

Markus Mänd

**TERASTIKULISE
KOOSTISE MÕJU
FILTRATSIOONIMOODULILE**

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond

Teedehituse eriala

Tallinn 2014

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. FILTRATSIOONIMOODUL JA SELLE MÄÄRAMINE.....	7
1.1. Filtratsioon	7
1.2. Filtratsioonimooduli määramine	7
1.3. Darcy seadus	8
1.4. Erinevate materjalide filtratsioonimooduli väärtused	9
1.5. Maanteeameti juhendid ja nõuded.....	9
1.5.1. Juhend filtratsioonimooduli määramiseks.....	9
1.5.2. Nõuded filtratsioonimoodulile	10
2. KATSETE TEOSTAMISE METOODIKAD	11
2.1. Katsemetoodika alased terminid	11
2.2. Proovivõtt	11
2.3. Proovide vähendamine	12
2.4. Terastikulise koostise määramine	13
2.5. Filtratsioonimooduli määramine Sojuz-Dornii meetodil	15
2.6. Filtratsioonimooduli määramine vastavalt GOST standardile	16
2.7. Peamised filtratsioonimooduli määramise meetodikate erinevused	20
3. TERASTIKULISE KOOSTISE MÕJU FILTRATSIOONIMOODULILE	22
3.1. Varasemad uuringud	22
3.2. Erinevate materjalide võrdlus.....	26
3.3. Materjalide võrdlus gruppide kaupa.....	31

3.4. Konkreetse materjali katsetamine	38
3.4.1. Katsetamine ja katsetulemused	39
4. PEENOSISTE VÄLJAPESEMINA	43
4.1. Tehnoloogia.....	43
4.2. Peenosiste väljapesemine Eestis.....	44
4.3. Pestud ja pesemata materjali hinnavõrdlus	47
KOKKUVÕTE.....	49
SUMMARY	51
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU.....	53
LISA 1 MAANTEEAMETI KÄSKKIRI NR 0069	55
LISA 2 ÜHIKUTA KOEFITSENDI MÄÄRAMINE.....	56

SISSEJUHATUS

Autor on valinud käesoleva lõputöö teema seoses viimastel aastatel tekkinud problemaatikaga teede ehitamisel kasutatavate materjalide filtreerimisvõime ning filtratsioonimooduli määramise meetodikatega. Kuna ilmastiku- ning eelkõige niiskuse olud Eestis on küllaltki rasked, on väga tähtsal kohal vee võimalikult kiire väljasaamine tee konstruktsioonist. Kui tee konstruktsioonis on liiga palju vett ning äravool puudub, kaotab tee oma ettenähtud kandevõime. Samuti võib vesi kanda osa materjali endaga kaasa ning seeläbi tekitada ebaühtlaseid vajumeid, mis peegelduvad lõpuks sõidutee pealispinnal. Lisaks on halva filtratsioonivõimega materjalidel üldiselt suur kapillaarveetõus, mis omakorda kajastub tee konstruktsioonis külmakergetena.

Tihti peale tekib vajadus ehitada tee kohta, kus looduslik aluspinnas on väga halvasti dreniv. Selleks, et vältida tulevikus liigsest niiskusest tekkida võivaid defekte, tuleb olemasolev pinnas välja kaevata ning asendada materjali või pinnasega, mis igal juhul omaks nõutud filtreerimisvõimet. Tehes tagasitõidet mujalt kohale toodud materjaliga, peab olema kindel, et uus materjal tõepoolest võimaldab vee äravoolu tee konstruktsioonist drenaaži kraavidesse ja edasi teemaa-alalt eemale ning takistaks altpoolt tulevat vee kapillaartõusu.

Seoses pidevalt kasvavate tee-ehitustööde mahtude suurenemise ning selle mõjul kasvava nõudluse järgi hästi filtreerivale materjalile, võime tulevikus seista silmitsi olukorraga, kus hästi drenivate tee-ehitusmaterjalide hind on muutunud kõrgeks või isegi väga kõrgeks, samas kui halvasti drenivaid materjale on kõigil teede ehitamisega tegelevatel ettevõtetel suurtes kogustes üle jäämas. Puuduliku filtratsiooniga materjalil ei ole teede ehituses märkimisväärset kasutusotstarvet.

Käesoleva lõputöö raames esitabki autor küsimuse, kas halvasti filtreerivaid materjale saab üldse parendada nõutud filtratsioonimooduli saavutamiseks ning mida täpsemalt tuleb selle nimel teha. Teine põhiküsimus on, kas materjali parendamine terastikulise koostise muutmisega mõjub filtratsioonimoodulile ning kui suurel määral antud tegevus filtratsioonimoodulit muudab. Saades vastused põhiküsimustele tekib loomulikult ka küsimus, mida teha materjalist välja sõelatud

peeneteralise osaga, kas sellel on teedehituses üldse kasutusotstarvet või sobib see kasutamiseks muudes valdkondades.

