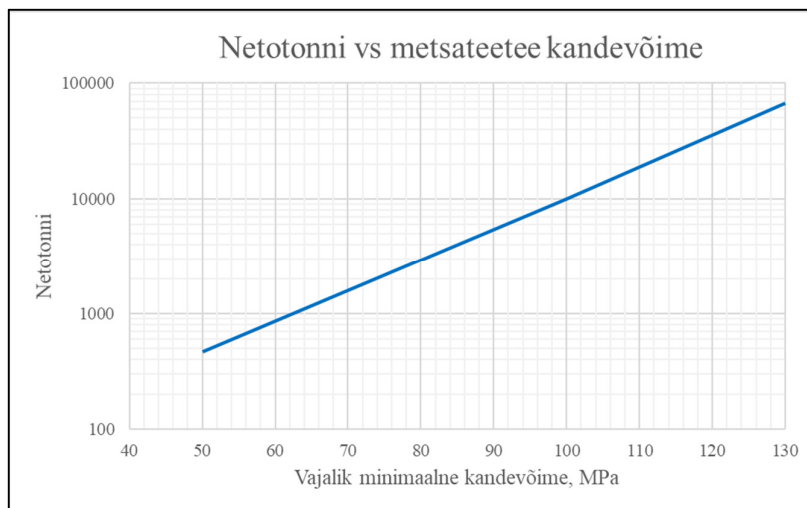
- 4. järgu tee on tee, mille arvutuslik kandevõime on vähemalt 60 megapaskalit ja mida kasutatakse üksiku maaparandussüsteemi teenindamiseks ning millel võivad raskeveosed sõita ainult külmal või kuival ajal.

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. Viimasest tulenevad teekatendi minimaalsed kandevõimed megapaskalites, 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 netotoni 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 (nõ poolhaaked), on soovituslik suurendada minimaalset vajalikku kandevõimet 30% võrra (nt 100 MPa asemel kasutatakse 130 MPa).



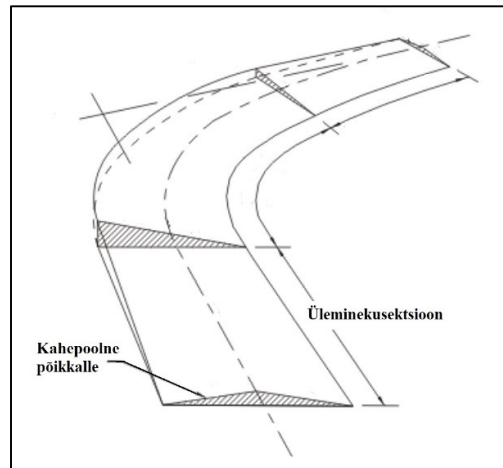
Joonis 1. Seos tee minimaalse kandevõime ja ühes kuus väljaveetava netotonnaaži vahel arvestades, et teekatte pinda võib tekkida kuni ca 5 cm sügavune roobas ning et raskeveostel kasutatakse paarisrattaid (v.a juhttelg).

## 1.2 Tee põhiparameetrid

Maaparandussüsteemi teenindava tee põhiparameetrid on minimaalsete või maksimaalsete (olenevalt kumb on määravam) väärtustena esitatud Maaparandussüsteemi projekteerimismõistmistest §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 matemaatiliselt 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.“

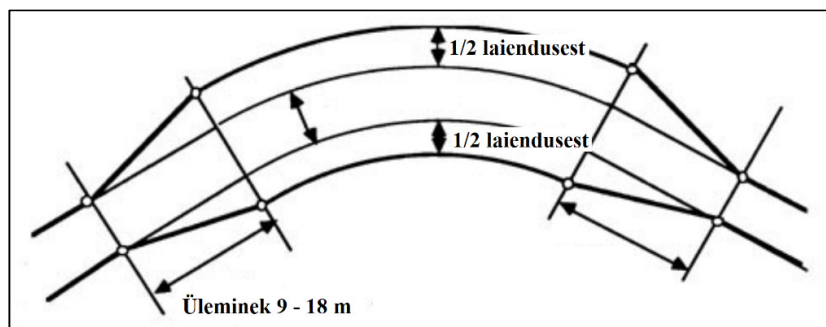
Tee laiend tuleb üldreeglina projekteerida muldkeha laiendamise teel kõveriku siseküljele, kuid erandkorras (kui mistahes põhjusel ei ole seda võimalik lahendada vaid sisekülje kasutades) võib teed laiendada sümmeetriliselt ka kahele poole (joonis 3). Kui maanteedel toimub üleminek laiendile ühtlaselt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

Projekteerimisnormis ei öelda, kui pikk peab olema laienduse ulatus, on vaid nõue, et see toimuks sujuvalt. Sellekohase näidiseana 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).

Tee laiendamise projekteerimisel on võimalik aluseks võtta Transpordiameti Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhis, peatükk 8.

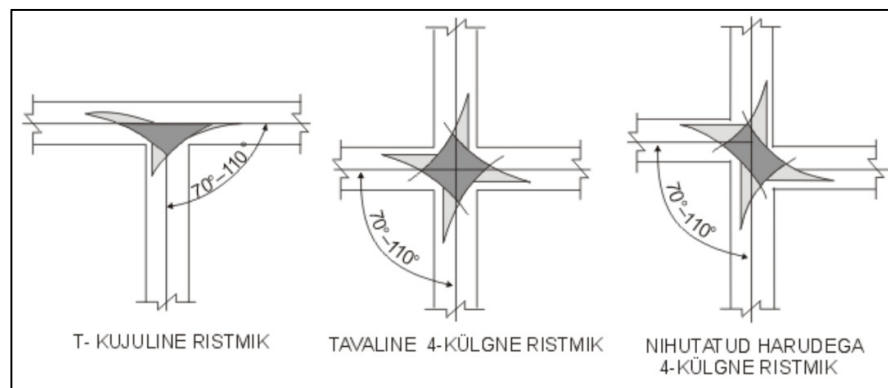
Tabel 1. Tee laienduse soovituslik pikkus sõltudes kurvi raadiusest

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].

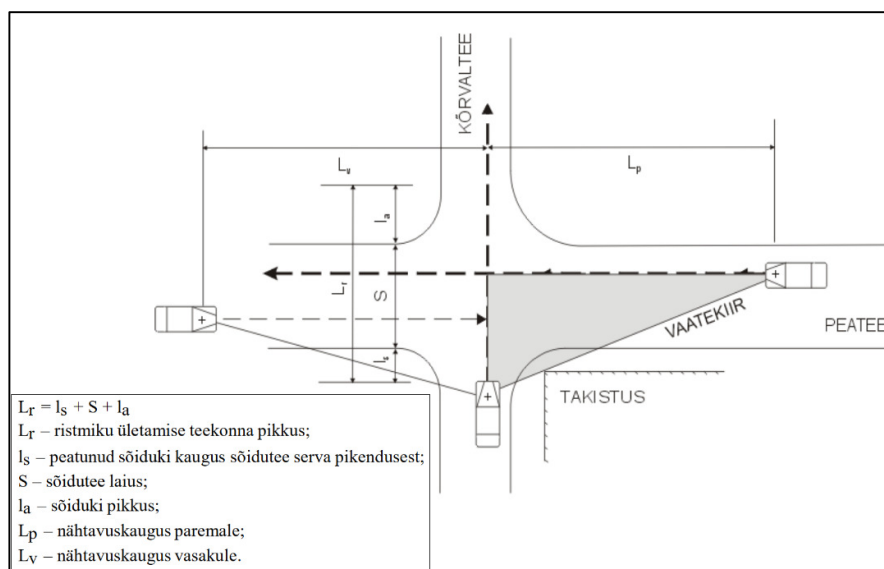
§42 lõige 1: „Teede lõikumisnurk ristmikul projekteeritakse 70–110-kraadise nurga all“, mis näeb välja joonisel 4 kujutatuna.



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, 04.11.2020, 68) 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 projekteerimismõnede 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 eelinfona 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 täpsemad asukohti;
- kus ja mis ulatuses asuvad eripinnased (peamiselt turvas).

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

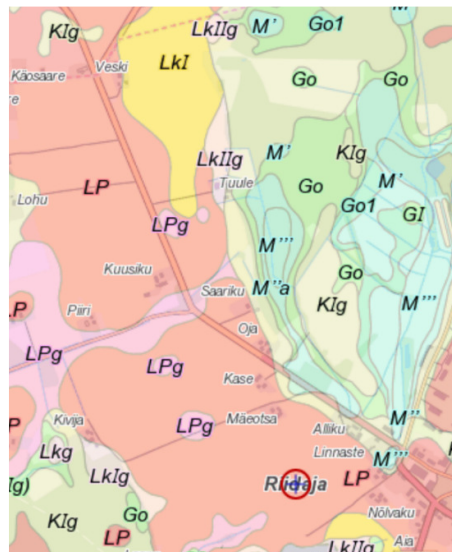
- leostunud muld (Ko), mille huumusesisaldus on põllumaadel 2,7...3%. Tegemist on saviliiv- ja liivsavimuldadega;

- kahkjast leetunud muld (LP), mille lähtekivimiks on valdavalt punakaspruun või pruun liivsavimureen. 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%.

Niiskurežiimi osas võib võrdlevaks näiteks tuua kahkja leetunud mulla (LP) ja leostunud gleimulla (Go), kus esimese puhul saab drenaaži rajamisega muuta tee keskkonda kuivaks, kuid teisel juhul on see raskendatud ning projekteerimisel peaks arvestama „märgade“ 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 tüsedused ning nende normsuurused (**vähemalt lõimis, plastsus, veesisaldus, tihedus**) vähemalt kahe meetri sügavuseni. Üldjuhul tuleb need omadused määrata laborikatsetega, kuid käesolevas juhendis käsitletavate teede osas on võimalik koguda suure osa informatsioonist ka vaid objektile antavate hinnangute ja tehtavate mõõtmistega.

**Lõimise 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 objektile piisavalt täpne pinnase määramine. Maaparandussüsteemi projekteerimismuudatuste 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 niiskuspaikkonna osas vastavalt levivatele muldadele, projekteerimisnormide lisa 1 tabeli 25 märkusele 2 ja tabelis 2 antud iseloomustuse alusel.

Tabel 2. Tee niiskuspaikkonna 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 külgnivate 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 meetodikatega.

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 keerdpeneratsioon) ning saadud tulemused, joonis 7.

Tabelis 11.2 on toodud välikatsete andmetel tuginevad liiva sisehõordenurgad 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	$\varphi$ °	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. Keerdpenerimise 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 käsipenetroomeetri 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 sisehõordenurga), 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).

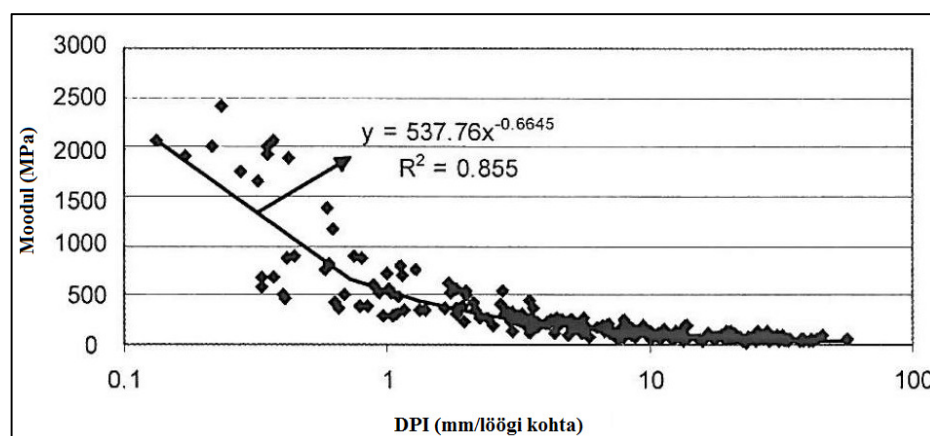
$$E = 17,6 * \text{CBR}^{0,64}$$

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 (uurimistöode nõuded) §28 lõiked 2 kuni 4 käsitlevad eripinnaseid. Taolistele pinnastele (eriti turbale) tee-ehitamist tuleks vältida ning esialgse hinnangu nende esinemisele saab Maa-ameti mullastiku kaardilt. Kui tee ehitamine eripinnasele on vältimatu, on uurimistööga 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:

- dreenimata nihketugevust  $c_u$  (kPa);
- kompressiooniindeksit  $C_c$ ;
- konsolidatsioonimoodulit  $c_v$  ( $m^2/aastas$ );
- 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 liiklussagedusega 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 dreenimata 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 lagunenu (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 dreenimata 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.

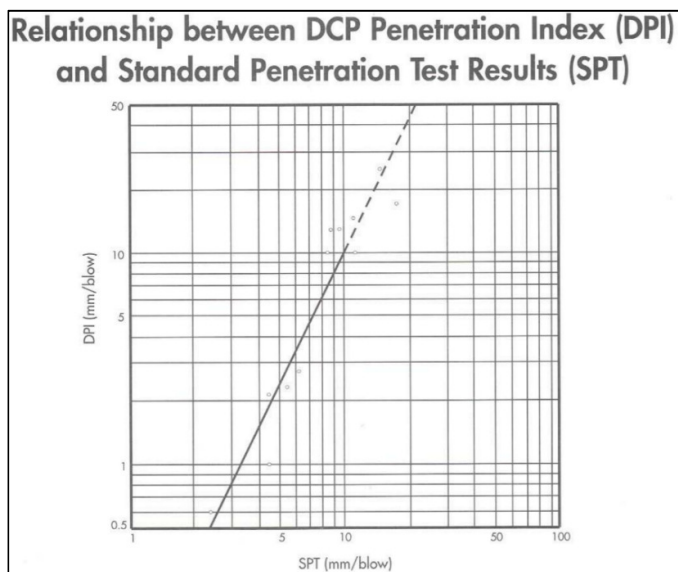
Savipinnaste tugevust saab hinnata ka lihtsa „pigistamiskatsega“, mida on käsitletud tabelis 4. Viimases sisaldub STP löökide arv, mida saab teisendada eelnevalt käsitletud DCP tulemustele ja vastupidi leides sedakaudu savipinnaste drenimata nihketugevuse, mõõtetulemuste korrelatsioon on esitatud joonisel 9. Savipinnaste drenimata nihketugevus on määratav ka otse tiivikkatsega mõõtes. Savipinnaste drenimata nihketugevuse ja elastsusmooduli omavaheline seos antakse tabelis 5.

Tabel 4. Drenimata nihketugevuse määramine lihtsustatud meetodil savipinnaste „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

Tabel 5. Savipinnaste elastsusmooduli ja drenimata nihketugevuse omavaheline seos

Savipinnaste iseloomustus	Drenimata nihketugevus, $c_u$ , kPa	Elastsusmoodul, MPa
Väga nõrk või nõrk	< 30	< 10
Nõrk või mõõduka tugevusega	30...90	10...30
Mõõdukas (poolkõva) kuni tugev (kõva)	90...240	30...80
Väga tugev (väga kõva)	>240	>80



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 jälgib võimalikult palju olemasolevat maapinda ning vajalikud süvendid ja täitmised on võimalikult väikesemahulised;
- muldkehades kasutatav materjal saadakse kohapealt;
- väga kivistel aladel välditakse süvendeid;
- väga väikese kandevõimega piirkondi välditakse; kui see pole võimalik, kasutatakse tugevdusmeetmeid.

Nimetatud põhimõtted on tagatud, kui projekteerimisel jälgitakse Maaparandussüsteemide projekteerimisnorme (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 niiskusoludest 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 muutmise 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.

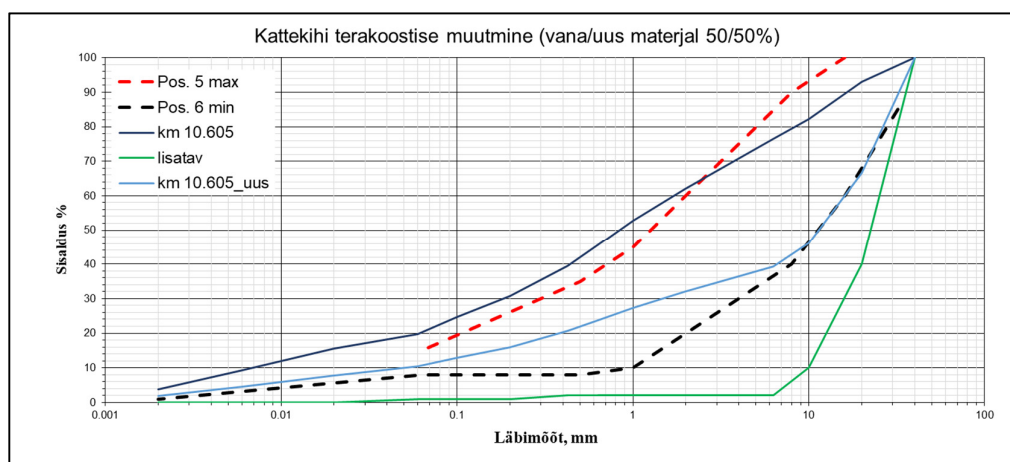
Näiteks olemasoleva kruuskattega tee kattekihi terastikuline koostis on liivakas ja savikas, mistõttu tee deformeerub kergesti (fotod 7 ja 8). Joonisel 10 on esitatud olemasoleva kruusa terakoostis võrreldes optimaalse kattekihi terakoostise piiridega (esitatud on positsioon 5 maksimaalne ja positsioon 6 minimaalne sõelkõvera piir vastavalt Majandus- ja taristuministri määruse nr 101 lisale 10). 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 veetundlikkust.



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 külmakerkelisust;
  - tulemusena suureneb kandevõime, väheneb pinnase kokkusurutavus, suureneb sisehõrdenurk ning väheneb tundlikkus külmakergete 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 (tsemendisisaldus  $\geq 4\%$ , põlevkivituha 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 suurendamiseks 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.