Autor on jaotanud lõputöö neljaks peatükiks. Esimeses peatükis toob autor välja filtratsioonimooduli põhimõiste ning seletab lahti filtratsioonimooduli määramise erinevad meetodikad. Lisaks on välja toodud erinevate materjalide kaudsed filtratsioonimoodulid, Maanteeameti juhendid filtratsioonimooduli määramise kohta ning nõuded filtratsioonimooduli väärtustele. Teises peatükis on lahti seletatud kõigi laboratoorsete katsete teostamise meetodikad. Laboratoorsete katsete alla kuuluvad proovivõtt, proovide vähendamine, terastikulise koostise määramine, Proctor teim (optimaalne veesisaldus ja maksimaalne tihedus) ning filtratsioonimooduli määramine nii GOST standardi kui ka Sojuz-Dornii meetodi järgi. Kolmandas peatükis on kirjeldatud terastikulise koostise mõju filtratsioonimoodulile, varasemaid uuringuid antud teema kohta ning kogutud andmete põhjal ka autori analüüs erinevate täitematerjalide kohta. Lisaks ka katsetused konkreetse materjaliga, mille puhul on proovitud materjali filtreerimisvõimet suurendada. Viimases peatükis on käsitletud materjali tööstuslikku pesemistehnoloogiaid, Vao karjääri pesemiskompleksi ja võrreldud ka materjali hindasid Eesti lõikes (pesemata ja pestud materjal).

Lõputöös kirjeldatud katsete läbiviimisel on kasutatud Teede Tehnokeskus AS-i katseseadmeid ning akrediteeritud meetodikaid. Lisaks on arvesse võetud arvamusi ja soovitusi ettevõtte spetsialistidelt. Siinkohal soovib autor tänada Teede Tehnokeskus AS-i laboratooriumi kollektiivi ladusa koostöö eest.

1. FILTRATSIOONIMOODUL JA SELLE MÄÄRAMINE

1.1. Filtratsioon

Filtratsioonimoodul on pinnase veeläbilaskvust iseloomustav suurus. Filtratsioonimoodul sõltub lõimisest ehk pinnast moodustavate osakeste suurusest. Näiteks liivade filtratsioonimoodul on kümneid või sadu kordi suurem kui peenematest saviosakestest moodustunud savipinnasel. Sügavuse suurenedes filtratsioonimooduli väärtus väheneb. Filtratsioonimoodulit tähistatakse tavaliselt tähisega **K_f** ning ühikuks on **m/ööpäevas** (m/ööp). [1]

1.2. Filtratsioonimooduli määramine

Veejuhtivuse e. filtratsioonimooduli määramiseks on olemas kaks üldist kategooriat:

- **empiiriline** lähenemine, mille järgi veejuhtivus on korrelatsioonis pinnase omadustega, nagu poori suuruse ja terasuuruse jagunemine ning lõimis;
- **eksperimentaalne** lähenemine, mille järgi veejuhtivus määratakse katsete abil, lähtudes Darcy seadusest.

[1]

Eksperimentaalne lähenemine on omakorda jagatud kaheks:

- **laboratoorsed katsed**, kasutades pinnaseproove sõltuvalt teostatavast katsest;
- **välitööd** (veetaseme vaatlus pinnase avaustes, pumbakatsed kaevudes, olemasolevate drenaažisüsteemide uurimine jne).

[1]

Näiteks empiirilise lähenemisena saab filtratsioonimoodulit hinnata terastikulise koostise põhjal Allen Hazeni (1869-1930) poolt koostatud valemiga:

$$K = C * (D_{10})^2 \quad (1)$$

,kus:

- K – filtratsioonimoodul;
- C – Hazeni empiiriline koefitsent, mille väärtus on 0,4 – 1,0;
- D_{10} – terastikulise koostise 10-protsentiili diameeter. [2]

Samas käesolevas lõputöös on keskendutud eksperimentaalsele lähenemisele läbi konkreetsete proovide katsetamise. Selline lähenemine võimaldab saada kõige täpsemad andmed proovi kohta ning katsetulemuste võrdlemisel teha järeldusi tehtud muudatuste mõjust pinnaseproovile.

1.3. Darcy seadus

Darcy seadus ehk filtratsiooni põhiseadus on eksperimentaalselt tuletatud võrrand, mis kirjeldab vedelike voolamist läbi poorse keskkonna. Seadust kirjeldas prantsuse hüdraulik Henry Darcy (1803–1858) ning seda kasutatakse peamiselt põhjavee liikumise uurimisel ja kirjeldamisel. Darcy seadus kehtib selle avastamisest saadik kõikide newtonlike vedelike puhul. [3:12]

Darcy seadus kõlab järgmiselt:

põhjavee kogus (Q), mis läbib ajaühikus kivimit, on võrdeline rõhu langusega (Δh) ning veevoolu ristlõike pindalaga (A) ja pöördvõrdeline vee liikumise tee pikkusega (L). [3:12]

Valemina näeb Darcy seadus välja nii:

$$Q = k * A * \frac{\Delta h}{L} \quad (2)$$

,kus:

- Q – vee vooluhulk;
- L – vee liikumistee pikkus;
- A – ristlõike pindala;

- $\Delta h = h_2 - h_1$ on rõhkude vahe;
- k – pinnase filtratsioonikoefitsient.

$\frac{\Delta h}{L}$ tähistatakse tavaliselt I ja nimetatakse hüdrauliliseks kaldeks ehk gradiendiks. [3:12]

1.4. Erinevate materjalide filtratsioonimooduli väärtused

Seoses täitematerjalide väga suure varieeruvusega filtreerimisvõime kirjeldamisel, on oluline teada erinevate pinnaste või materjalide ligikaudset filtratsioonimooduli väärtust. Käesolevas alapeatükis on välja toodud peamiste pinnase või materjali gruppide filtratsioonimooduli väärtuse vahemikud, mille sisse konkreetse pinnase või materjali filtratsioonimooduli väärtus suure tõenäosusega jääb. Selleks on autor tõlkinud ja teisendanud ümber tabeli interneti leheküljelt, mis käsitleb pinnase omadusi ja nende mõju põhjaveele.

Tabel 1

Erinevate materjalide filtratsioonimoodulid [4]

Materjal	Filtratsioonimoodul, cm/s	Filtratsioonimoodul, m/ööp
Sõelutud kruus	10^{-2} kuni 1	8,64 kuni 864
Sõelutud liiv	10^{-3} kuni 10^{-1}	0,86 kuni 86
Tolmliiv, peenliiv	10^{-5} kuni 10^{-3}	0,09 kuni 0,86
Muda, liivmuda, savikad liivad	10^{-6} kuni 10^{-4}	$8,64 \cdot 10^{-4}$ kuni 0,09 (ehk alla 0,1)
Savi	10^{-9} kuni 10^{-6}	$8,64 \cdot 10^{-7}$ kuni $8,64 \cdot 10^{-4}$ (ehk alla 0,01)

1.5. Maanteeameti juhendid ja nõuded

Käesolevas alapeatükis on toodud välja uurimustöö koostamise ajal kehtiv Maanteeameti poolt kinnitatud juhendi filtratsioonimooduli määramise kohta ning ka nõuded, milledele teede ehitamisel kasutatavad täitematerjalid peavad vastama.

1.5.1. Juhend filtratsioonimooduli määramiseks

Maanteeamet on alates 16. veebruarist 2012 (käskkiri number 0065) muutnud kohustuslikuks filtratsioonimooduli määramine teostada maksimaalse standardtiheduse ja optimaalse veesisalduse

juures vastavalt GOST standardile. Maksimaalse standardtiheduse ja optimaalse veesisalduse leidmiseks tuleb teostada Proctor-teim vastavalt standardile EVS-EN 13286-2. Filtratsiooni määramine tuleb teostada standardi GOST 25582-90 lisa 5 kohaselt. Need nõuded kehtivad kuni vastavasisulise rahvusliku standardi jõustumiseni. [5]

14. veebruaril 2013 välja antud maanteeameti käskkiri number 0069 „Filtratsioonimooduli määramine“ muudab küll eelneva käskkirja kehtetuks, kuid sisuliselt täpsustab eelnevat käskkirja ehk sellesse on lisatud filtratsioonimoodulite vähimad lubatud väärtused tee konstruktsiooni kihtides ning sätestab materjali väljavahetamise vajaduse otsustamise tingimused. [5] Käesoleva lõputöö kirjutamise ajal on kehtiv viimati nimetatud käskkiri number 0069. Käskkiri on välja toodud lõputöö Lisas 1.

1.5.2. Nõuded filtratsioonimoodulile

Järgnevad nõuded filtratsioonimooduli väärtuste kohta kehtivad kõigi praegu ja tulevikus ehitatavate tee või tee osade ehitamisel kuni järgmiste nõuete jõustumiseni. Käesoleva lõputöö kirjutamise ajal on kehtiv maanteeameti käskkiri number 0069 „Filtratsioonimooduli määramine“.

Vastavalt eelpool nimetatud maanteeameti käskkirjale peab filtratsioonimoodul erinevates kihtides vastama järgmistele väärtustele:

- drenkihi filtratsioonimoodul 1. ja 2. niiskuspaikkonnas minimaalselt 1 m/ööp, kihi minimaalne paksus 20 cm;
- drenkihi filtratsioonimoodul 3. niiskuspaikkonnas minimaalselt 2 m/ööp, kihi minimaalne paksus 30 cm;
- ehitatava muldkeha filtratsioonimoodul aktiivsoonis (katte pinnast kuni 1,5 meetri sügavuseni) minimaalselt 0,5 m/ööp. [5]

2. KATSETE TEOSTAMISE METOODIKAD

2.1. Katsemetoodika alased terminid

Laboratoorne proov – laboratoorseks katseks ettenähtud proov. [6]

Osaproov – üksikproovidest või koondproovist proovi vähendamise teel saadud proov. [6]

Katseproov – ühes katses tervikuna ära kasutatav osaproov. [6]

Üksikkatseproov – üksikkatseks kasutatav proov, kui katsemeetod nõuab omaduse enam kui ühekordset määramist. [6]

Eksikaator – tugevast klaasist tihedalt kaanega suletav nõu, mille alaosas olev vesi hoiab õhuniiskust eksikaatoris kuni 100 %-lisel tasemel. [7]

Filtratsioonitoru – spetsiaalselt filtratsioonimooduli mõõtmiseks loodud katseseade, mille küljes oleva piesomeetri abiga mõõdetakse veetaseme langemise kiirust materjaliga täidetud filtratsioonitorus. [7]

Filtratsiooni haamer – abivahend katseproovi tihendamiseks filtratsioonitorus. 0,5 kg raskune haamer langeb 300 mm kõrguselt ning tihendab filtratsioonitorus olevat materjali. [7]

2.2. Proovivõtt

Proovivõtt teostatakse vastavalt standardile EVS-EN 932-1:2000 Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine, Osa 1: Proovivõtumeetodid. Nimetatud standard määratleb meetodid täitematerjali proovide võtmiseks tarnetest ja valmistamis- ning töötlemistehastest, laod kaasa arvatud. Proovivõtu eesmärgiks on saada partii keskmisi omadusi esindav koondproov. Standardis määratletud meetodid sobivad ka eraldi katsetatavate üksikproovide võtmiseks. Esindava koondproovi saamiseks valitakse üksikproovid juhuslikult partii kõigist osadest. [8]

Proovide võtmine kuhilast

Ligikaudu võrdse suurusega üksikproovid tuleb võtta üle kogu kuhila jaotatud erinevatest punktidest, erinevalt kõrguselt või sügavuselt. Üksikproovide võtmise koha ja arvu valikul tuleb arvesse võtta ladustamisviisi, kuhila kuju ja võimalikku segreerumist kuhila sees. Üksikproov tuleb võtta süvendi sügavaimast punktist, kasutades kühvlit, kühvellabidat või proovivõtjat. [8]

Käesoleva uurimustöö tarbeks võetud pinnase või materjali proovid on võetud vastavalt ülalkirjeldatud standardi punktile, mis käsitleb proovide võtmist kuhilast.