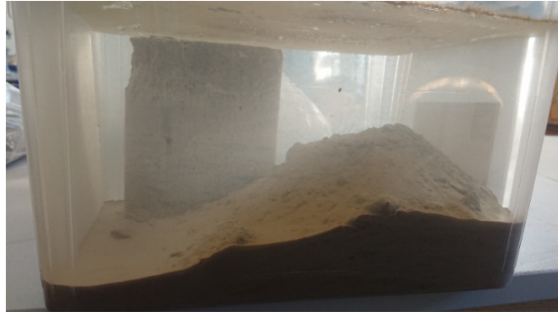


Foto 9. 4% põlevkivituhaga (keevkihikata elektrifiltrituhk) stabiliseeritud moreen võrreldes stabiliseerimata moreeniga, mis oli algselt samuti vormitud proovikehaks. Foto tegemise ajal on materjalid vee sees seisnud ca 1 kuu, stabiliseeritud proovikeha oli enne vette paigaldamist läbinud survetugevustesti, mistõttu on sellel näha murenemist. Veeseismine 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] ja Sven Sillamäe.

### 1.4.3 Geosüntetide kasutamine metsateedes, üldosa

Geosüntete kasutatakse metsateede ehitamisel:

- eraldamiseks erinevaid pinnaseid omavahel vältides nende segunemist (nt savika pinnase ja teekatendi segunemise vältimiseks) – enamlevinud geosüntet 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 geosüntet selleks on geovõrk (fotol 12 parempoolne materjal), aga kasutatakse ka koatud geotekstiile ja geokärge;
- tagamiseks muldkeha stabiilsust, mis on vajalik nõrkade ja väga nõrkade pinnaste korral – enamlevinud geosüntet selleks on koatud geotekstiil, aga kasutatakse ka geovõrke; võimalikud on mitmed erilahendused;



- suurendamaks nõlvade erosioonikindlust – erosioonitõkkematid (juhendis täpsemalt ei käsitleta);
- takistamaks vee imbumise pinnasesse (nt kustutusvee reservuaarides) – geomembraanid ja geosünteesilised savimatid (juhendis täpsemalt ei käsitleta).



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

### **Pinnaste eraldamine (mittekoatud geotekstiilid)**

Pinnased vajavad üksteisest eraldamist juhul, kui on oht nende omavahelisele segunemisele kas tingituna liikluskooormusest 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, liikluskooormusest või ehitustegevusest nii, et eri kihtide segunemise oht on kõrge.

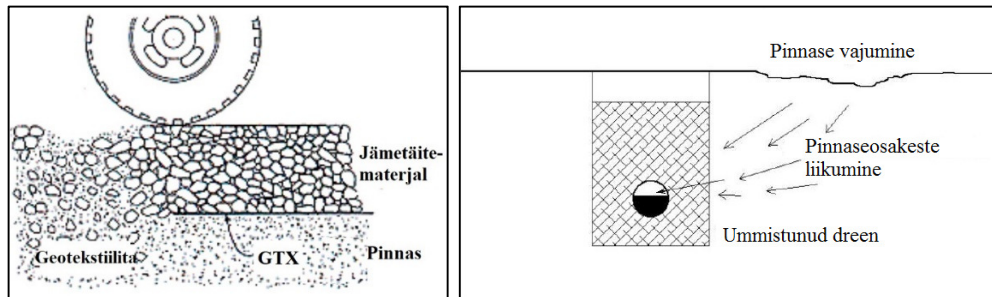
Mineraalmaterjalist vahekihi paksus peab olema minimaalselt 20 cm ning materjalid peavad täitma järgmised nõuded („filterkriteerium“, valem 4) (tavapäraselt on vahekiht peen- kuni jämeliiv [Sa kuni cSa] peenosisesisaldusega kuni 15%).

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

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

Valem 4

$d_{20}$  = 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:

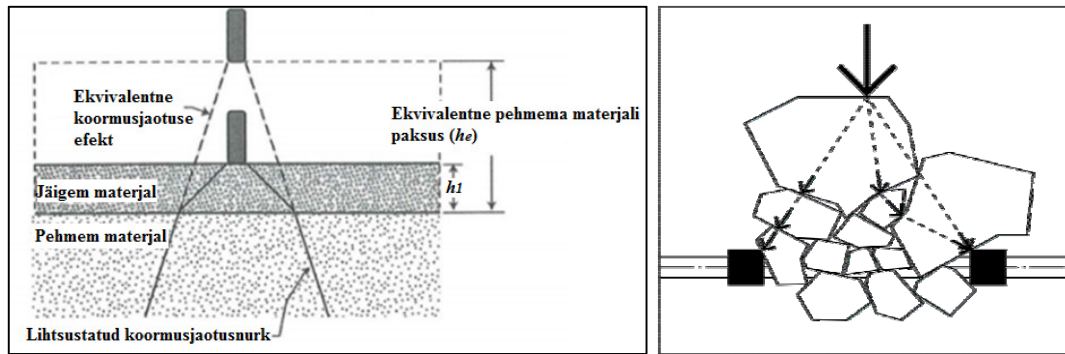
- kui katendi alla jääva pinnase peenosise sisaldus on suurem kui 15% ja/või pinnase orgaanilise aine sisaldus on suurem kui 6% ja/või pinnase lõimisetegur  $C_U < 6$  (ehk näiteks ühtlaseteraline liiv), projekteeritakse katendi eraldamine muldkehast või pinnasest eraldavat ja filtreerivat funktsiooni täitva geotekstiili või -komposiidiga.

Kogemuslikult on metsateede ehitamisel kõige sobilikumaks eraldavaks geotekstiiliks olnud IV-profiili materjal vastavalt NorGeoSpec nõuetele. Sobiliku mittekoatud 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 lukustusefekt aitab tekitada jäigemat kihti, mistõttu sama kandevõime juures saab vähendada kihipaksusi või võimaldada rohkemate normtelgede ülesõitu. Efektiivsemaks toimimiseks peab materjali terasuurus olema vastavuses geovõrgu ava suurusega. Joonis allikast [11]

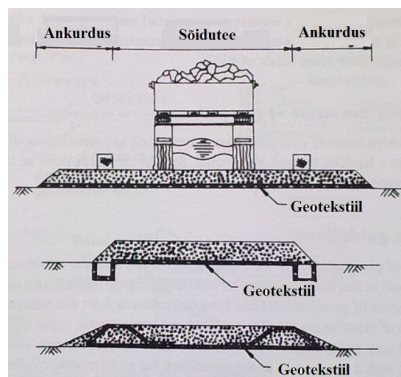
Geovõrguga sarnase toimega on geokärg, mis samuti takistab materjalide „laialivajumist“ tekitades koostöös pinnasega komposiitkihi. Geokärje kasud avalduvad eelkõige selliste pinnaste juures, millel ei ole kõrget nihketugevust, nt kui liivpinnas deformeerub kergesti vahetul koormamisel, siis paigaldades 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 teekatete 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 1.7.



Joonis 15 ja foto 14. Kasutades katendi tugevdamisel koostatud 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 kattesse roopad, kuid kui nõrgale pinnasele (nt turvas või väga pehme savi) ehitatud muldkeha 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 katendiarvutusega, 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;
- kergkonstruktsioonid;

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 kergtäitematerjali 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 lisainetega (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 6. 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 6. 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 standardse 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 enneaegseks remondiks (nt kulumiskihi uuendamise vajadus, kuna materjal on vajunud alumise kihi pooridesse).

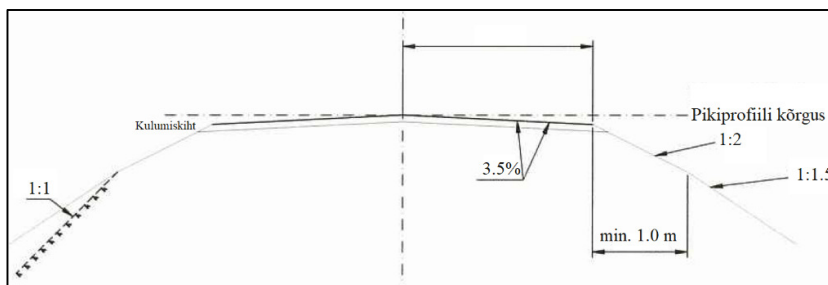
Sobilikud üleminekud on järgmised:

- 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 killustikufraktsioone. 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 läbimõõt ületada 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 7. Süvendi nõlvus määratakse nõlva stabiilsuse arvutustega või arvestades tabelis 8 esitatut, kui nõlva püsivust ei mõjuta põhjavee voolamisest põhjustatud hüdrodünaamiline jõud.



Joonis 16. Metsatee muldkeha tüüpne ristlõige.

Tabel 7. 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 peenateralised 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 8. Süvendi maksimaalsed nõlvused sõltuvalt pinnasest

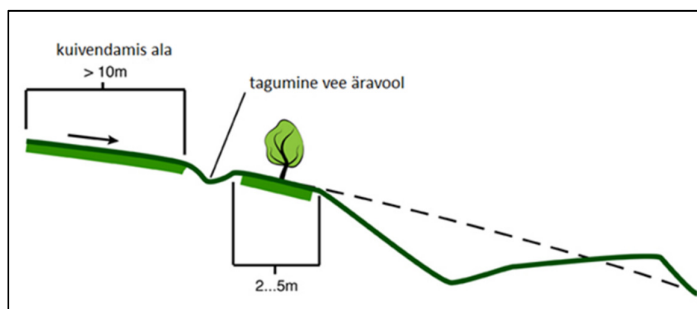
Pinnased	Nõlva kõrgus m	Suurim nõlvus
Vähemurenenud kaljupinnas	≤16	1:0,2–1:0,5
Kergelt murenenud kaljupinnas	≤16	1:0,5–1:1,5
Kruuspinnas	≤12	1:1–1:1,5
Liivpinnas, v.a kohev	≤12	1:2
Peeneteraline pinnas $I_L \leq 0,25$	≤12	1:1,5

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.

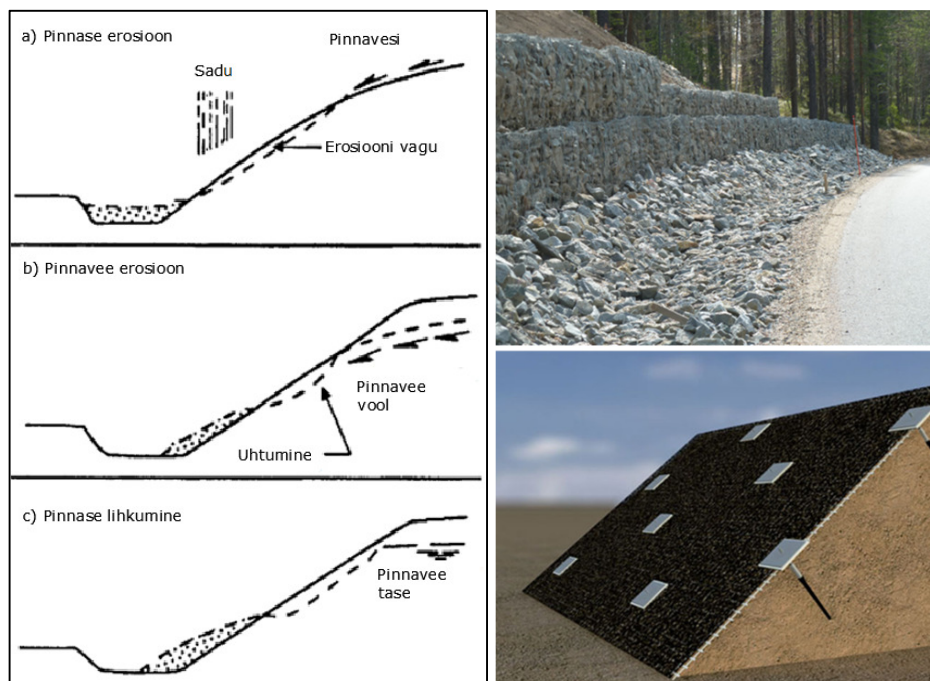
Nõlva stabiilsust ohustavad nii pindmine kui seesmine erosioon. Viimase all mõistetakse erosiooni, mis toimub pinnaseosakeste transpordi teel pinnasekihi sees, pinnasekihtide piiril või pinnase ja konstruktsiooni piiril. See võib põhjustada lõpuks regressiivse erosiooni, mis viib pinnase struktuuri kokkuvarisemiseni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

Seesmise erosiooni probleeme saab lahendada ainult hästitoimiva drenaažiga. Üheks võimaluseks on lõigata vee vool ära enne nõlvust (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 projekteerimismnormi §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 projekteerimismõnnetes 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.

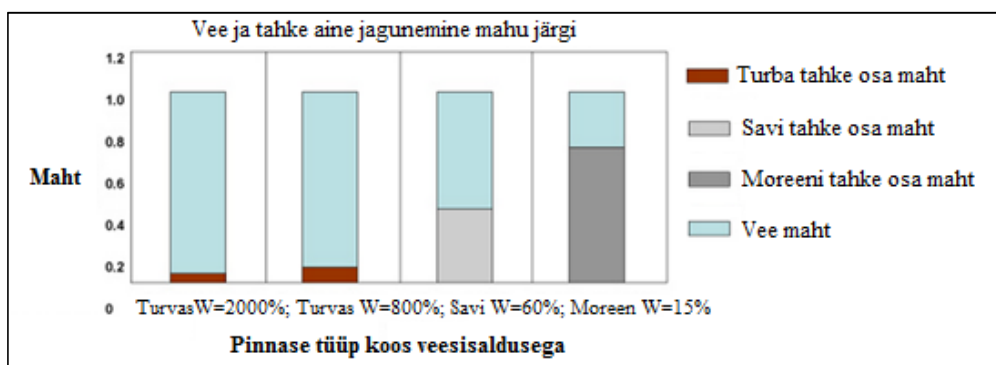
Lisaks tuleb arvestada nõrga pinnase konsolideerumisega ehk vajumisega. Enne katendi rajamist peab muldkeha intensiivne vajumine olema lõppenud, milleks leotakse aega, millal mulde või selle alla jääva pinnase või nende mõlema konsolidatsioon on saavutanud 90% oma lõppväärtusest.

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 kuivmahu mass 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 9 ja 10), mis võimaldab anda teatud hinnanguid, kuid tee projekteerimise jaoks on veesisaldust vaja siiski mõõta. Turba lagunemisastet saab kindlaks teha käega 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 taimsed jäänused puuduvad.

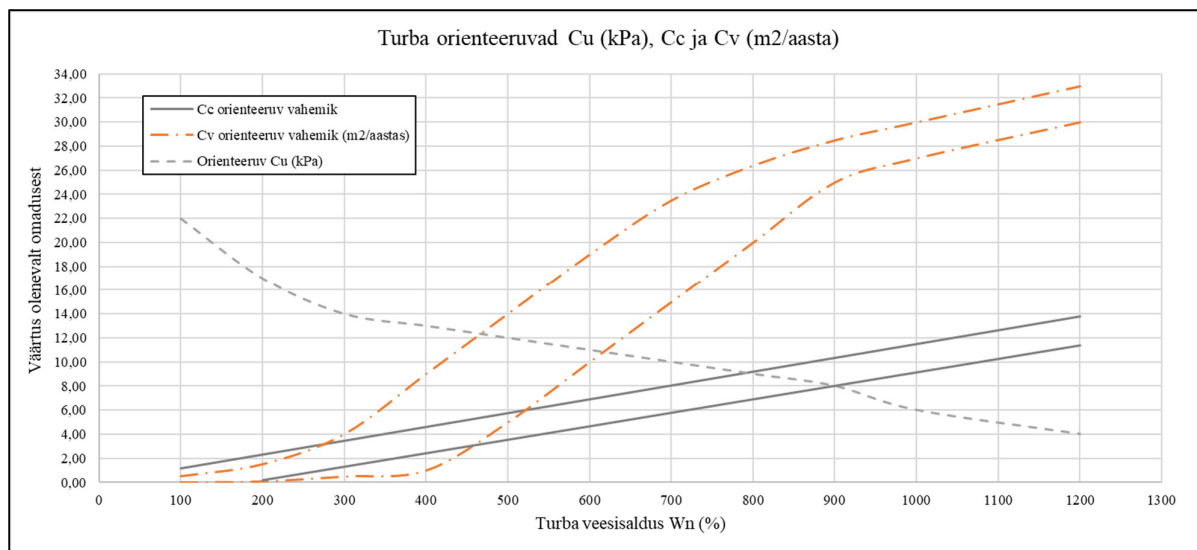
Tabel 9. Turba lagunemisaste [EVS-EN ISO 14688-2:2018]

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 10. 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
Veejuhtivus (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 dreenimata 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 (teisese) konsolidatsioonimooduli  $C_\alpha$  väärtus. Allika [12] andmetel jääb turvastel  $C_\alpha/C_c$  vahemikku  $0,06 \pm 0,01$ . Sekundaarne konsolidatsioonimoodul sõltub koormuse suurusest (mida suurem koormus, seda kõrgem  $C_\alpha/C_c$ , 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).