2.3. Proovide vähendamine

Laboratoorsete proovide vähendamine teostatakse vastavalt standardile EVS-EN 932-2:2000 Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine, Osa 2: Laboratoorsete proovide vähendamise meetodid. Nimetatud standard kirjeldab täitematerjalide laboratoorsete proovide katseprooviks vähendamise meetodeid, kui katseproovi mass on:

- määratletud massi alumise piirväärtusega;
- määratletud nimimassi häälbega;
- täpselt määratletud katsemeetodi nõuetega.

[6]

Nimetatud standardis esitatud jaotusvõtted võimaldavad saada nõutava katseproovi massi minimaalse jaotusvõtete arvuga ning võimaluste piires välistada katse teostaja sekkumisvõimalused katseproovi moodustamisel ja proovi sattuvate terade vähimatki valimist tema poolt. [6]

Enne proovi vähendamist katseprooviks kaalutletakse vastavalt materjali omadustele, millist proovi vähendamisvõtet kasutatakse. Niiske ja/või märja materjali puhul proovijaoturit või jaotuskasti kasutada ei tohi. Kui materjal sisaldab silmaga nähtavaid savitükke, tuleks materjal vähendada sellises seisukorras, nagu see laboratooriumisse saabus. Juhul, kui täitematerjali terasuurus varieerub suurtes piirides, on soovitatav jaotada proov sõelumise teel kaheks või enamaks fraktsiooniks ning vähendada iga fraktsioon eraldi. [6]

Proovi vähendamiseks kasutatavad võtted on järgmised:

- proovi vähendamise võtted pöörleva proovijaoturiga;
- proovi vähendamine jaotuskastiga;
- proovi vähendamine jaotava kühveldamisega;

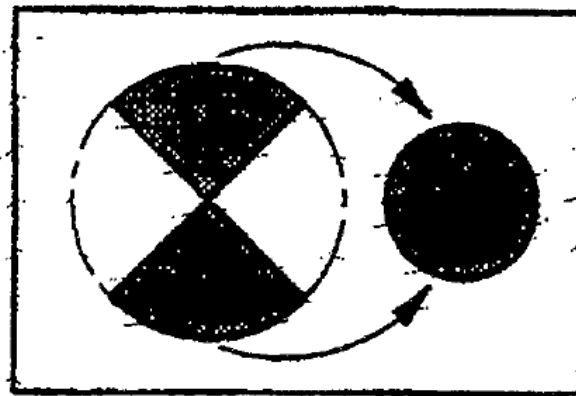
- proovi vähendamine kvarteerimisega;
- proovi vähendamine väikese tolerantsiga määratletud massiga katseprooviks;
- proovi vähendamine purustamise teel terasuuruse vähendamise eesmärgil. [6]

Vastavalt käesoleva lõputöö uurimisobjektis olevale materjalile on autor valinud proovi vähendamise viisiks proovi vähendamine kvarteerimisega.

Kvarteerimine teostatakse järgnevalt: laboratoorne proov asetatakse tööpinnale ja segatakse hoolikalt, moodustades koonilise kuhila, mille ümberkühveldamisega moodustatakse uus koonus. Võtet korratakse kolm korda. Koonuste moodustamisel lisatakse iga kühvlitäis uue koonuse tippu selliselt, et materjal veereks alla mööda koonuse külgi, jaotuks ühtlaselt ja eri suurusega terad oleksid hästi segunenud. [6]

Kolmas koonus lamestatakse kühvli korduva vertikaalse sissesurumisega selle tippu, et moodustuks sileda pealispinnaga ühtlase läbimõõduga kuhil. [6]

Sile pealispind jagatakse ristuvate diagonaalidega kvadraatideks. Kaks vastastikust kvadraati eraldatakse ja ülejäänud antakse lattu. Segamist ja kvarteerimist korratakse senikaua, kuni saavutatakse määratletud katseproovi mass. [6]



Joonis 1. Proovi võtmine kvarteerimise teel [6]

2.4. Terastikulise koostise määramine

Terastikulise koostise määramine sooritatakse vastavalt standardile EVS-EN 933-1:2012 Täitematerjalide geomeetriliste omaduste katsetamine, Osa 1: Terastikulise koostise määramine, sõelanalüüs. [9] Materjali terastikuline koostis on vajalik saamaks teada, millise suurusega teradest materjal koosneb. Liivade puhul, mille terastikuline koostis jääb vahemikku 0/4, võib terastikuline

koostis erineda suurel määral, näiteks kas jääb 60 % materjalist 0,125 ja 0,25 mm sõelte vahele või jaotub materjal ühtlaselt kõigi sõelte vahel.

Terastikulise koostise määramiseks võetakse 0%-lise niiskusega (kuivast) materjalist proov (vajadusel kvarteerides), kirjutatakse üles proovi algmass ning seejärel valatakse katseproov sõelte. Vastavalt standardile EVS-EN 933-1:2012 kasutatakse järgmise ava mõõduga sõelu: põhi; 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6,3; 8; 12,5; 16; 31,5; 63; 90 mm.



Foto 1. EVS EN 933-1 puhul on kasutuses ruutavaga ja võrksõelad [Erakogu]

Killustike sõelumisel kasutatav sõelterida sõltub killustiku fraktsioonist (d/D) ning on seega küllaltki varieeruv. Alati on kasutusel 0,063 mm sõel, mis näitab peenosise sisaldust, reeglina on ka sõelad vastava fraktsiooni alumise (d) ja ülemise nimimõõtmega (D), võimalikult fraktsiooni väärtuste keskmine sõel ($D/2$) ning alumine mõõde jagatuna kahega ($d/2$). [9]

Katseproovi terakoostise määramiseks võetakse kuivast materjalist nõutava massiga katseproov ja registreeritakse algmass. Seejärel pestakse katseproov läbi 0,063 mm sõela kuni pesuvesi muutub puhtaks. Pestud proov asetatakse 110 ± 5 °C kuivatuskappi ning kuivatatakse konstantse massini. Kuivatatud katseproov kaalutakse ning valatakse ettenähtud sõelte. Sõelad asetatakse 10 minutiks sõelumiskappi. Peale seda kaalutakse kõigi sõelte peale jäänud materjali kogus eraldi ning kirjutatakse üles. Jagades saadud väärtused katseproovi algmassiga, saadakse vastavate sõelte vahele jäänud materjalikoguse protsent kogu katseproovist. Kontrolliks lahutatakse 100 %-st järjest maha saadud terastikulise koostise jagunemise protsentide väärtusi, tulemus peab olema $0 \pm 0,1$ %. [9]

2.5. Filtratsioonimooduli määramine Sojuz-Dornii meetodil

Filtratsioonimooduli määramine Sojuz-Dornii meetodil on akrediteerimata katse. Nimetatud katse on kõige lihtsam ning kiirem meetod saamaks umbkaudselt teada pinnase või materjali filtreerimisvõimet, kuid tegemist on siiski ebatäpse meetodiga. Katse teostamisel on materjali veesisaldus alati fikseeritud 5 või 6%-ga. Sellest tulenebki kirjeldatava meetodi umbkaudsus, kuna erinevad materjalid tihenevad etteantud veesisalduse juures küllaltki erineval tasemel. Kui materjali puhul ei suudeta saavutada piisavat tihendatust, jääb materjal filtratsioonitorus poorseks, katse käigus läbilastav vesi voolab kiiresti läbi materjali ning tulemuseks saadakse parem filtratsioonimooduli väärtus, kui konkreetne materjal reaalses olukorras tee konstruktsioonis olles vett läbi lasta suudab.

Katse käik

Filtratsioonimooduli määramine Sojuz-Dornii meetodil viiakse läbi järgnevalt: proovist, mida on kuivatatud kuivatuskapis 24 tunni vältel 110 ± 5 °C juures, võetakse katseproov. Katseproovi saamiseks segatakse proov hoolikalt ning sõelutakse läbi GOST standardi järgse (ümmargused sõelaavad) 5 mm avadega sõela umbes 1 kg materjali. Saadud 1 kg materjali segatakse veelkord ning võetakse katseprooviks täpselt 450 g materjali, millele lisatakse 5%-lise veesisalduse saavutamiseks 22,5 g puhast vett ($(22,5 / 450) * 100 = 5,0\%$). Niisutatud materjal segatakse hoolikalt ühtlase niiskuse saavutamiseni ning asetatakse seejärel eksikaatorisse, kus lastakse katseproovil seista vähemalt 20 minutit. [10]

Vähemalt 20 minuti möödudes võetakse katseproov eksikaatorist välja ning alustatakse materjali filtratsioonitorusse tihendamist. Niisutatud materjal segatakse veelkord ning tihendatakse filtratsioonitorusse kolme võrdse suurusega osa kaupa. Iga osa tihendatakse 25 filtratsiooni haamri löögiga. Jälgida tuleb, et haamer langeks alla täpselt vertikaalses asendis. Enne igat tihendustükki tuleb eelnev juba tihendatud materjali pealispind mõne millimeetri sügavuselt kobestada. Kobestamine on vajalik saavutamaks materjali ühtlast tihendatust ning homogeensust kogu filtratsioonitoru ulatuses. Viimase materjali osa tihendamisel kontrollitakse enne viimast kümnet lööki materjali kõrgust filtratsioonitorus. Ettenähtud kõrgus peab olema 100 ± 1 mm. Kõrgust kontrollitakse filtratsioonitoru ülaservast joonlauaga mõõtes (toru kogupikkus on 220 mm, seega peab joonlaua lugem olema 120 ± 1 mm). Kui kõrgus on vale, tuleb vastavalt materjali juurde lisamise või eemaldamisega saavutada nõutud kõrgus ning alles seejärel tihendada materjal viimase kümne haamrilöögiga. [10]