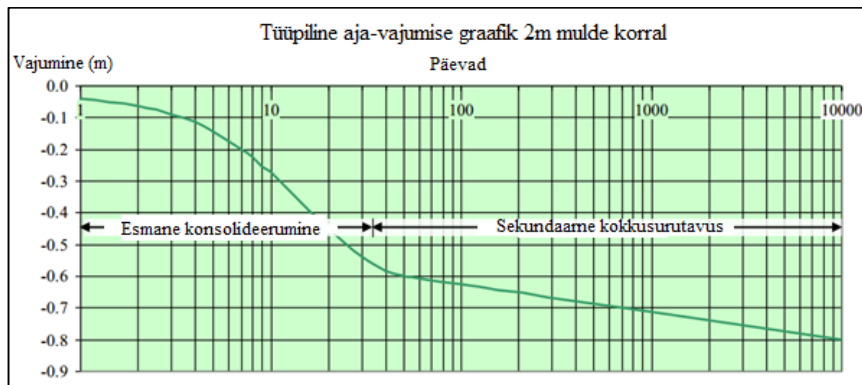
Üldiselt võttes, turvas konsolideerub, tiheneb ja vajub kahes astmes:

- 1) esimese astme (ehk esmane) konsolideerumine. Turvas on looduslikus olekus hästi vett läbilaskev. Vahetu vajum või vahetu konsolideerumine kontrollitud koormuse all on suur ja vajumisaeg on lühike, tavaliselt päevades. Vahetult 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);

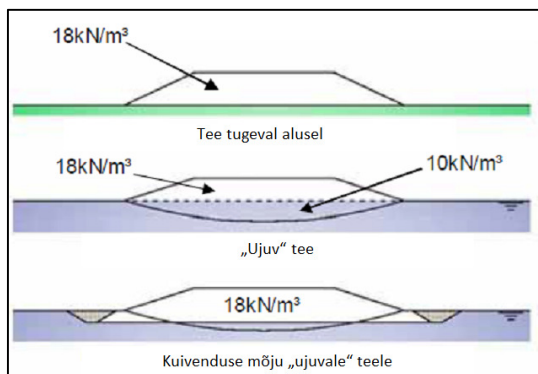
- 2) teise astme (ehk teisene) konsolideerumine. Turba koormamise jätkudes koormuse kandumine pooriveest turba skeletile jätkub ja turbamassi tugevus kasvab. Teine aste on lineaarne aja logaritmi suhtes (joonis 22), kui turbaskelett muutub aja jooksul järjest tihedamaks, poorid muutuvad väiksemaks ja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

Esimese astme konsolideerumise suurus sõltub suuresti turbatüübist, mis moodustab ca 50...80% 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, konsolidatsioonistme, 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 tihedus, 10 kN/m<sup>3</sup>

Vette uputatud kruusa efektiivtihedus,  $\gamma' = \gamma_s - \gamma_w = 20 - 10 = 10$  kN/m<sup>3</sup>

Tiheduse erinevus:  $\gamma - \gamma' = 8$  kN/m<sup>3</sup>

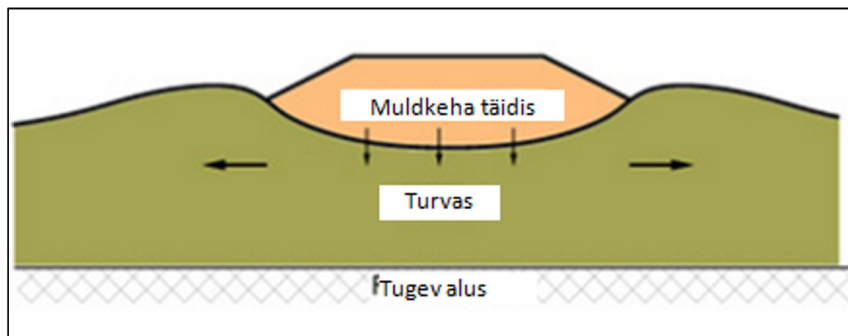
Joonis 23. Vee ja kuivenduse mõju „ujuvale“ teele.

## Turbapinnasele tee projekteerimine

Turvas on looduslikult 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  $C_\alpha$  väärtusi, mis on esitatud joonisel 21 ja selle all.

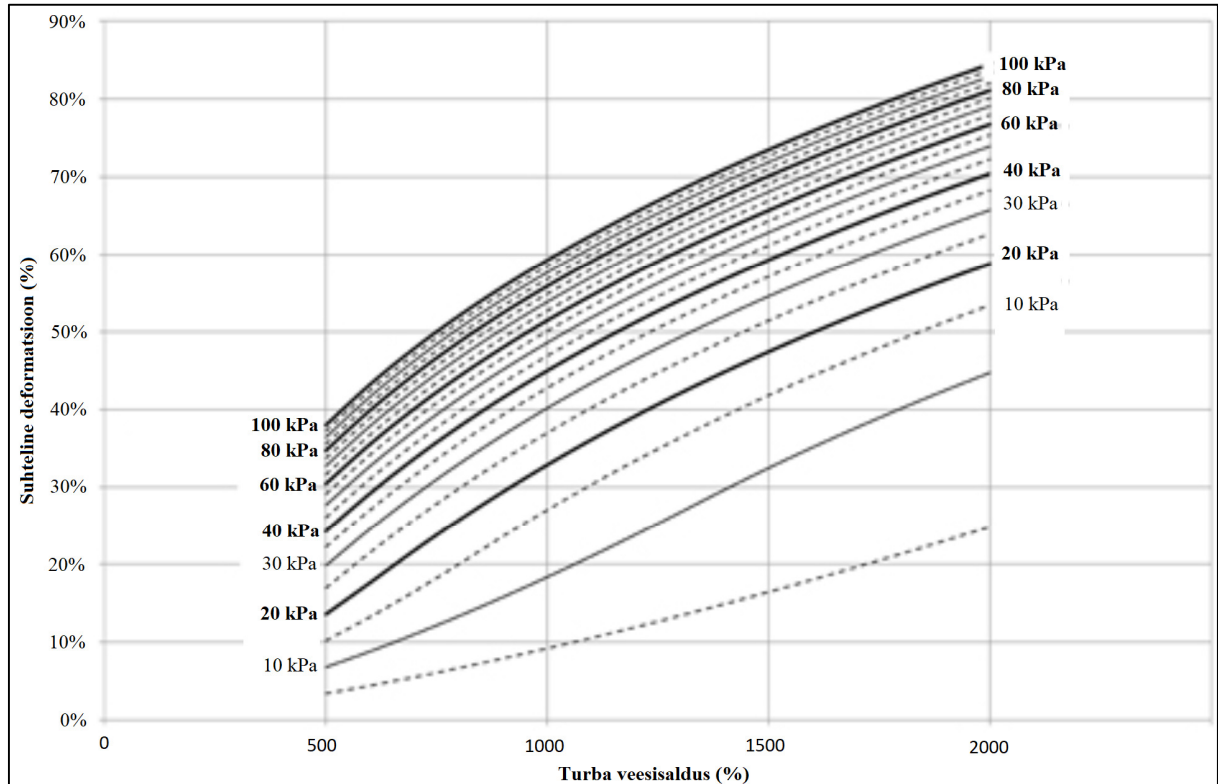
Turba konsolideerumist ja selle ajalist kulgu saab lihtsustatud viisil hinnata kasutades Rootsi maanteeameti (edaspidi „STA“) meetodit, mis tuleneb pikaajalistest kogemustest, mis on saadud Rootsis turba peale ehitatud teedelt. Meetodiga ennustatakse esimese vajumi suurust konsolidatsiooni ajal. Teise astme tihenemise arvestamiseks soovitatakse kasutada sobivat arvutiprogrammi/mudelit. Üldjuhul on teise konsolideerumise suuruseks vähemalt ca 20% koguvajumist (ehk esimese konsolideerumisega saavutatakse kuni 80% koguvajumitest).

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.

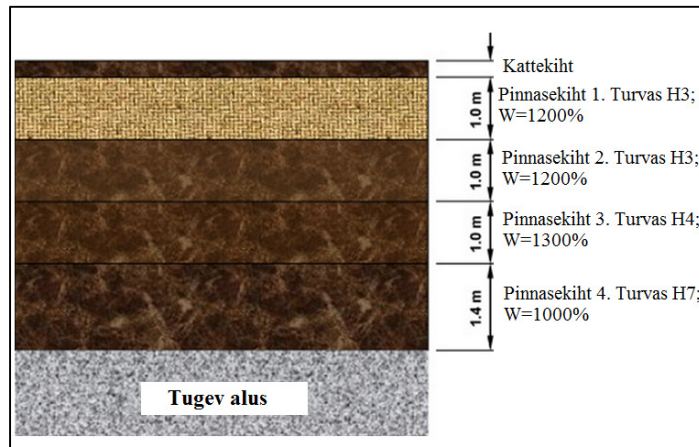
Diagrammid põhinevad kogemustele kiulistele ja keskmiselt lagununud turvastele ehitatud teedelt. Diagrammide kasutamisel eeldatakse, et turvas on konsolideerunud normaalselt (s.t koormatud on järk-järgult turba nihketugevust ületamata). Meetod põhineb turba veesisalduse ja deformatsiooni omavahelisel suhtel, mida on kujutatud joonisel 25.



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

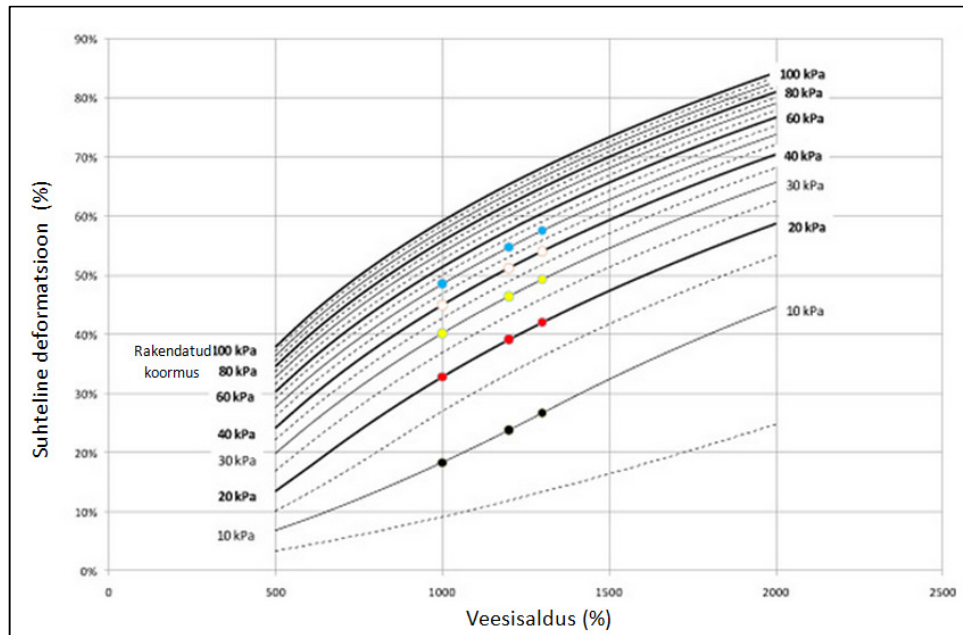
Järgnev näide kirjeldab vajumisprotsessi, kui 2,5 m paksune mulle on ehitatud 4,5 m paksuse turbakihi peale. Metsateedel ei ole mõistlik kasutada nii paksu mineraalmaterjalikihte, kuid kui on oluline tagada teekatte teatud stabiilsus ja tugevus (nt tee on vaja asfalteerida) ning ei kasutata pinnaseparandusmeetodeid (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).



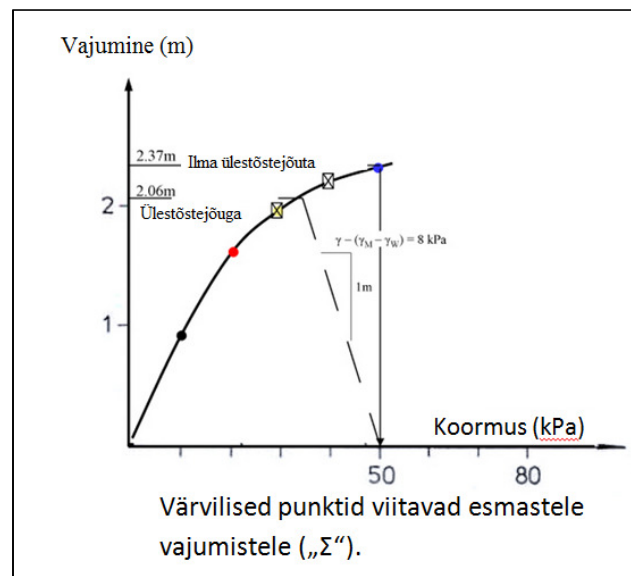
Joonis 27. Suhtelise deformatsiooni arvutamislähteandmete kasutamise diagrammi joonisel 25.

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.

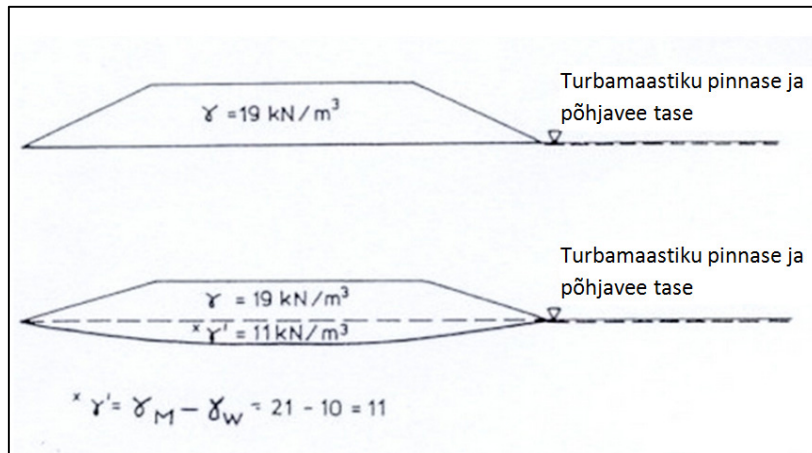
Lisades esmased vajumid „Σ“ ja koormused samale diagrammile joonistub näidismulde koormus-deformatsioonigraafik (joonis 29). Esitatud diagramm ei arvesta üleslükkejõudu, mis mõjutab muldkeha vajudes allapoole pinnaseveetaset (joonis 30).



Joonis 29. Näidismulde koormus-deformatsioonigraafik.

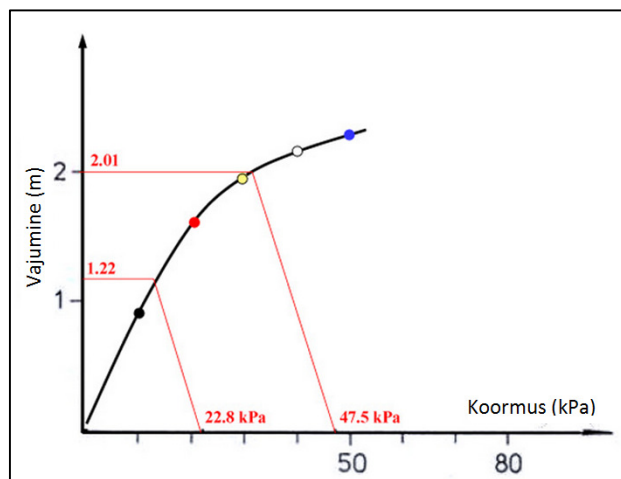
Üleslükkejõust tuleneva mõju arvestus on esitatud joonisel 30. Oletame, et muldkeha vajub meetri võrra turbasse, mis on kuivendamata. See tähendab, et 1 m muldkeha muutub veega küllastumata olekust veega küllastunud olekusse. Efektiivpinged muldkeha all muutuvad 19 kPa-st 11 kPa-ni (21 kPa - 10 kPa = 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 29.





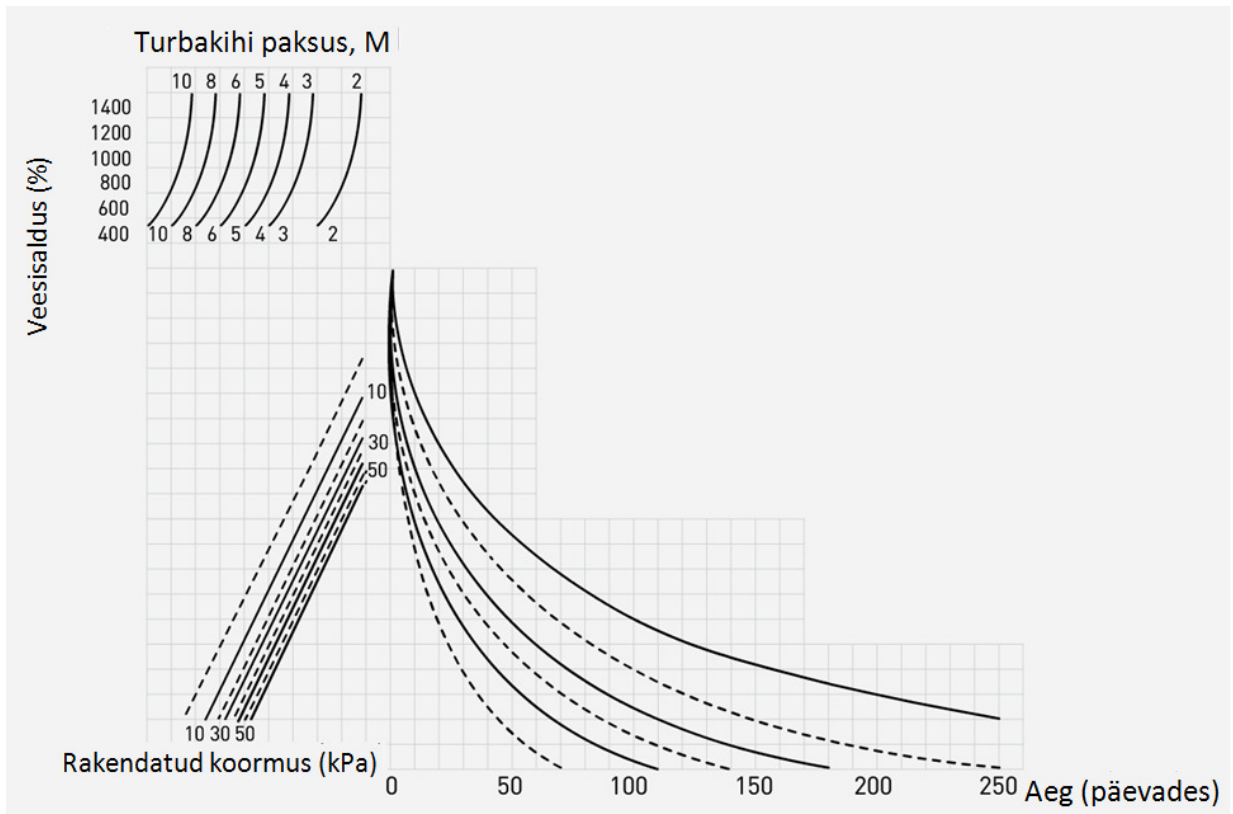
Joonis 30. Üleslükkejõu mõju. Näites kasutatakse järgmisi mahukaale:  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$  (veega küllastumata materjali mahukaal, mulde materjal);  $\gamma_M = \gamma_{\text{SAT}} = 21 \text{ kN/m}^3$  (veega küllastunud materjali mahukaal, mulde materjal);  $\gamma_M = 10 \text{ kN/m}^3$ 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

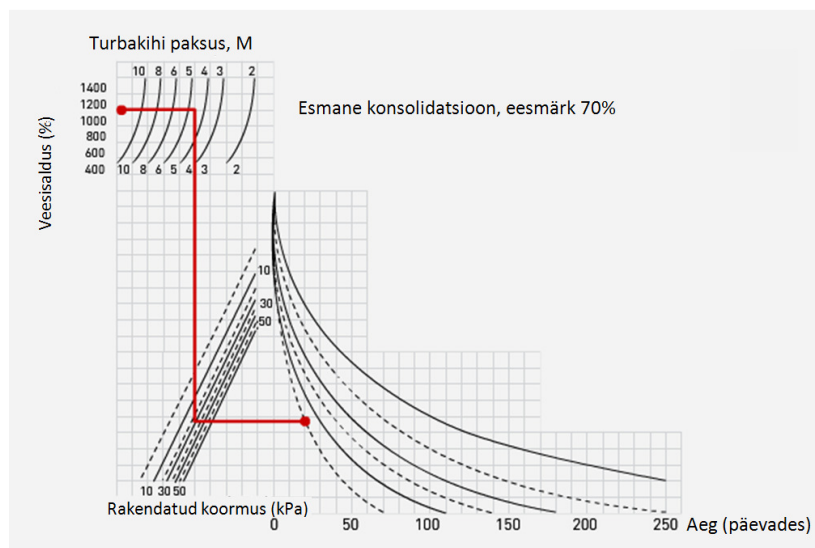


Joonis 31. Andmed näidismulde koormus-deformatsioonigraafikult.