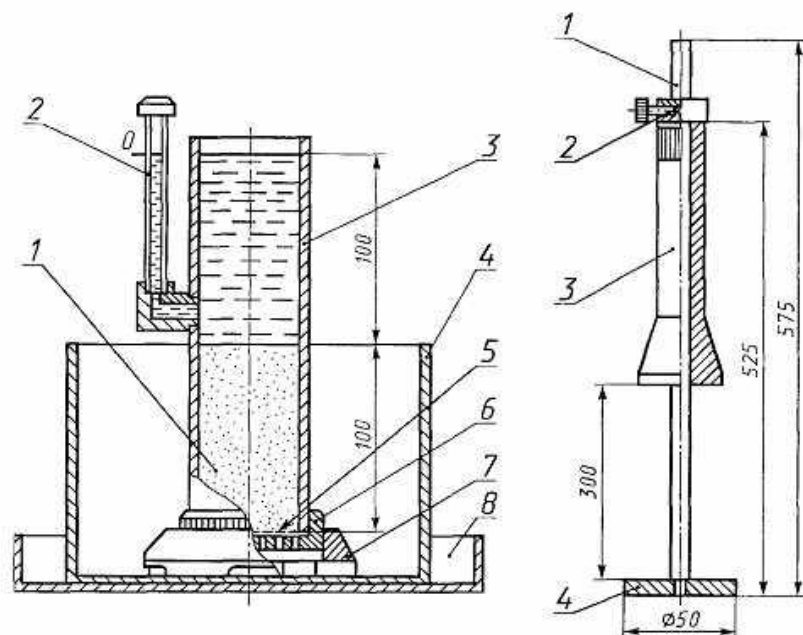
Tihendatud materjaliga filtratsioonitoru asetatakse veega täidetud anumasse materjali veega küllastumiseks. Veetaseme kõrgus anumal peab ületama filtratsioonitorus oleva materjali kõrguse. Toru asetamisel anumasse tuleb ka jälgida, et ei jääks õhumulli filtratsioonitoru alla, mis takistaks materjali veega küllastumist. Proovi hoitakse vee sees seni, kuni vesi on tõusnud filtratsioonitorus materjali pinnale. Veega küllastunud proov tõstetakse alusele ning lisatakse puhast vett torusse kuni toru ülemise servani. Seejärel vaadatakse visuaalselt filtratsioonitoru küljes olevat piesomeetrit, kui veetase torus langeb mõõtmise alustamist tähistava tähiseni, käivitatakse stopper ning mõõdetakse veetaseme langemise kiirus 3 cm ning 5 cm tähise juures. [10]

Vastavalt kahele saadud ajale arvutatakse materjali filtratsioonimoodul. Arvutamiseks teisendatakse mõlemad ajad sekunditeks. 3 cm puhul jagatakse etteantud arvvärtus 1408 saadud 3 cm veetaseme langemise ajaga ning 5 cm puhul jagatakse etteantud arvvärtus 2490 saadud 5 cm veetaseme langemise ajaga. Samal ajal mõõdetakse ka katses kasutatava vee tegelik temperatuur ning vastavalt temperatuuri parandusele korrutatakse saadud filtratsioonimoodulid temperatuuri paranduste väärtustega. Saades kaks filtratsioonimooduli väärtust, võetakse nendest kahest aritmeetiline keskmine ning saadud tulemus on materjali filtratsioonimoodul vastavalt Sojuz-Dornii meetodile. [10]

2.6. Filtratsioonimooduli määramine vastavalt GOST standardile

Filtratsioonimooduli määramine standardi GOST 25584-90 lisa 5 kohaselt viiakse alati läbi koos Proctor katsega. Proctor katse tuleb teostada saamaks teada katsetatava materjali optimaalset vee sisaldust, mille juures on võimalik saavutada materjali maksimaalne tihedus. Proctor katse teostatakse vastavalt standardile EVS-EN 13286-2:2010 Sidumata ja hüdrauliliselt seotud segud, Osa 2: Kuivtiheduse ja veesisalduse laboratoorse määramise katsemeetodid, Proctor-teim. Eelnevast tulenevalt selgubki GOST filtratsiooni erinevus Sojuz-Dornii meetodil filtratsioonimooduli määramisest. Kui Sojuz-Dornii meetodi puhul kasutatakse alati sama (5 või 6%) veesisaldust, siis GOST filtratsiooni puhul leitakse iga katseproovi optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivtihedus eraldi. Saavutades iga materjali puhul selle suurima võimaliku tiheduse filtratsioonimooduli määramisel, saadaksegi filtratsioonimooduli väärtuseks materjali minimaalne filtreerimisvõime.

Joonisel 2 on kujutatud filtratsioonimooduli määramisel kasutatav filtratsiooni seade, millesse kuuluvad filtratsioonitoru ning filtratsioonihaamer materjali tihendamise tarvis.



Joonis 2. Filtratsiooni seade, kasutatakse nii Sojuz-Dornii kui ka GOST filtratsiooni puhul [7]

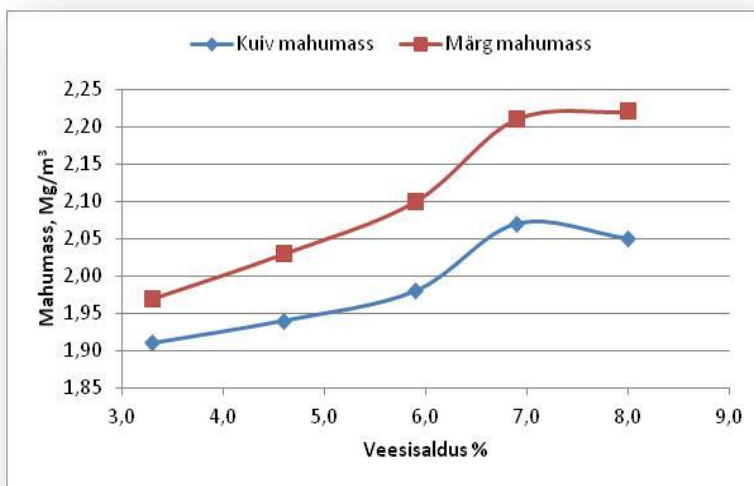


Foto 2. Proctor seade koos katsetulemuse graafilise väljundiga [Erakogu]

Katse käik

Filtratsioonimooduli määramine standardi GOST 25584-90 lisa 5 kohaselt eeldab, et teostatud on Proctor katse ning saadud tulemused materjali optimaalse veesisalduse ning maksimaalse tiheduse kohta. Filtratsioonimooduli määramise katse alustamiseks peab katsetatav materjal olema täielikult kuivatatud olekus. Selleks kuivatatakse materjali 24 tundi kuivatuskapis, mille temperatuur on 110

$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kuivatatud materjal sõelutakse läbi 5 mm avadega GOST standardi järgse sõela. Kvarteerimise meetodil võetakse proovist 450 g massiga katseproov. Katseproovile lisatakse puhas vett vastavalt Proctor katsest saadud optimaalse veesisalduse saavutamiseks vajalikust kogusest. Näiteks, kui materjali maksimaalne tihedus saavutatakse 12%-se veesisalduse juures, saadakse kuivale materjalile lisatav veehulk $450\text{ g} * 12\% = 54,0\text{ g}$. Vajalik veekogus lisatakse materjalile ning segatakse hoolikalt. Katseproov asetatakse eksikaatorisse ning lastakse seista vähemalt 2 tundi. [7]

Peale vähemalt 2 tunnist seismist eksikaatoris, võib hakata niisutatud materjali tihendama filtratsioonitorusse. Ühest katseproovist tehakse kolm osaproovi. Iga osaproovi puhul arvutatakse vastavalt toru mõõtmetele eraldi välja niisutatud materjali kogus, mis vastaks 100 mm materjalile torus. Vajalik materjali kogus arvutatakse järgmise valemiga:

$$m_1 = (1 + w_0) * \rho_{dmax} * V \quad (3)$$

kus,

- m_1 – vajalik niisutatud materjali kogus;
- w_0 – materjali optimaalne veesisaldus;
- ρ_{dmax} – materjali maksimaalne kuivtihedus;
- V – filtratsioonitoru 100 mm pikkuse osa ruumala. [7]

Näiteks, kui materjali optimaalne veesisaldus on 12 %, materjali maksimaalne kuivtihedus 1,72 Mg/m³ ning filtratsioonitoru läbimõõt 50,3 mm, saadakse vajalik niisutatud materjali kogus:

$$V = \frac{50,3}{2} \text{ cm} * \pi * 10 \text{ cm} = 198,7 \text{ cm}^3;$$

$$m_1 = 1,12 * 1,72 \text{ Mg/m}^3 * 198,7 \text{ cm}^3 = 382,8 \text{ g}.$$

Vajaminev materjali kogus jaotatakse kolmeks võrdse suurusega osaks. Iga osa tihendatakse 40 filtratsioonihaamri löögiga. Enne teise ja kolmanda osa tihendamist tuleb eelnevalt tihendatud osa pealispind umbes 1 mm sügavuselt kobestada. Kobestamine on vajalik selleks, et säiliks materjali homogeensus filtratsioonitorus. Peale kõigi kolme osa tihendamist kontrollitakse materjali kõrgust torus, mis peab olema 100 ± 1 mm. Kui materjali kõrgus ei vasta lubatule, kirjutatakse saadud kõrgus üles ning hiljem filtratsioonimooduli arvutamisel kasutatakse materjali tegelikku kõrgust. [7]

Peale iga filtratsioonitoru tihendamist tuleb võtta niisutatud materjalist proov veesisalduse määramiseks. Selleks võetakse umbes 5 cm läbimõõduga tops, kaalutakse tops tühjalt ning seejärel niiske materjaliga täidetult. Peale 24 tunni vältel kestnud kuivatamist 110 ± 5 °C juures, kaalutakse tops koos kuiva materjaliga. Saadud väärtustega arvutatakse välja täpne veesisaldus osaproovis. [7]

Näide: tühi tops kaalub 24,7 g, tops koos niiske materjaliga kaalub 66,8 g ning tops koos kuiva materjaliga kaalub 60,2 g. Veesisaldus antud lähteandmetega arvutatakse järgnevalt:

$$w = \frac{66,8-60,2}{60,2-24,7} * 100 = 18,6 \%$$

Tihendatud materjaliga filtratsioonitorud asetatakse anumasse, kus veetase peab olema kõrgem kui on materjali ülemine serv filtratsioonitorus. Torude paigutamisel vette tuleb jälgida, et toru alla ei jääks õhumulli, mis takistaks vee juurdepääsu. Osaproovidel lastakse veega küllastuda seni, kuni vesi on tõusnud torudes materjali peale. Peale veega küllastumist hakatakse mõõtma veetaseme langemise kiirust. Enne mõõtma asumist mõõdetakse ka kasutatava vee tegelik temperatuur ning kirjutatakse katse registreerimislehele. Antud väärtusega arvutatakse välja temperatuuri parandus valemiga:

$$T = 0,7 + 0,03 * T_f$$

(4)

kus,

- T – temperatuuri parandus;
 - T_f – mõõdetud tegelik vee temperatuur.
- [7]