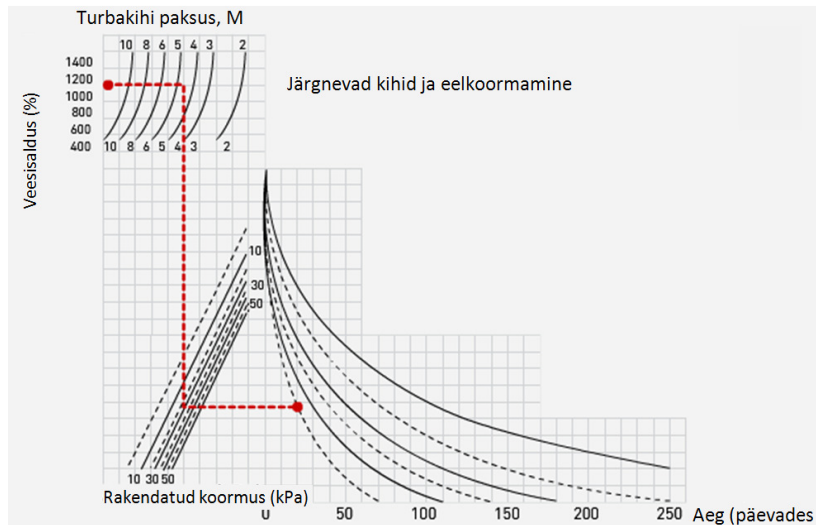
Nimetatud kahe muldkeha koormusastme konsolidatsiooni kestvust saab hinnata kasutades joonist 32 eeldusel, et turbale paigaldatakse dreniiv materjal. Kui paigaldatav kiht ei ole dreniiv (nt savi, möll jms), tuleb turba paksus korrutada kahega (vett läbilaskmatud kihid ei võimalda kiiret konsolidatsiooni).



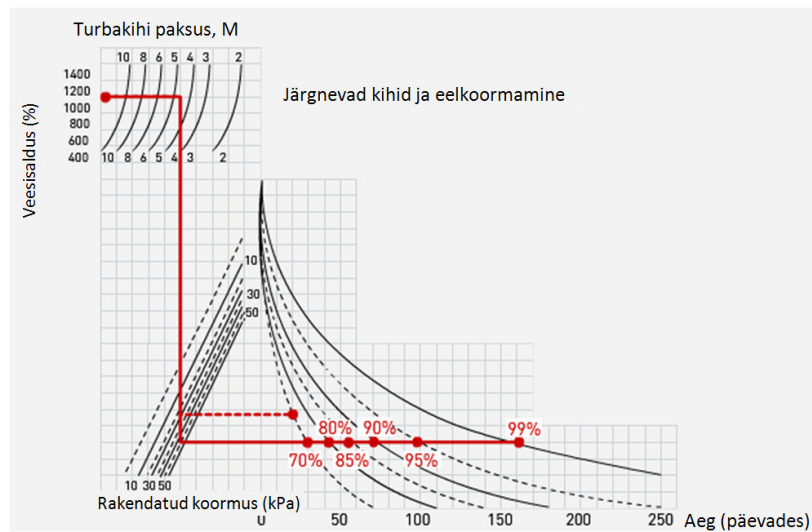
Joonis 32. Diagramm hindamaks esmase konsolideerumise ajalist kestvust. Diagrammi kasutamise graafiline juhend on esitatud joonistel 33...35 [15].



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 11 loetuna jooniselt 33...35. Tabel 11 kuvab vaid turbakihi vajumisi. Kui mulde all on lisaks turbale veel muidki kokkusurutavaid kihte, tuleb koguvajumi leidmiseks arvestada ka nendega.

Tabel 11. 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.



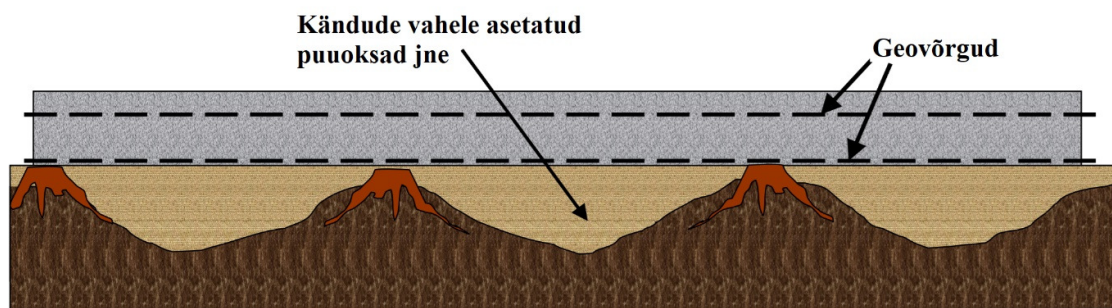
Foto 20 ja 21. Tee ja kraavi vahele jäetud ca 50...100 cm koormamata ala (berm) on eriti oluline nõrkade pinnaste esinemise korral. Parem pool näide metsateest, vasakul turbamaardla hooldusteest. Fotod: Sven Sillamäe.

### 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 väljajuuritunud kännud 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.

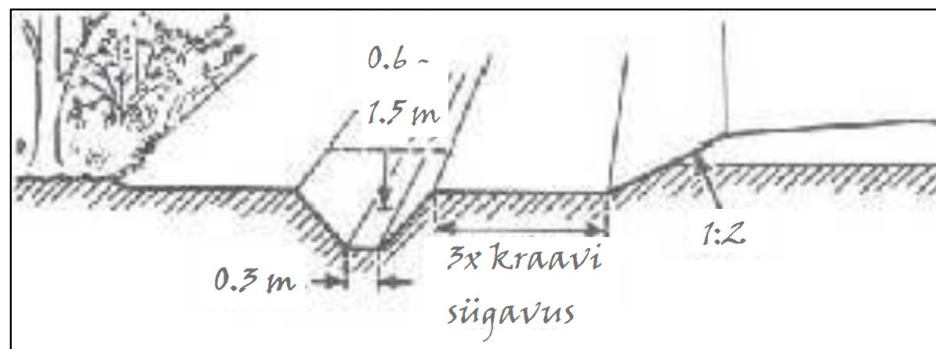
Kriitiliseks olukorraks, kus vajumite ületamiseks vajatakse ebamõistlikult palju mineraalmaterjali, mis omakorda tekitab ohu stabiilsuse kadumisele, saab hinnata tingimusi, kui samaaegselt on turba kihipaksus üle 5 m ja veesisaldus üle 1200%. Sealtmaalt võivad hakata probleemid eskaleeruma olenevalt 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 (v.t Lisa 2).

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  $C_u = 7$  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 soovitusel seoses (metsa)tee ehitamisega turbapinnastele: kraavi sügavus minimaalselt 0,6 m, tee ja kraavi serva vahele tuleb jätta 3x kraavi sügavuse laiune berm, 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:

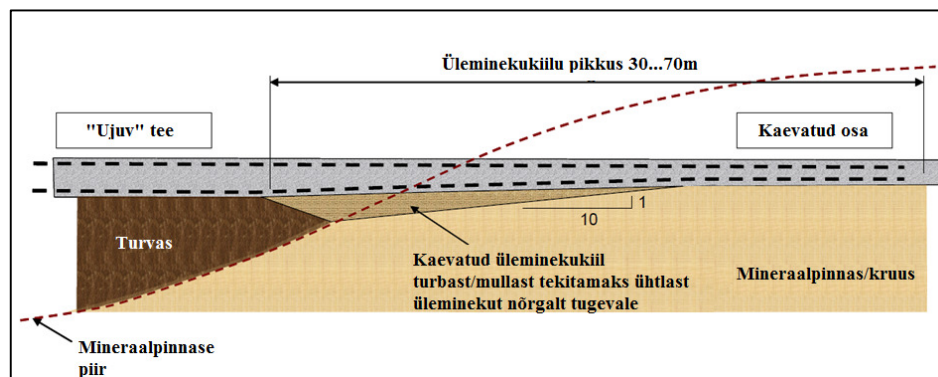
1. teekatend, mille paksus ja omadused sõltuvad muldkehas kasutatud täitest;
2. vajadusel geosünteed, mis täidab kas armeerivat või eraldavat funktsiooni või mõlemat;
3. täitepinna, mille paksus ja omadused sõltuvad turbakihi paksusest ja veesisaldusest. Mineraalmaterjaliga masstaitte puhul tuleks arvestada, 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 geosünteeet (parim on vähemalt 100 kN/m kootud PET geotekstiil), mis on paigaldatud muldkehast vähemalt 1 m laiemalt (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 geosünteeeti. Samaaegselt suure turbakihi paksuse (üle 5 m) ja kõrge veesisalduse (üle 1200%) tingimustes on soovituslik kasutada muldkeha ehitamiseks kergtäitematerjale, nt kergkillustik või –kruus, 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.

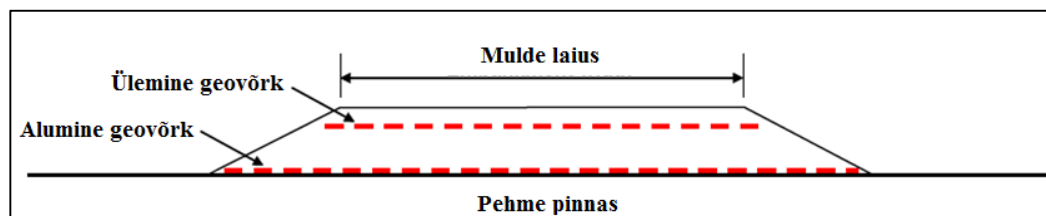
### Üleminek nõrgalt pinnaselt tugevale

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 geosünteeet 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 projekt lahendus suurendab teekatendi (või ka muldkeha) jäikust võimaldades hajutada koormust laiemale alale. Tavavaliselt esitatakse soovitus/nõue kasutada geosünteeete 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 siirdekateadiga, 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 12. Tuleb rõhutada, et tabel on põhimõtteline ega käsitle kõikvõimalikke pinnaseid või nende kombinatsioone, kuid see võimaldab saada metsatee katendi projekteerimiseks piisavat informatsiooni.

Tabel 12. Aluspinnases paiknevate ja muldkehas kasutatavate pinnaste elastsusmoodulid tihendatult

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 põhjaveehorisoni (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 („aheraine“);  
 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 13, 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 13. Exceli arvutusnäide valemi 5 kasutamiseks.

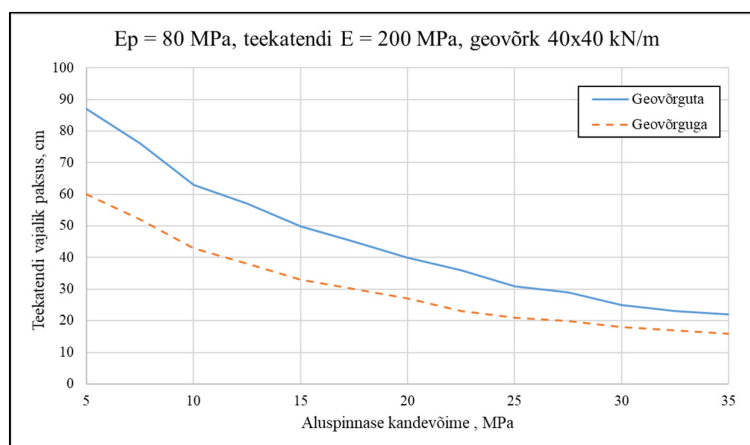
$E_A$ MPa	$h$ m	$E$ MPa	$E_{max}$ MPa	$E_p$ MPa	Selgitus
20	0	20	120	20.0	Märg mölline liiv
20.0	0.1	120	120	28.6	"Aheraine" fr 0/90 mm
28.6	0.1	172	172	40.9	"Aheraine" fr 0/90 mm
40.9	0.15	200	245	68.1	"Aheraine" fr 0/90 mm (kiilutud)
68.1	0.1	150	409	79.9	Kruusast kulumiskiit

Tabelis 13 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 valemi 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/sarrustavat (R) geosünteedi (näiteks kas kootud geotekstiil, geovõrk, geokomposiit, geokärg), 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 13 olev katendiarvutus välja tabelis 14 kujutatuna.



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

Tabel 14. Tabelis 13 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 olema 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).

Tavapärast 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 avaustesse 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 kandilised 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 vajaminevate ülekattedega, mis võimaldab teha mahuarvutusi.

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

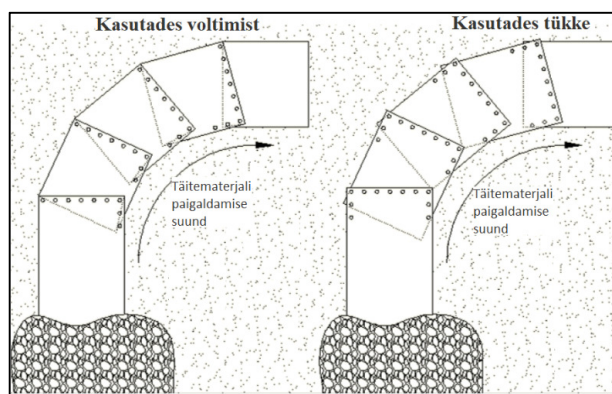
- $\leq 3$  MPa: vajalik paanide omavaheline kokku õmblemine;
- 3...6 MPa: minimaalne ülekate 1,0 m;
- 6...10 MPa: minimaalne ülekate 0,8 m;
- 10...20 MPa: minimaalne ülekate 0,5 m;
- $\geq 20$  MPa: minimaalne ülekate 0,3 m.

Geovõrkude vajalikud ülekatted sõltudes alla jääva pinnase elastsusmoodulist on:

- $\leq 3$  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 metsatee 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 geosünteele kas voltida või paigaldada tükkidena. Joonisel näidatud punktid tähistavad vajadust geosünteele ajutiselt kinnitada, et selle peale oleks võimalik paigaldada materjale geosünteele nihutamata, joonis [Propex].

Väga nõrkadele pinnastele (eripinnased, väga pehme savi) ehitamisel ning muldkeha alla paigaldatavate geosünteele puhul tuleb kasutada täislaust koos vajalike ülekatetaga. 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 12. Maaparandussüsteemide projekteerimismääruste §45 lõige 3 öeldakse, et kui võetakse muid meetmeid, nagu näiteks geosünteele 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 12 50 MPa, kuid segades see läbi ca 4...8% põlevkivituhaga (keevkihitatla 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 kulumiskiht (§45 lõige 7).

Maaparandussüsteemide projekteerimismääruste §45 lõikes 4 antakse 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:

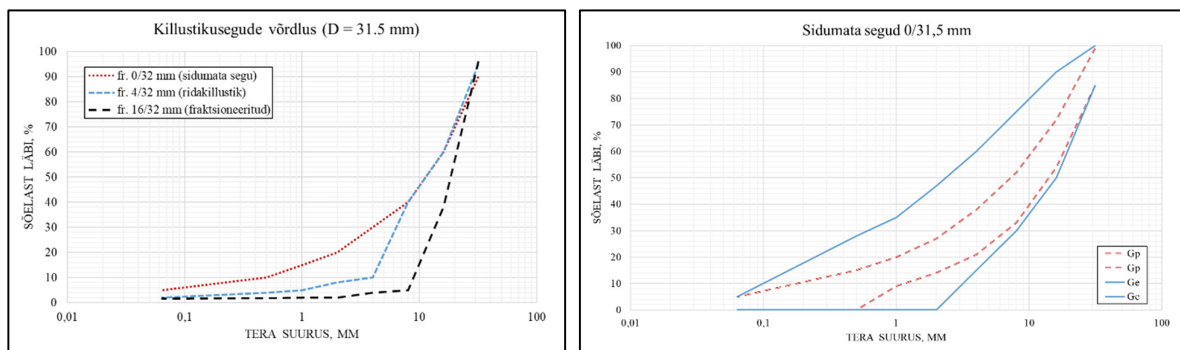
- 1) teraläbimõõt D on vähemalt 32 millimeetrit;

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 on fr. 4/31,5 mm ja sidumata segu on 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.

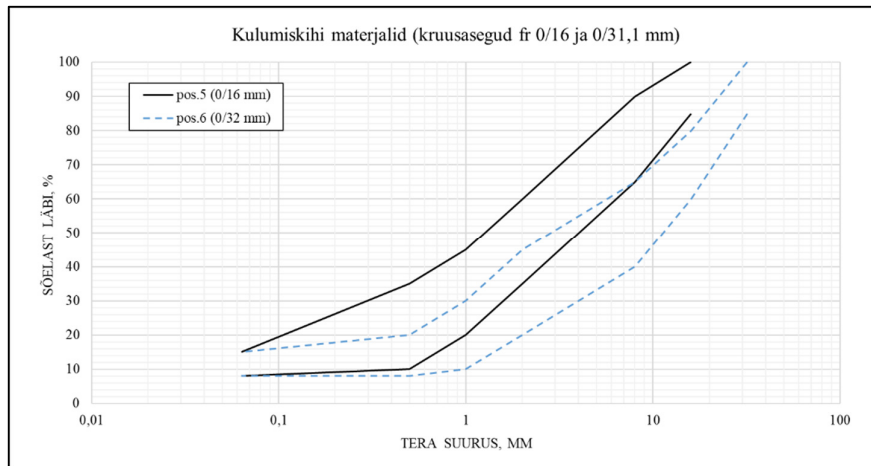


Joonised 43 ja 44. Erinevate killustikusegude ning sidumata segude Gp ja Ge sõelkõverapiiride võrdlus.

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 probleemideta 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 EHITUS

### 2.1 Keskkond

Metsas tehtavate tööde puhul tuleb lähtuda RMK keskkonnanõuetest metsatöodel (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 *teema*) 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. Raiejätmete 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 kindlase ruumalaühikuisse 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 (Beldornii D-51), 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 elektromagneetilisel (ing. *electromagnetic density gauge*) meetodil kasutades vastavaid seadmeid.
- Tiheduse mõõtmise viise on käsitletud juhises „Muldkeha pinnaste tihendamise ja tiheduse kontrolli juhised“ (Maanteeamet 2006-41), 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.

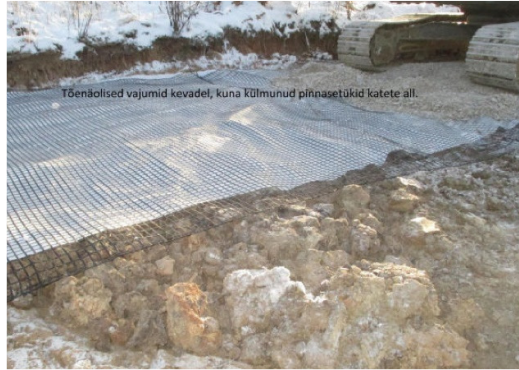


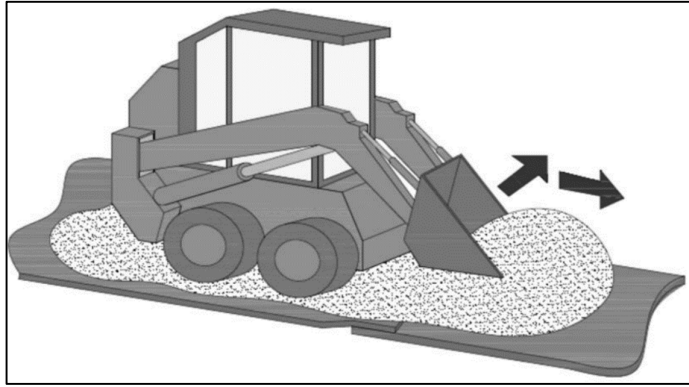
Foto 26. Näide lubamatust ehituspraktikast, kus katendit hakatakse ehitama külmunud tihendamata pinnasele. Foto: Sven Sillamäe.

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);
- mehhanismidega liikumine otse geosünteedikal peab olema minimaalne, soovitatavalt täiesti välditud. Liikudes geosünteedide peal, tuleb vältida manööverdumist;
- 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 määruuses 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 läbilöögikohtade 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;
- talihoidus (lume- ja libedusetõrje, pinna tasandamine, helkuribaga 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 kattedehiiga. Sügisene töö hõlbustab samuti talihooldete 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 15 on toodud üldine graafik hooldustööde ajastamisest.



Tabel 15. 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 metoodikatest

Hooldustööde maht oleneb liiklussagedusest ja selle koosseisust, aga ka ilmastikust. Tee konstruktsiooni hoidmine kuivana ja kevadiste sulade ajal liikluspiirangute kehtestamine mõjutavad tugevalt tee korraspüsimist, 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 valde ja drenaaž toimiks. Tabelis 16 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 16. 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 viraaž</b></p>	Teekattepinnale tekib defekte. Sõidudünaamika ja liiklusohutus halvenevad	Profiiliparanduse ajal vajaliku kalde lõikamine
 <p><b>Liiga suur põikkalle</b> &gt;7 %</p>	Kulumiskihi materjal koguneb liikluse tagajärjel kurvi välisküljele	Profiiliparanduse ajal vajaliku kalde lõikamine
 <p><b>Teearne 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	Veeviimariid 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	Veeviimariid 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 teepenardesse 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 suuremõõdulisi kive või kui tee peal pole piisavalt kulumiskihti. Sellisel juhul tuleb teha teekatte uuendamine.

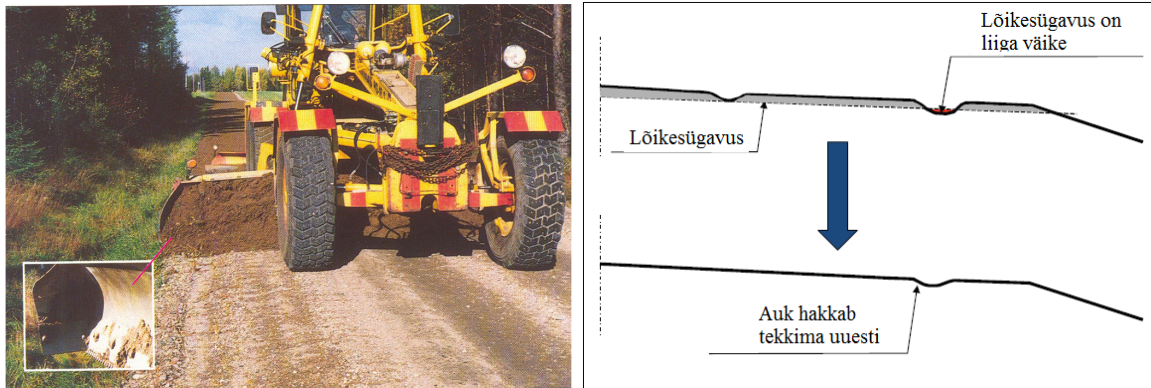
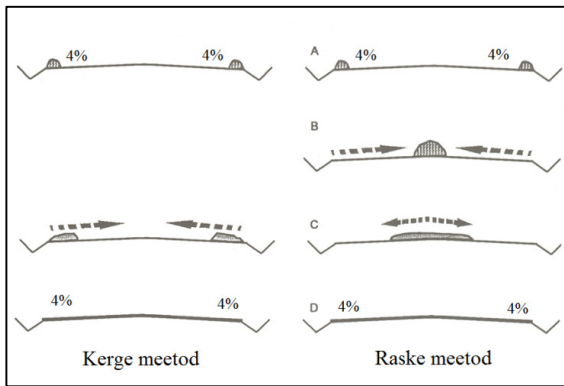


Foto 29 ja joonis 47. Kruusatee tasandushööveldamine [18] ning vajaliku lõikesügavuse defineerimine [19].

**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 põikaldesse 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 taimestik 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 17 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 pealmine 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 17. 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 tee 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 tee 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.

Kui rekonstrueerimise projekteerimisel arvestada tee tegeliku seisukorraga, siis võimaldab see maksimaalselt ära kasutada seda, mis on juba kohapeal olemas säästes selliselt potentsiaalselt märkimisväärselt resursse, näiteks ei pruugi olla põhjendatav ja vajalik kasutada katendilahendust, kus olemasolev tee kaetakse täispikkuses geotekstiiliga, mille peale paigaldatakse 30...40 cm kruusa või killustikku. Tegelikuses võib taolist lahendust vaja minna vaid väga piiratud lõigus olenevalt tee seisukorrast ning mujal vajatakse õhemaid kihipaksusi või vaid kulumiskihi uuendamist.

## 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., Liao, 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 Forestry 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., Statark, 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-öppe 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. *Sorasteiden hoito ja kunnostus*. Tielaitos. Helsinki 1995;
19. *Sorasteiden 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, mille nõudeid kohaldab ka Transpordiamet Eestis (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.

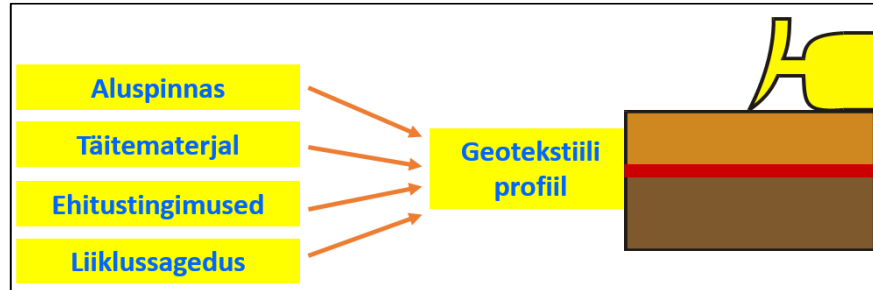
On vaja teada nelja tingimust, mis nagnii on teada (joonis L1.1):

1. alla jääva pinnase tüüp (kaks tingimust):
  - nõrk – pinnased dreenimata 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;
    - ehitustraspordi 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.

Objektile 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. Objektile 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 asfaldikihid) 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, originaaldokumendil 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

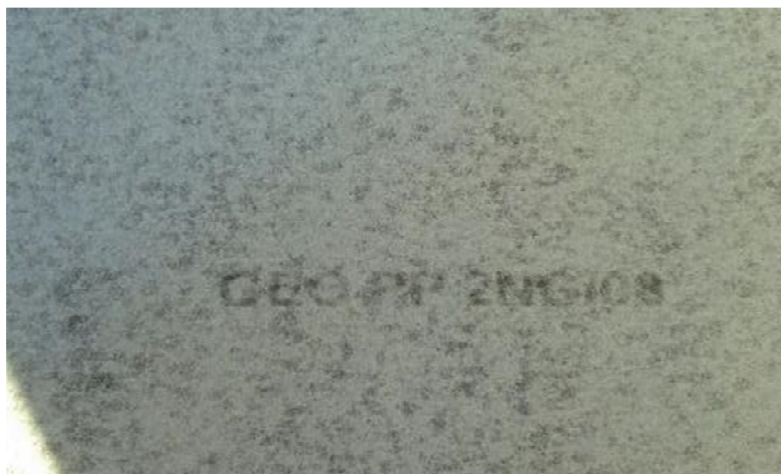
Joonis L1.3. Väljavõte leheküljelt [www.norgespec.org](http://www.norgespec.org) → Product Certificates.

## 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.

## Lisa 2. Kergtäitematerjalidest

Kergtäitematerjalide kasutamise eesmärkideks on olenevalt kasutuskohast ja kergtäitematerjali omadustest sõltuvalt kas kõik või osad alljärgnevatest (nimekiri ei pruugi olla lõplik):

- nõrgale pinnasele (nt turvas, pehme kuni voolv savi jm) ehitamisel konstruktsiooni stabiilsuse tagamine ja/või varuteguri (FS ehk *factor of safety*) suurendamine;
- kokkusurutavale pinnasele (nt turvas, kohevad pinnased) ehitamisel vajumiste vähendamine;
- nõrkadel ja kokkusurutavatel pinnastel oleva tee rekonstrueerimine ja/või laiendamine;
- vajumierisuste vähendamiseks või vältimiseks (kõrgete) muldkehade laiendamisel;
- üleminekutsoonid (siirdekiilud) nõrgalt pinnaselt tugevamale, muldelt sillale jms;
- maalihete ärahoidmine ja/või maalihke tagajärgede likvideerimine, sh nõlvade taastamine;
- külmumissügavuse vähendamine (kergtäitematerjal kui soojaisolatsioonikiht);
- külmakergete vähendamine (kergtäitematerjal kui külmakaitsekiht);
- dreniiva kihi rajamine, sh põhjavee liikumise tagamine vältimaks veehorisondi külmumist rajatise all;
- kapillaartõusu katkestava kihi rajamine;
- pinnase (horisontaal)surve vähendamine piiretele, tugiseintele;
- pinnasesurve vähendamine trassidele.

Eelnevatele lisanduvad veel hooneteehitusega seonduvad võimalused nagu lamekatuste ja põrandaaluste täited, kergbetoon, linnaruumielementide rajamine jms, mida käesolevalt täpsemalt ei käsitleta.

Kõige levinumateks kergtäitematerjalideks on kergkillustik (ing. *foam glass aggregate*), kergkruus (ing. *expanded clay*) ning EPS (vahtpolüstüreen, ing. *expanded polystyrene*) ja XPS (ekstruuderdatud kargpolüstüreen, ing. *extruded polystyrene*). Kasutust on leidnud veel rehviplokkid, purustatud rehvid, puukoor (ja üleüldiselt puidutooted), heina- ja põhupallid, turbaplokkid (orgaaniliste kergtäitematerjalide kasutamise eelduseks on see, et need püsiksid püsivalt allpool veetasel, mistõttu on nende kasutus piiratum). Olenevalt riigist või piirkonnast ja seal saadaolevatest võimalustest ei ole eelnevalt antud erinevate kergtäitematerjalide nimekiri lõplik ning materjale on teisigi, nt Eestis ainuomaseks kergtäitematerjaliks on Enefit õlitehase üldtuhk.

Käesolevalt käsitletakse kergkillustiku ja –kruusa, EPS ja XPS ning rehviplokkide kasutamist taristuehituses, kuna tegemist on Eestis saadaolevate ja ka kohapeal toodetavate toodetega ning mille kasutuspotentsiaal on (metsa)teede ehituses kõrge.

Konstruktsioonide projekteerimisel tuleb arvestada Eurokoodi, selle rahvusliku lisade ning riigis kehtivate projekteerimismisnormidega.

Siinkohal esitatud koondkokkuvõtet erinevatest kergtäitematerjalidest täiendavad tootja andmed konkreetse toote osas.

## L2.1. Kergkillustik ja -kruus

Kergkruusa on ehitusmaterjalina kasutatud alates 1950-ndatest ja kergkillustikku 1980-ndatest. Mõlemaid toodetakse ka Eestis. Materjalid on võrdlusena kujutatud joonisel L2.1 ning nende olemust ja omadusi käsitletakse täpsemalt järgnevates peatükkides.



Joonis L2.1. Kergkillustik ja -kruus. [5]

### L2.1.1. Kergkillustik

Kergkillustikku (nimetatakse ka kui „vahtklaas“ või „vahtklaaskillustik“) valmistatakse peamiselt sellisest klaasijäätmest, mis muidu taaskasutust ei leiaks, näiteks lamineeritud klaasid või klaas koos keraamikaga, tänu millele suureneb klaasi taaskasutusprotsent kuni 99 protsendini. Puhastatud klaas kuivatatakse ja jahvatatakse alla 0,1 mm osakesesuurusega klaasipulbriks. Jahvatatud klaasile lisatakse vahustusaineks ca 1% ränikarbiidi (kuid leidub ka teisi vahustusaineid), mille omavaheline segu laotatakse ühtlase paksusena konveierile ja suunatakse aeglaselt läbi umbes +900°C tunnelahju, kus klaasimass sulab ning mille sisse tekitab vahustusaine õhumulle, mille tagajärjel segu maht paisub viiekordselt. Tunnelahjust väljudes ja aeglaselt jahtudes puruneb mass fraktsioneeritud killustikku meenutavateks tükkideks maksimaalse terasuurusega 63 mm. Terakoostise poolest sarnaneb toode killustikuga fr 31,5/63 mm, kuigi erinevad tootjad võivad pakkuda ka teistsuguse terakoostisega materjali (nt hoonetehituses on levinum purustatud ja sõelutud fr 4/20 mm).

Kergkillustiku omadused sõltuvad valmistamiseks kasutatud klaasi kvaliteedist, tunnelahju temperatuurist, konveieri liikumiskiirusest ning lisaainete omadustest ja kogusest, mistõttu eri tootjate kergkillustiku omadused on mõnevõrra erinevad. Eelnevast tulenevalt on kergkillustikus olenevalt tootjast õhku umbes 80...92%. Kergkillustiku tüüpilised näitajad on esitatud tabelis L2.1, mille andmed kehtivad, kui kergkillustiku kiht on tihendatud tihenemisastmesse 1,15.

Kergkillustik on keskkonnaohutu ning taaskasutatav. Viimane on võimalik eeldusel, et ehitamise ajal on kergkillustik eraldatud muust pinnasest geotekstiiliga. Kergkillustik on taaskasutatav ka juhul, kui sellega on segunenud pinnast, kuid sellisel juhul tuleb arvestada suurenenud mahumassi ning vähenenud soojaisolatsiooni- ja veejuhtivusomadustega.

### **L2.1.2. Kergkruus**

Kergkruus on savist keraamikaprotsessis (põletusprotsess pöördahjus) temperatuuril 1100-1200°C toodetud kergtäitematerjal. Sedavõrd kõrge temperatuuriga põletusprotsess võimaldab kahjutult taaskäidelda ka probleemjäätmel: alates keemiatoodetest, läbitöötatud õlidest, laevade pilsiveest ning lõpetades loomsete jäätmel ja aegunud ravimitega.

Kergkruusa toormeks on porsumisomadustega peendisdispersne savi, millele lisatakse mitmeetapilises savi ettevalmistus- ja segamisprotsessis paisumise ergutamiseks orgaanikat. Tootmisprotsessi jätkudes savitükid kuivatatakse lõplikult, need kuumenevad ja põletustsoonis toimivas kiires temperatuuritõusus leiab aset osakeste paisumine. Porsumine (ehk paisumine) tekib savis leiduvate ainete gaasistumisel. Ahju pöördliikumine aitab sulgeda ja tugevdada moodustuvate osakeste/graanulite välispinda ja lõpptulemuseks saadakse erineva suurusega kerged graanulid, mis on porse sisestruktuuriga ja üsna tiheda keraamilise pinnaga.

Järgneb jahutus- ja sõelumisprotsess, kus kergkruus jaotatakse erinevatesse fraktsioonidesse. Protsessis vabanev soojusenergia suunatakse suurimas võimalikus mahus tagasi tootmise varasematesse etappidesse. Ühest kuupmeetrist savist saadakse umbes viis kuupmeetrit kergkruusa.

Kergkruusa toodetakse ja turustatakse erineva terasuuruse vahemikuga olenevalt kasutuskohast, millest taristuehituses on varem laialdaselt kasutatud fr. 0-32 mm ja fr. 4-32 mm, kuid viimastel aastatel on põhiliselt kasutatust leidnud fr. (8)10-20 mm ja harvem fr. 4-20 mm. Kergkruusa tüüpilised tehnilised näitajad on antud tabelis L2.1.

Kergkruus on taaskasutatav samadel tingimustel, mis kergkillustik.

### **L2.1.3. Kergkillustiku ja –kruusa omadused**

Tabelis L2.1 on antud kergkillustiku ja –kruusa tüüpilised omadused, kuid kuna tootjate piires omadused mingil määral varieeruvad, tuleb konkreetne näitaja kontrollida olenevalt kasutatavast tootest. Näiteks sõltub kergkruusa puistemahumass tootjakoha savitoormest ja kergkillustikul tootjast, ka võivad varieeruda soojusjuhtivuse näitajad.



Tabel L2.1. Kergkillustiku ja –kruusa tüüpilised tehnilised näitajad (täpsemateks andmeteks tuleb kasutada konkreetse toote väärtusi). Veesisaldused (w) on antud massiprotsendina, kergkruusa näitajad sõltuvad kasutatavast fraktsioonist, siin on antud keskmine.

Omadus	Näitaja	
	Kergkillustik	Kergkruus
Puistemahumass (w = 25%), $\rho_b$ , kg/m <sup>3</sup>	220 (±15%)	260 (±15%)
Kuivmahumass sõltuvalt tihedusest, $\rho_d$ , kg/m <sup>3</sup>	220...280	280...320
Erimass, $\rho_s$ , kg/m <sup>3</sup>	400 (±15%)	520 (±15%)
Mahumass teekonstruktsioonis, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup> (geotehnilistes arvutustes)		
- ülalpool pinnasevee taset	350	400
- allpool pinnasevee taset	650*	850*
- üleslükkejõu arvutustes	300	300
Sisehõrdenurk, $\varphi$ (oleneb pingeolukorrast, siiretest, tihedusest)	max 45°	max 37°
Veejuhtivus, m/s (m/ööp)	≥ 0,1 (≥8640)	≥10 <sup>-3</sup> (≥86)
Kapillaartõus, mm	≤ 200	≤ 200
E-moodul (Odemark), MPa	50	50
Tihenemisaste	1,15...1,30	1,05...1,15
Soojusjuhtivustegur, W/mk		
- kuivalt	0,10	0,12
- niiskelt (w = 25%)	0,15	0,15
- märjalt	0,23	0,25
- soojustehniline ekvivalent niiskelt (võrreldes liivaga 0,7 m sügavusel)	4	4
Max. lubatud koormus (staatiline + 1,5x dünaamiline), kPa	$\sigma_v \leq 75$	$\sigma_v \leq 100$
Terade tugevus 20% def. juures (EVS-EN 13055 lisa C), MPa	≥ 0,7	≥ 0,8
pH	10	9...11
CE-märgistamine olenevalt kasutuskohast EVS-EN 13055, EVS-EN 15732		
Keskkonnaohutu ja taaskasutatav (viimane võimalik juhul, kui eraldatud muust pinnasest geotekstiiliga)		

\*Kuigi kergkillustiku veemavus ja sellest tulenevalt ka mahumassi suurenemine allpool pinnaseveetaset on kergkruusast väiksem, siis konservatiivsetes arvutustes võidakse materjalid omavahel võrdsustada (näiteks Soomes kasutatakse mõlema materjali mahumassina püsivalt allpool pinnaseveetaset arvutusväärtust 1000 kg/m<sup>3</sup>). Veemavuse mõõtmised on näidanud, et ka siin esitatud väärtusi võib lugeda konservatiivseteks.

### L2.1.3 Kergtäitematerjalide paigaldamine taristuehituses

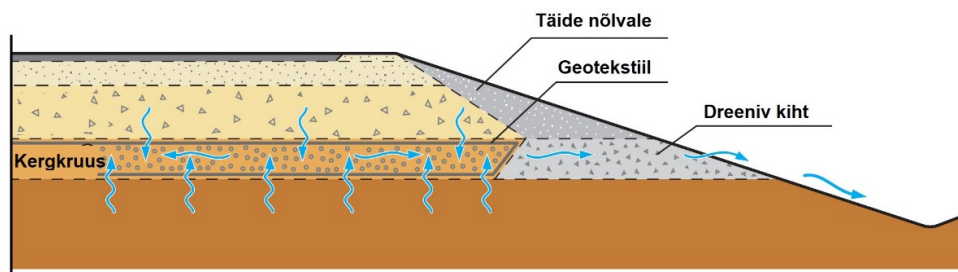
Üldjuhul on kergkillustiku ja –kruusa paigaldamine sarnane, kuid arvestada tuleb järgmiste erisustega:

- kergkruusakiht tuleb laialivalgumise vältimiseks toetada pinnasest külprismadega (joonis L2.5);
- kergkillustiku kasutamisel pinnasest külprismade kasutamine ei ole tingimata vajalik, sest materjal on kõrge sisehõrdenurgaga. Muldkeha alaosas võib külprismasid vaja minna suhteliselt kõrgete mullete kasutamisel, nt põhjusel, et vastasel juhul on materjali ülekulu muldkeha ristlõikes kõrge. Lisaks võimaldavad loodusliku täitematerjaliga koormatud ääred tagada tee põiklalde säilimise vältides seda, et muidu suurema koormusega tee keskosa vajuks suhtes tee äärtesse enam;
- kergkruusa tihenemisaste on kergkillustikust väiksem;

- kasutusjuhendite kohaselt tuleb kergkruusa esmasel tihendamisel teha samas jäljes teha vähemalt 6, kergkillustikul 4 ülesõitu;
- kergkruusa tihendamine on vibroplaadiga keerukam (vajalik näiteks kitsastes oludes) ning selleks tuleb kasutada võimalikult suurt põhjaplaati;
- vahetult kergkruusal ei ole võimalik liigelda ratastega töömasinatega, kuid kergkillustik seda võimaldab;
- kergkillustiku kasutamisel vahetus kokkupuutes tsingitud metalliga tuleb need üksteisest eraldada (kaitsta) geotekstiiliga.

Ettevalmistustööd enne kergtäitematerjali paigaldamist hõlmavad raadamistööid, kasvupinnase eemaldamist, vajadusel pinnasest külprismade rajamist, vajadusel süvendi kaevamist olenevalt projektlahendusest ning eraldava geotekstiili laotamist. Uue tee ehitamisel turbapinnasele üldjuhul kasvupinnast ei eemaldata ja võimalusel jäetakse alles taime juured, mis armeerivad pinnast ehitustööde ajal. Võimalik on ka ehituslahendus, kus turbapinnas eemaldatakse osaliselt.

Kergtäitematerjalist muldkeha tuleb külgedelt ja pealt katta eraldava geotekstiili ja vähemalt 0,5 m paksuse pinnasekihiga. Tagada tuleb vee väljapääs muldkehast kas nii, et külprismade alaosad valmistatakse drenivast pinnasest (joonis L2.2) või rajatakse iga 30 m tagant drenid.



Joonis L2.2. Kergkillustiku või –kruusa kihti sattuv vesi drenitakse välja nõlva täitekihi all oleva dreniva kihi või iga 30 m tagant paigaldatavate drenide kaudu. [Leca]

Kergtäitematerjali paigaldus tehakse lintekskavaatori, buldooseri või rataslaaduriga. Viimase kasutamine vahetult kergtäite peal on võimalik kergkillustiku puhul, kuid vältida tuleb liigselt ühes sõidujäljes sõitmist, sest selle tagajärjel kergkillustik peeneneb. Kergkruusa kasutamisel tuleb arvestada, et sellel ei ole võimalik liigelda ratastega (töö)masinatega.

Kergtäitematerjal on veest märgatavalt kergem ning ehitamise ajal tuleb tagada veealandus. Pinna(se)vesi ei tohi koguneda kergtäitematerjali konstruktsiooni määral, mis võiks tekitada üleslükke, mida kontrollitakse ka arvutuslikult.

Kergtäitematerjal tuleb muudest pinnastest eraldada polüpropüleenist (või muust leeliselist keskkonda taluvast materjalist valmistatud) geotekstiiliga. Polüesterist geotekstiili kasutamine vahetus kokkupuutes kergtäitematerjaliga ei ole sobilik seoses viimase leeliselisusega. Sobilik eraldav geotekstiil tuleb valida vastavalt NorGeoSpec nõuete kohaselt saades geotekstiili profiili (üldjuhul on sobilik kasutada NGS 2 või 3). Geotekstiili paanide ülekate peab olema minimaalselt 0,5 m.

Geotekstiili kasutamisega välditakse kergtäitematerjali segunemine muu pinnasega, mis vastasel juhul põhjustaks kergtäite mahukaalu suurenemise ja halvendaks selle taaskasutamise võimalikkust peale ehitise lammutamist. Kui kergtäitematerjal paigaldatakse hea kvaliteedi ja kandevõimega

pinnale/pinnasele, millega materjal ei segune, võib konstruktsiooni alla geotekstiili mitte paigaldada (see on siiski kasuks kergtäitematerjali hilisemat taaskasutust silmas pidades).

Kergtäitematerjal tiheneb nii niiskelt kui kuivalt. Tihendamine vibrorulliga vahetult kergtäitematerjali peal ei ole lubatud. Esmane tihendamine tehakse kas roomikutega töömasinaga, mille surve pinnale on 30...50 kPa kihipaksuses kuni 0,6 m või 150...200 kg vibroplaadiga kihipaksuses kuni 0,4 m. Vajaminevateks tihenduskaikudeks on üldjuhul 2...6 ning tihendamise võib lõpetada, kui pind on tasane, roomikutest (või vibroplaadist) ei jää kihi pinda vajumise jälgi ning kergkillustiku kasutamisel on tuvastav osade suuremate tükide purunemine. Väga nõrkadel pinnastel võib olla vajadus esimese kihi paksust suurendada võimaldamaks kanda ehitusmasinaid ning et mitte rikkuda loodusliku pinnase struktuuri.

Peamine tihendus antakse läbi 0,15...0,20 m paksuse mineraalmaterjali kihi kasutades keskmise kuni raske vibrorulliga  $\geq 4$  tihendamiskäiku (foto L2.1). Kui esmane tihendamine tehakse kihiti ja hoolikalt, siis ka tusedamate kergtäitematerjalidest muldkehade ehitamisel ( $>1,2$  m) ei ole vajadust rajada pinnasest vahekihte.

Kergkillustik tiheneb ca 15-25% ehk tihenemisaste on 1,15-1,25x ning kergkruus 5-15% ehk 1,05-1,15x. Õhemate kihtide korral (ca  $\leq 30$  cm) teede ja tänavate vajumiste ja külmakerkekahjustuste parandamisel on tihenemisaste suurem ning paksemate kihtide kasutamisel väiksem. Kergtäitematerjali kihi tihendusastet hinnatakse ja mõõdetakse geodeetiliste mõõdistustega ja/või saatelehtede arvestustega (ehituseks kulunud materjalide koguse arvestus). Geodeetiline mõõdistusega peab arvestama, et nõrkade ja kokkusurutavate pinnaste osas on meetod ebatäpne.

Kergtäitematerjali minimaalne kihipaksus on 10 cm.

Tiheda kergkergtäitematerjalist kihi elastsusmoodulina kasutatakse arvutustes 50 MPa. Kergtäitematerjalide kandevõimet ei mõõdata vahetult nende, vaid nende peale paigaldatud täitematerjalikihi pealt. Katsetöödega on saadud 50 MPa lähedased mõõtetulemused siiski ka vahetult kergkillustiku pealt.

Kuiv kergkergtäitematerjal (eriti kergkillustik) on vähesel määral tolmap, eriti koorma mahalaadimise ja teisaldamise ajal. Töötajatel on soovitatav kasutada kaitseprille ning vältida tuleb tolmu sissehingamist: selleks kasutada tahkete osakeste filtriga (P2) varustatud respiraatorit. Kergtäitematerjali tolmu võib pikaajalise kokkupuute käigus põhjustada nahaärritusi, mistõttu tuleks kasutada kaitsekindaid. Tolmamist saab vähendada kergtäitematerjali kastmisega.

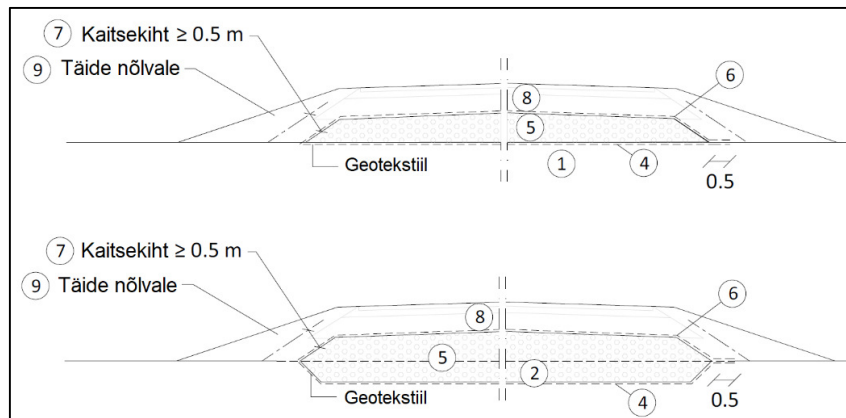
Joonistel L2.3 ja L2.4 on antud mõningad näidisristlõiked olukordades, kus tee muldkehas on kasutatud kergkillustikku. Kergkruusa kasutamisel peab arvestama ka külprismade rajamise vajadusega vastavalt joonisele L2.5.

Jooniste L2.3 ja L2.4 tähistused on järgnevad:

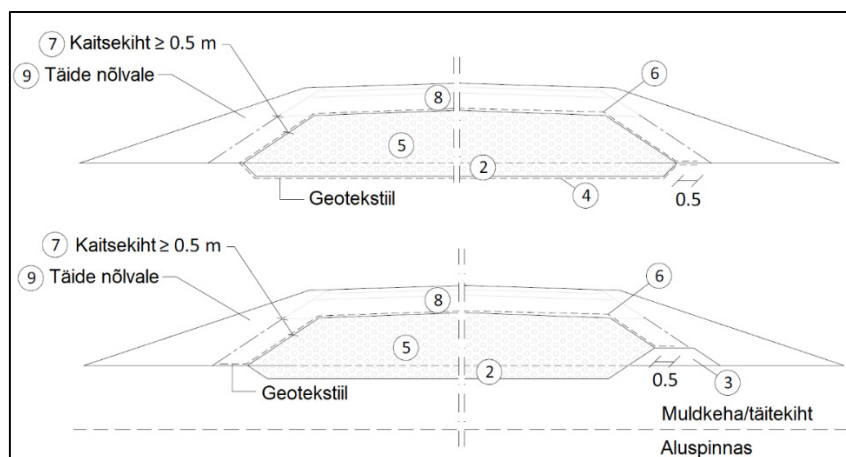
1. kasvupinnase eemaldamine;
2. süvendi kaevamine asendamaks pinnast kergtäitega eesmärgiga vähendada konstruktsiooni koormust ja/või tekitada soojaisolatsioonikiht vmt;
3. vajadusel külprismade ehitamine (kas kergkruusa kasutamisel või kergkillustiku puhul peamiselt paksude täitekihtide korral või olenevalt paigalduslaiusest) ning veele drenimisvõimaluse tagamine;

- enne kergtäite paigaldamist mõõdistatakse paigaldusalus geodeetiliselt;
4. eraldava geotekstiili paigaldamine aluspinnase ja kergtäite vahele (tingimata ei vajata heakvaliteedilise aluspinnase korral, mis ei ole kergtäitematerjalidega segunemisaldis, v.t filterkriteerium peatükis 1.4.3, kuid hilisemat taaskasutust silmas pidades on ka siis soovituslik);
  5. kergtäitematerjalist kihi paigaldamine seda kiht-kihilt tihendades, misjärel mõõdetakse geodeetiliselt paigaldatud kihi pind kontrollimaks mahtu ja tihendatust;
  6. pealmise eraldava geotekstiili paigaldamine ning 0,15...0,20 m mineraalpinnasest kihi ehitamine ja vibrorulliga lõpliku tiheduse andmine, kandevõimemõõtmine;
  7. kaitsekihi ehitamine;
  8. katendikihtide ehitamine;
  9. vajadusel nõlvatäidete paigaldamine.

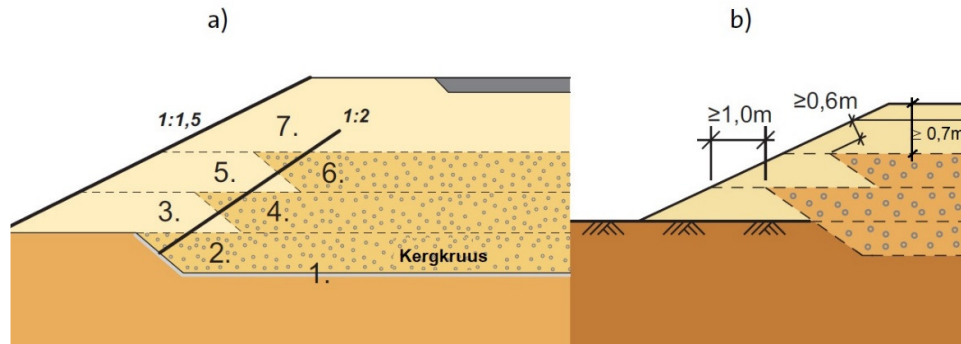
Jooniste vasakpoolne olukord kujutab geotekstiili paigaldatuna kergtäitematerjali ümber, parempoolne tingimusi, kus geotekstiili paigaldus tuleb teha ositi.



Joonis L2.3. Kergmulle kergtäitematerjalist kas otse maapinnale või koos pinnase asendamisega. [2]



Joonis L2.4. Kergmulle kergtäitematerjalist paksu täitekihina või muldkeha/täitepinnase peale paigaldatuna. [2]



Joonis L2.5. Nr 1 tähistab süvendi kaevamist ja eraldava geotekstiili paigaldust, muud numbrid on erinevate kihtide ehitamise järjekord. Joonisel a) antakse maksimaalsed nõlvakalded ning joonisel b) kaitsekihi minimaalne paksus (0,6 m) ja külgrisma harja minimaalne laius (1,0 m). [Leca]



Foto L2.1. Kergkruusa paigaldamine teekonstruktsiooni (sarnaselt toimub paigaldus ka kergkillustikuga). Kergkruus laotatakse ja tihendatakse kas roomikekskavaatori või buldooseri, millega antakse ka esmane tihedus, ümbritsetakse geotekstiiliga ning kaetakse 0,15...0,20 m mineraalmaterjalikihi, mille pealt antakse vibrorulliga lõpptihedus. [Leca]

#### L2.1.4. Kergtäitematerjali sisaldava turbapinnasele ehitatava metsatee näidisarvutused

##### Näidis 1, uue tee rajamine paksu ja suure veesisaldusega turbakihi

Lähtetülesanne: projekteerida 3. järgu metsatee katend turbapinnasele, mis on 6 m paks ning mille keskmine veesisaldus on 1200%. Teekatte pind peab jääma püsivalt kõrgemale maapinnast. Kuivenduskraave ei rajata, pinnaseveetase on 20 cm maapinnast allpool.

Kuna turbapinnase tusedus ja veesisaldus on nii suured, siis tavapäraste ehituslahendustega tee ehitamine on väga keerukas ning materjalimahukas – esmase konsolideerumise alusel oleks taolise turbakihi konsolideerumine:

- 2 m täitematerjali korral (40 kPa) 51% ehk ca 3,1 m;
- 3 m täitematerjali korral (60 kPa) 57% ehk ca 3,4 m;
- 4 m täitematerjali korral (80 kPa) 62% ehk ca 3,7 m.

Seega vajatakse minimaalselt 4 m paksust täitekihti, kuid mis tekitab oma massi tõttu omakorda tõsiseid probleeme turbakihi stabiilsusega, mille kompenseerimiseks tuleb muldkeha ehitada

kasutades kas laugeid nõlvasid või rajada bermid ning samaaegselt paigaldada ka armeeriv geosüntee. Teisalt, kui arvestada siinkohal juurde ka vee üleslükkejõud, siis on tekkivad vajumid vaiksemad, kuid mitte kuigi märkimisväärselt. Alternatiivina on sarnastes kohtades on kasutatud puidust vaiasid.

Planeerime masstäite või vaivundamendi alternatiiviks teekatendi ehitamisel kergkillustiku või -kergkruusa kasutamise vähendamaks turba konsolideerumist ja vältimaks aluspinnase purunemist.

Arvestame näidisarvutuses lihtsustusena, et kergkillustiku ja -kruusa mahukaalud on samad, mistõttu arvutuse mõttes ei teki materjalide osas erinevusi. Kuna turvas on tugevalt kokkusurutav, siis nii kergkillustiku kui -kruusa kiht vajub suurel määral nii nende endi kui teekatendi koormuse tõttu turbasse, mistõttu külprismade rajamine ei ole vajalik, kuid materjalid tuleb eraldada muudest pinnastest kasutades geotekstiili. Ka ei ole antud juhul praktilist erinevust sellel, et kergkillustiku sisehõordenurk on kergkruusast veidi kõrgem. Mõlemate materjalide elastsusmoodulid on samad. Seega projekteerimise mõttes ei ole siin üks materjal teise suhtes kuigivõrd eelistatud ning materjalivaliku peaks tegema ehitaja olenevalt oma kaalutlustest.

Teeme vajumiarvutuse peatükis 1.6 kirjeldatud Rootsi STA meetodi abil. Ehituse etapid ning koormuse tagajärjel toimuv esmane konsolideerumine on järgnevad:

1. teetrass raadatakse ning kännud freesitakse maapinnaga tasa, kuid ei juurita;
2. teetrassi alla paigaldatakse polüpropüleenist eraldav V-profiili geotekstiil selliselt ja nii laialt, et kui kergtäitematerjal vajub, siis geotekstiili takistab muldkeha ja turba omavahelise segunemise ka külgedelt (sarnaselt fotole 24);
3. geotekstiilile paigaldatakse 60 cm paksune kergtäitematerjali kiht, mis tihendatakse. Arvestame tihenemisastmeks 1,1 ehk peale tihendamist jääb kihipaksuseks ca 55 cm. Arvestame kergtäitematerjali mahumassiks  $400 \text{ kg/m}^3$  (mahukaal  $4 \text{ kN/m}^3$ ) ning turbale tuleb seega koormuseks  $0,55 \cdot 4 = 2,2 \text{ kPa}$ . Taoline koormus tekitab esmase konsolideerumise ca 5% turbakihi paksusest ehk ca 30 cm (kuna maapind on taimestikuga armeeritud, siis tegelikku märgatavat vajumist ei pruugigi toimuda);
4. kui kergtäitematerjal seejärel katta pealt geotekstiiliga ning koormata 0,5 m paksuse katendikihiga, saadakse konstruktsiooni kogukoormuseks:
  - a. teekatend:  $0,5 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 = 10 \text{ kPa}$ ;
  - b. teekonstruktsioon kokku:  $2,2 \text{ kPa} + 10 \text{ kPa} = 12,2 \text{ kPa}$ ;
  - c. mis tekitab esmase konsolideerumise ca 28% turbakihi paksusest ehk ca 1,7 m;
  - d. kuna aga kergtäitematerjal vajub allapoole pinnaseveetaset ning toimima hakkab vee üleslükkejõud, väheneb konstruktsiooni tegelik koormus ning seega väheneb ka konsolideerumise suurus:
    - i. vastavalt allpool toodud arvutusele on üleslükkejõud väiksem teekatendi koormusest, mistõttu konstruktsioon hõljuma ei jää, kuid tänu üleslükkejõule väheneb teekatendi koormus turbale (ajutiselt) ca 3,85 kPa võrra;
    - ii. uus koormusolukord on seega  $12,2 \text{ kPa} - 3,85 \text{ kPa} = 8,35 \text{ kPa}$ , mis põhjustab turbas esmase konsolideerumise ca 20% turbakihi paksusest ehk ca 1,2 m;

- iii. kuna esmane konsolidatsioon on konstruktsiooni kihipaksusest suurem, tuleb rajada paksem katend. Lisaks tuleb arvestada ka pikaajalise veeimavusega, mis suurendab aja jooksul konstruktsiooni kaalu.
5. Kuna kergtäitematerjali mahumassi mõjutab veeimavus, siis suureneb see püsivalt allpool pinnaseveetaset arvestuslikult ca ühe aasta möödudes  $\sim 600 \dots 850 \text{ kg/m}^3$  (mahukaal  $6 \dots 8,5 \text{ kN/m}^3$ ) juurde.
    - a. kui kergtäitematerjali kihipaksuseks arvestada 1,65 m (paigaldatuna kolmes kihis), siis on sellest põhjustatav koormus turbale teekonstruktsiooni valmimisel ca 6,5 kPa. Veeimavuse tõttu suureneb kergtäitematerjali koormus ca 11,5 kPa juurde (kerگیkillustiku kasutamisel veidi vähem, kergkruusa osas veidi rohkem, antud juhul arvestati mahukaaluga  $7 \text{ kN/m}^3$ ). 0,5 m paksune teekatend põhjustab turbale koormuse 10 kPa;
    - b. jättes esialgu arvestamata vee üleslükkejõu, siis teekonstruktsiooni koormus tee valmimisel on seega 16,5 kPa, mis põhjustaks turbas esmase konsolideerumise ca 36% ehk 2,15 m. Kui kergtäitematerjal on pikaajaliselt veeküllastunud, on kogukoormus 21,5 kPa, mis põhjustaks konsolideerumise ca 40% ehk 2,4 m;
    - c. arvestades juurde vee üleslükkejõu, siis väheneb teekonstruktsiooni koormus turbale tee valmimisel ca 10 kPa juurde (osaliselt on kergtäitematerjal all ja osaliselt ülalpool pinnaseveetaset) ning pikaajalises vaates kuni ca 16,5 kPa juurde. Tee valmimisel jääb teekate seega veenvalt kõrgemale olemasolevat maapinda, kuid arvestades juurde kergtäitematerjali veeimavuse ning turbakihi teisese konsolideerumise, jätkuvad vajumid aeglases tempos;
    - d. metsatee vaates võib taolist konstruktsiooni, kus näidiseks toodud turbale paigaldatakse tihendatult 1,65 m kergtäitematerjali, mis on ümbritsetud geotekstiiliga ja mille peale rajatakse 0,5 m paksune kruuspinnasest katendikiht, hinnata piisavaks.
  6. Järgmisena etapina tuleks teostada konstruktsiooni stabiilsusarvutus, millega täpsustatakse konstruktsiooni armeerimise vajadust ning nõlvakaldeid. Arvutus tuleb teostada selleks ettenähtud arvutiprogrammiga (nt Rocscience Slide2 või muu sobilik). Kuna aga konstruktsiooni koormus on tänu kergtäitematerjalile nii madal, siis stabiilsuse probleeme ei esine ning arvutust siinkohal ei esitata.
  7. Teekatendi kandevõime leitakse Odemarki valemiga arvestades kergtäitematerjali elastsusmooduliks 50 MPa ning teekatendi materjaliks kruuspinnas – nii saadakse kandevõimeks 110 MPa, mis täidab kolmanda järgu metsatee nõude.

Kui kergtäitematerjal vajub allapoole pinnaseveetaset, hakkab toimuma üleslükkejõud. Vastavalt tabelis L2.1 esitatud infole arvestatakse sel juhul kergtäitematerjali mahukaaluks  $3 \text{ kN/m}^3$ . Archimedese seaduse järgi saadakse alljärgnevad valemid. Arvutuse skemaatiline põhimõte on esitatud joonisel L2.6.

$$F = Q/U_{\text{õste}}$$

$$Q = q_{\text{pinnas}} + q_{\text{kerг}}$$

$$U_{\text{õste}} = (10 \text{ kN/m}^3 - \gamma_{\text{kerг}}) * h_{\text{kerг}}$$

kus

$F$  – üleslükkejõu tasakaaluseisund (üleslükke kontrollarvutuse tingimus on, et  $F > 1,2$ );

$Q$  – konstruktsiooni koormus, kPa;

$U_{tõste}$  – üleslükkejõud, kPa;

$q$  – mahukaal  $\gamma$  \* kihipaksus  $h$ ;

$h_{kerge}$  – allpool pinnaseveetaset paikneva kergtäitematerjali kihipaksus.

Kui 0,55 m paksune kergtäitematerjali kiht paikneb täielikult allpool pinnaseveetaset, mille peal on 0,5 m mineraalpinnast, siis

- $F = 12,2/3,85 = 3,17$ ;
- $Q = 10 + 2,2 = 12,2$  kPa
- $U_{tõste} = (10-3)*0,55 = 3,85$  kPa.

## Näidis 2, koormuse vähendamine

Olukorraks on fotol L2.2 kujutatud metsatee, kus kasutati alljärgnevat teekatendit:

- 40 cm kruuspinnas;
- 30 cm kohalik täitepinnas ümbritsetuna IV-profiili geotekstiiliga;
- geovõrk;
- 50 cm kohaliku mineraalse pinnasega täidetud muldkeha.

Kokku on teekonstruktsioon vajunud umbes 120 cm ning vajumid jätkuvad, kevadel tõuseb vesi teekattele. Teekatte pinda on vaja tõsta kõrgemale samaaegselt peatades või aeglustades vajumeid. Teekonstruktsiooni all on 3,5 m konsolideerunud turvast keskmise veesisaldusega 500%. Kui probleemsele kohale paigaldada peale mineraalset täitematerjali, siis on prognoositavad vajumid:

- 30 cm täitematerjali: 6 kPa, esmane konsolideerumine ca 6% turbakihi paksusest ehk ca 20 cm.
- 40 cm täitematerjali: 8 kPa, esmane konsolideerumine ca 7% turbakihi paksusest ehk ca 25 cm.
- 50 cm täitematerjali: 10 kPa, esmane konsolideerumine ca 8% turbakihi paksusest ehk ca 30 cm.

Arvestades eelnevale juurde ka pikaajaliselt toimuva teisese konsolideerumise, on mineraalse täitematerjaliga täitmise efekt madal.

Kui aga planeerida tee rekonstrueerimine kasutades kergtäitematerjali, siis võib arvestada alljärgnevaga:

1. 40 cm kruuspinnas eemaldatakse (koormuse vähenemine 8 kPa);
2. paigaldatakse kuni 60 cm kergtäitematerjali (kõige madalama punkti alusel), millest pool jääb alla- ja pool ülespoole pinnaseveetaset (arvestades vee üleslükkejõuga ja kergtäitematerjali veemavusega lisandub koormust ca 2,5 kPa);
3. paigaldatakse tagasi 40 cm kruuspinnasest teekatend (lisandub koormus 8 kPa).



Kui kergtäitematerjaliga tõsta teekonstruktsiooni kuni 60 cm võrra, siis lisab see turbale koormust ca 2,5 kPa, mis turbale täiendavat konsolideerumist praktiliselt ei suurenda ning teekatte pind saadakse vajalikule kõrgusele.



Foto L2.2. Näidis 2 olukord, kus olemasolev tee on turba konsolideerumise tõttu vajunud ning teed on vaja tõsta. Foto: Henri Daniel Ots.

### **Näidis 3 – väiksema kihipaksusega turvas**

Arvestame turbakihi paksuseks 4 m ja keskmiseks veesisalduseks 750%. Kui teed ehitatakse mineraaltäitematerjaliga, siis, vee üleslükkejõudu arvestamata, saadakse esmased konsolideerumised järgmised:

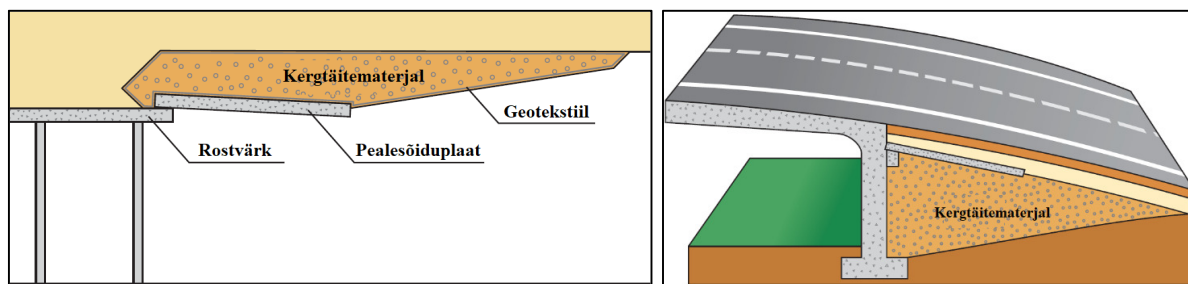
- 1 m paksune teekonstruktsioon: 23% turbakihi paksusest ehk 0,92 m;
- 1,5 m paksune teekonstruktsioon: 31% ehk 1,25 m;
- 2 m paksune: 36% ehk 1,45 m.

Arvestades, et esmane konsolideerumine on 80% koguvajumist, siis 2,0 m paksune teekonstruktsioon vajub teisese konsolideerumisega kokku ca 1,82 m ehk teekate jääks ca 15 cm kõrgemale olemasolevast maapinnast. Kui arvestada vee üleslükkejõuga, siis jääks tee mõnevõrra kõrgemale, kuid vajaminev teekonstruktsiooni paksus on ikkagi ca 2 m.

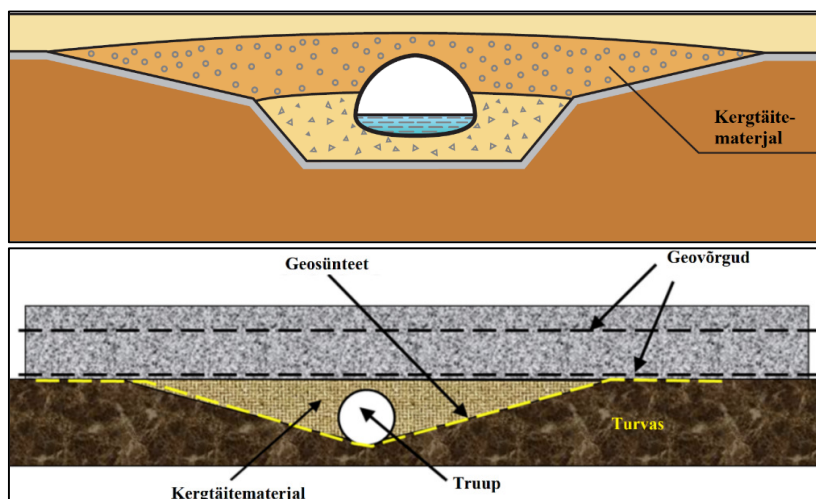
Kui aga planeerida teekonstruktsioon kergtäitematerjalist, siis näiteks 0,5 m kergtäitematerjal, mille peal on 0,5 m mineraalpinnast, tekitab turbale kõige konservatiivsema stsenaariumi kohaselt, kus võrdsustame kergtäitematerjali mahumassi veega (ehk 1000 kg/m<sup>3</sup> nagu tehakse Soomes), koormuse 10 kPa, mis põhjustab esmase konsolideerumise ca 12% turbakihi paksusest ehk 50 cm. Arvestades juurde ka teisese konsolideerumise saadakse vajumiks ca 65 cm ning teekate jääb olemasolevast maapinnast püsivalt ca 35 cm kõrgemale.

### **Näidis 4 – sillad, truubid ja üleminekukiilud**

Üheks väga levinud kergtäitematerjalide kasutuskohtadeks on sildadele ja viaduktidele pealesõidud, et vältida või vähendada järeltihenemisest ja konsolideerumisest tulenevalt „hüpekat“, mõned näidised on joonistel L2.6 ja L2.7. Kergtäitematerjale kasutatakse ka koostöös truupidega (nii terastoru truupide kui väiksema läbimõõduga plastiktruupidega) eesmärgiga vähendada nendele avalduvat koormust ja/või aluspinnase konsolideerumist, joonised L2.8 ja L2.9. Täiendavalt on kergtäitematerjalide sobilikuks kasutuskohaks ka üleminekukiilud nõrgalt pinnaselt tugevale ja vastupidi ühtlustamaks vajumierinevusi, joonis 38.



Joonised L2.6 ja L2.7. Kergtäitematerjalide kasutusnäited seoses üleminekuga elastsest alusest (muldkeha) jäigale alusele (sillad ja vaivundamendid) ühtlustamaks vajumierinevusi. Jooniste allikas [Leca].



Joonised L2.8 ja L2.9. Kergtäitematerjalide kasutamine seoses truupidega kas vähendamaks nendele avalduvat koormust ja/või pinnase konsolideerumist. Jooniste allikas [Leca] ja [Roadex]

Lihtsamad sildade, truupide ja üleminekukiiludega seotud arvutused on sarnased eelnevatega, näiteks alljärgnev ülesanne, kuid keerulisemad ja põhjalikumad (vajumi- ja stabiilsus)arvutused lahendatakse geotehnilise projektiga.

Oletame olukorda, kus metsatee silla orienteeruv dekiplaadi kõrgus on 83,60 m. Võttes aluseks ehitusgeoloogilise uuringu andmed, tuleb eemaldada 0,6 m täitepinnast ja 0,6 m turbast mulda ning teha teekonstruktsiooniga tagasitäide silla dekiplaadini. Aluspinnaseks jääb sel juhul väga kohev liiv, millele tekib tagasitäitest tulenev täiendav koormus:

$$(0,6 \text{ m} \cdot 14 \text{ kN/m}^3 + 0,6 \text{ m} \cdot 11 \text{ kN/m}^3) + (83,6 - 81,7 \text{ m}) \cdot 20 \text{ kN/m}^3 = 23 \text{ kPa},$$

mis põhjustab ca 8 cm vajumi, kuid mis toimub teekonstruktsiooni ehitamisega samaaegselt. Aja jooksul tekib liikluskoormusest aluspinnases veel ca 5 cm suurune järelvajum, millele lisandub teekonstruktsiooni järeltihemisega toimuv järelvajum. Vajumid on leitud kasutades elastsusteooria valemit arvestades liivpinnase deformatsioonimoodulina 3 MPa.

Koormust aluspinnasele ja seega ka järelvajumeid saab vähendada, kui kasutada kergtäitematerjali, mille mahukaal (sesoonselt allpool pinnaseveetaset ca 6 kN/m<sup>3</sup>) on täitepinnase mahukaalust (ca

20 kN/m<sup>3</sup>) ca 30%. Kui vastu silda on teekonstruktsiooni paksus ca 2 m, millest kergtäitematerjal 1,4 m ja täitematerjal 0,6 m, siis lisanduv koormus aluspinnasele on:

$$-(0,6 \text{ m} \cdot 14 \text{ kN/m}^3 + 0,6 \text{ m} \cdot 11 \text{ kN/m}^3) + 1,4 \text{ m} \cdot 6 \text{ kN/m}^3 + 0,6 \text{ m} \cdot 20 \text{ kN/m}^3 = 5,4 \text{ kPa},$$

mis on 76% väiksem kui tavapärase täitepinna kasutamisel oleks ning mis vähendab proportsionaalselt ka järelvajumeid.

Põhimõtteline lahendus sillale pealesõidule on järgmine:

- min. 10 m sillast eemaldatakse kogu turbapinnas, mille asemele rajatakse geotekstiiliga ümbritsetud kergtäitematerjalist muldkeha selliselt, et vastu silda on selle kihipaksus 1,4 m. Kergtäitest moodustatakse kiil kaldega 1:10 vastu turbapinnast;
- turbapinnasest moodustatakse osalise väljakaevuga seejärel teist pidi üleminekukiil 5 m pikkusel maa-alal kaldega 1:5, mille järgselt jätkub tee tavapärase turbale rajatava lahendusena.

## L2.2. EPS ja XPS

EPS ehk vahtpolüstüreen on plastvahul põhinev soojustus- ja kergtäitematerjal koosnedes 95...98% ulatuses selle kinnises kärgstruktuuris olevast õhust. EPSi toodetakse polüstüreenigraanulitest viieetapilise protsessina neid paisutades ning kuuma auruga töödeldes. Tootena saadakse plokid, mis lõigatakse vastavalt vajadusele ja nõudmisele plaatideks. XPSi lähtematerjal on samuti polüstüreen, kuid tootmisprotsessina kasutatakse ekstruuderdamist ning tootena saadakse plaadid.

EPSi ja XPSi olulisemad omadused on:

- väike mahumass;
- hea soojusisolaator;
- vastupidav veele;
- materjal ei toimu vee kapillaartõusu;
- vastupidav pikaajalisele raskele koormusele;
- kergesti käsitletav ja paigaldatav;
- täielikult taaskasutatav;
- tuleb kaitsta lahustite (mh kütused) eest;
- tuleohtlik (kuigi toodetakse ka materjale, mis ei ole tuleohtlikud).

Taristuehituses kasutatakse vähemalt 100 kPa survetugevusega EPS plokkide, kuid levinuimad on 120 ja 200 kPa survetugevusega materjalid ja kasutust on leidnud ka 150, 250 ja 300 kPa (survetugevus antakse 10% deformatsiooni juures). XPSi survetugevused on EPSist kõrgemad (lühiajaline survetugevus 10% deformatsiooni juures kuni 700 kPa) ning veeimavused ja soojusjuhtivused väiksemad. Taristuehituses kasutatakse XPSi juhul, kui vajatakse suuremat survetugevust ja/või väiksemat soojusjuhtivust. XPS võimaldab saavutada sama soojaisolatsiooni näitajad õhema kihipaksuse juures.

Kuna EPS ja XPS on kergkillustikust ja –kruusast kulukamad, siis kasutatakse neid taristuehituses kergtäitematerjali või soojaisolaatorina tingimusel ja kohtades, kus muude materjalide kasutamine ei täidaks projekti nõudeid. Näiteks:

- kõrgete muldkehade laiendamine kitsastes tingimustes nõrkadele pinnastele: EPS võimaldab rajada väga kerge muldkeha vertikaalse seinana, mis hoiab kokku ruumi ning ei põhjusta laienduse ebaühtlast vajumist olemasoleva muldkeha suhtes; alternatiiv näiteks vaivundamendi ja tugiseina koostööle;
- soojusisolatsioonikihi tekitamine väheste ruumi tingimustes, nt maa-aluste parklate katmine, eriliste külmakerkekahjustuste likvideerimine (nt tunnelisse sissesõit) jms.

EPS ja XPS võrreldes kergkillustiku ja –kruusaga:

- ca 4x korda kergem (mahumass 400 kg/m<sup>3</sup> vs 100 kg/m<sup>3</sup>);
- veeimavused on oluliselt väiksemad (ca 60...100% vs < 3%);
- kapillaartõusu ei ole ( $\leq 200$  mm vs 0 mm);
- soojusjuhtivustegur ca 3x väiksem (0,1 W/mk vs 0,03 W/mk; soojustehnilise ekvivalendi vastavus liivakihile 4 vs 15),
- Odemarki moodul madalam (50 MPa vs 10...25+ MPa olenevalt survetugevusest).

### **EPSi paigaldamine**

Tavapäraselt kasutatakse taristuehituses EPS plokket, kuid erijuhtudel, kui seda nõuab väiksem soojusjuhtivus ja/või suurem survetugevus, võidakse kasutada ka XPSi.

EPS/XPS plokkid/plaadid (edaspidi vaid plokkid) asetatakse tasasele ja tihendatud dreniiva pinnase peale, kust on tagatud vee äravool (üldjuhul peaks all olema min. 0,15 m paksune dreniiv kiht). Plokkid asetatakse tihedalt üksteise kõrvale ning vajadusel ühendatakse omavahel kobade või ogaplaatidega. Plokkide piki- ega põiksuunalised vuugid ei tohi kattuda. Vahetult plokkide peal ei tohi liigelda raskete töömasinatega. Kui EPS/XPSile avaldatakse liialt suurt koormust, põhjustab see materjalil deformatsioone, mistõttu selle moodul väheneb ja veeimavus suureneb märkimisväärselt.

Väga raske liikluse all olevate teede ning ka põhimaanteed ja muude tavapäraselt suurema dünaamilise koormusega kohtade puhul (nt sildade pealesõidud) on EPS plokkid mõnikord kaitstud/kaetud betoonplaadiga. Kui viimast ei kasutata, peaks EPSi lühiajaline survetugevus olema vähemalt 120...150 kPa. Betoonplaadiga katmise korral piisab, kui kasutada 100...120 kPa. XPS võimaldab kasutada suuremat survetugevust, kui see peaks olema vajalik. Eri survetugevusega EPS/XPSi on võimalik konstruktsioonis kasutada nii, et konstruktsiooni ülaosas on suurema ja allpool väiksema survetugevusega materjal.

EPS/XPS tuleb kaitsta õli, kütuste ja muude orgaaniliste lahustite eest, milleks sobib vähemalt 0,5 mm paksune geomembraan + selle kaitsekiht (kas sobilik pinnas või geotekstiil). Ka betoonplaat toimib EPS/XPSi kaitsekihina. Kaitsekihi põikkalle peab olema vähemalt 1,5%, et vesi ja muud vedelikud saaksid teekonstruktsioonist väljuda.

EPS/XPS konstruktsioon kavandatakse tavaliselt nii, et plokkidest laotakse kalde 2:1 (või laugem) all „trepp“ kuni projektkõrguse saavutamiseni, kuid võimalikud on ka täiesti vertikaalsed lahendused. Nõlvade pinnasega katmisel on selle minimaalseks paksuseks 250 mm. Täitematerjalidega katmisega alustatakse külgedelt. Oluline on tagada, et EPS/XPS konstruktsioon püsiks täitetööde ajal paigal/liikumatu.

Kui EPS/XPS plokid paigaldatakse allapoole pinnaseveetaset, tuleb projektlahenduses arvestada üleslükkejõududega ning ehitamise ajal peab veetase olema alandatud allapoole kergkonstruktsiooni alapinda. Ehitamise ajal tuleb tagada, et ehitusalusesse ei tungiks vett, mis võiks põhjustada üleslüket.

### L2.3. Rehviplokid

Rehviplokid on valmistatud vanarehvidest, mis on kokku pressitud ning kinnitatud galvaniseeritud metalltraadiga, joonis 10. Ploki pikkus (l) on 1400(±50) mm, laius (w) 1550(±50) mm ja kõrgus/sügavus (d) 750(+50) mm. Tee-ehitusobjektidel teostatud mõõtmiste alusel (5 ploki üksteise kõrval ning tee pikkus sadades meetrites) saadi ühe ploki pikkuseks 1390...1400 mm ja laiuks 1520...1580 mm olenevalt paigaldustäpsusest. Üks plokk kaalub 800(±50) kg. Plokis sisalduvad rehvid on kinnitatud viie galvaniseeritud traadiga pikkuse suunas.

Siin käsitletud rehviplokid peavad olema toodetud BSI PAS 108 meetodi alusel, mille orienteeruvad omadused on esitatud tabelis L2.2.

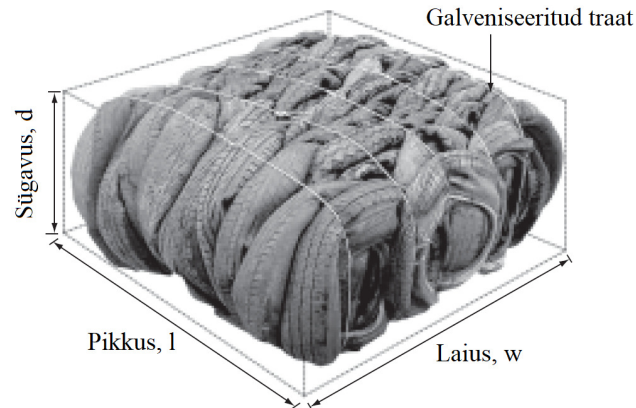
Tabel L2.2. Rehviplokkide tehnilised näitajad

Põhiomadused		Toimivus	Tehniline kirjeldus
Mõõtmed	Pikkus, mm	1400(±50)	BS PAS 108
	Laius, mm	1550(±50)	
	Kõrgus, mm	750(±50)	
Mahumass	Kuivalt, kg/m <sup>3</sup>	500 (±70)	
	Veeküllastatult, kg/m <sup>3</sup>	1050 (±50)	
Sisehõõrdenurk	Kuivalt	35°	
	Veeküllastatult	27°	
Roomedeformatsioon		<1,5%	
Veejuhtivus <sup>#</sup>	Sügavuse suhtes, m/s	0,15 (±0,05)	
	Pikkuse suhtes, m/s	0,03 (±0,01)	
Soojusjuhtivustegur, W/mk		0,20 (±0,05)	
E-moodul (Odemark)	Vaid plokk, MPa	20	-
	Pinnasega täidetult, MPa	50	

<sup>#</sup>Väga hea veejuhtivuse tõttu on rehviplokke kasutatud muuhulgas teede ehitamisel üleujutusaladele vältimaks üleliigse vee kogunemist ühele poole teed.

Rehvidest plokkide süttimine ei ole võimalik, kui temperatuur jääb alla 180°C, mis teeb nende kasutamise maa- ja vesiehitistes piisavalt turvaliseks. Konstruktsioonis olles plokkide süütamine ja süttimine on väga ebatõenäoline ka metsatulekahjude korral, kuna plokid on kaetud pinnasega.

Erinevate ainete leostuvus jääb nõutud piirväärtustest väiksemaks ning mõju rehvidega kokkupuutuvale vee kvaliteedile ja pinnasele on tühine. Rehviplokid on peale tee lammutamist uuesti taaskasutatavad.

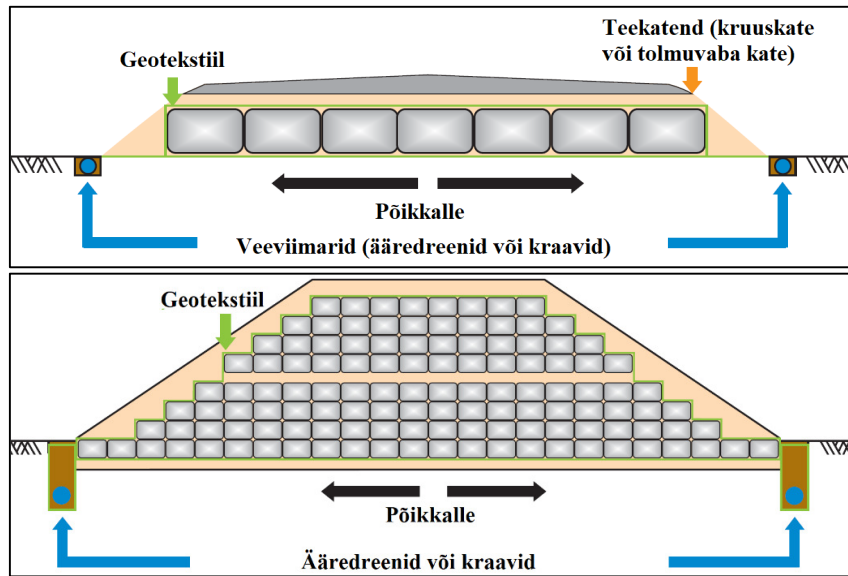


Joonis L2.10. Rehvidest ploki/kuubiku skeem.

Rehviplokkide paigaldamisel lähtuda tootjapoolsest paigaldusjuhiseist. Võimalik on paigaldus nii, et plokkidest kiht on ümbritsetud geotekstiiliga (ehk pinnas ja plokid omavahel kokku ei puutu), foto L2.3, kui nii, et plokkide tühimikud täidetakse pinnasega, sh kergtäitematerjaliga, foto L2.4. Pinnase või kergtäitematerjaliga täitmisel arvestada plokkide tühiklikkusega ca 25...30%. Plokke võidakse paigaldada nii ühes kihis kui ehitada kõrgeid muldkehasid, joonised L2.11 ja L2.12.



Fotod L2.3 ja L2.4. Rehviplokkid paigaldatuna teekonstruktsiooni vältides pinnasega kokkupuudet kui täites tühimikud materjaliga. Fotod: Roadex.org ja Sven Sillamäe.



Joonis L2.11 ja L2.12. Teekonstruktsioonide näidisristlõiked, kus rehviplokke on kasutatud kas ühes kihis või on nendest valmistatud kõrge muldkeha. [1]

## **L2.4. Viidatud allikad**

Lisas 2 esitatud info pärineb järgmistest allikatest:

1. BS PAS 108. Specification for the production of tyre bales for use in construction;
2. Foamit.fi;
3. Kevennysrakenteiden suunnittelu. Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. Liikennevirasto 2011;
4. Leca.fi;
5. Rieksts, K; Loranger, B; Hoff, I; Scibilia, E (2019). In Situ Thermal Performance of Lightweight Aggregates Expanded Clay and Foam Glass in Road Structures. 18th International Conference on Cold Regions Engineering and 8th Canadian Permafrost Conference;
6. Roadex.org;
7. Vaahtolasimurskeen käyttö maa- ja pohjarakentamisessa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 2014.