Veetaseme langemise kiirust mõõdetakse visuaalselt filtratsioonitoru külge kinnitatud piesomeetri ning stopperiga. Vastavalt materjali omadustele (hästi või halvasti filtreeruv) valitakse veetaseme langemise pikkuse väärtus, mis peab jääma vahemikku 0,5 cm ja 5 cm. Väga halvasti drenivate materjalide puhul valitakse veetaseme langemise pikkuseks 0,5 cm, kuna pikema aja mõõtmine ei ole mõistlik. Optimaalne on valida selline pikkus, mille puhul veetaseme langemise kiirus jääb 10 minuti lähedale. Olles välja valinud veetaseme langemise pikkuse, näiteks 3 cm, hakatakse veetaseme langemise kiirust mõõtma. Kõigi kolme osaproovi puhul mõõdetakse veetaseme langemise aega 4 korda. Üldjuhul saadakse need neli ajalist väärtust suhteliselt sarnased, kuid liiga suure erinevuse korral tehakse veel 1-2 mõõtmist ning vajadusel, kui näiteks osaproovid teineteisest olulisel määral erinevad, ka lisaks osaproove. Filtratsioonimooduli määramisel võetakse arvesse

siiski kolm kõige enam ühtivat osaproovi. Iga osaproovi puhul arvutatakse välja veetaseme langemise kiiruse keskmine väärtus ning kolme osaproovi keskmistest näitajatest võetakse omakorda keskmine, millega arvutatakse välja materjali filtratsioonimoodul. Filtratsioonimoodul arvutatakse välja järgmise valemiga:

$$K_{10} = \frac{\frac{h}{t} * \phi * (\frac{S}{h_0}) * 864}{T}$$

(5)

kus,

- h – materjali kõrgus filtratsioonitorus sentimeetrites;
 - t – kolme osaproovi veetaseme languse kiiruse keskmine väärtus sekundites;
 - 864 – konstant;
 - ϕ – ühikuta koefitsent, määratakse Lisa 2 tabeli põhjal;
 - S – veetaseme langemise kõrgus;
 - h_0 – veetaseme kõrgus mõõdetuna piesomeetri 0-st veeanuma servani (veepiirini);
 - T – temperatuuri parandus;
 - K_{10} – materjali filtratsioonimoodul, m/ööp.
- [7]

Ühikuta koefitsent ϕ tähendab, et filtratsioonimooduli arvutamisel võetakse arvesse hüdrauliline gradient. Kui filtratsioonitoru on tavalise aluse peal, on hüdrauliline gradient 2, kuna veetase peab langema 20 cm ulatuses. Alternatiivne variant on asetada filtratsioonitoru veega täidetud nõusse nii, et nõus olev veetase oleks samal kõrgusel materjali kõrgusega filtratsioonitorus. Sellisel juhul on veetaseme langemise kõrgus 10 cm ning hüdrauliline gradient vastavalt 1. [7]

2.7. Peamised filtratsioonimooduli määramise meetodikate erinevused

Kuni praeguse ajani on Eestis peamiselt kasutusel olnud kaks filtratsiooni meetodikat: Sojuz-Dornii ja GOST 25584-90 (Lisa 5) meetod. Nimetatud kahe meetodi võrdlemiseks on koostatud tabel 2.

2013. aasta detsembris anti välja ka Eesti oma rahvuslik filtratsioonimooduli määramise standard EVS 901-20, kuid kuna praktilist kasutuskogemust veel väga palju ei ole, on lõputööst antud meetodika välja jäänud. Üldiselt on antud standard üles ehitatud GOST 25584-90 lisa 5 alusel ja seda korrigeeritud.

Tabel 2

Filtratsioonimooduli määramise meetodikate erinevused

	Sojuz-Dornii meetod	GOST 25584-90 lisa 5
Veesisaldus	5% või 6%	Optimaalne veesisaldus
Tihedusaste torus (võrreldes maksimaalse mahumassiga)	Nõutud tihedusaste puudub	1,00
Löökide arv	3 x 25 lööki	3 x 40 lööki
Katsetorude arv	1 katsetoru (1 mõõde)	3 katsetoru (4 mõõdet)
Eelkatse	Puudub	Proctor

3. TERASTIKULISE KOOSTISE MÕJU FILTRATSIOONIMOODULILE

Kuna terastikuline koostis võib erinevate materjalide puhul varieeruda väga laias ulatuses, tähendab see suuri erinevusi ka filtreerimisvõimete vahel. Teoreetiliselt lähenedes: mida suuremal määral sisaldab materjal peenosiseid (alla 0,063 mm), seda väiksem on selle filtreerimisvõime. Uuringutest on aga jäänud välja osa, mis käsitleb konkreetse materjali filtreerimisvõime muutust peale peenosiste või ka suuremate terade (näiteks alla 0,2 mm) eemaldamist materjalist.

3.1. Varasemad uuringud

2013. aastal on Tallinna Tehnikaülikooli (edaspidi TTÜ) Teedeinstituut koostanud uurimustöö „Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismeetodite teaduslik võrdlusuuring ja otstarbeka katsemeetodi standardiseerimine ning Teedeala standardimistegevuse koordineerimine ja osalemine Eurostandardite väljatöötamisel“. [11] Nimetatud uurimustöö lepingu põhitäitja on teede ja liikluse teadus- ja katselaboratooriumi juhataja hr. Ott Talvik. Käesoleva uurimustöö iseloomustamiseks on kasutatud TTÜ-s koostatud uurimustöö seda osa, mis käsitleb otseselt terastikulist koostist ning selle mõju hindamist materjali filtreerimisvõimele.

Järgnevalt analüüsib autor TTÜ uurimustöö punkti 3.4 Filtratsioonimooduli ja pinnase peenosiste sisalduse seos.

„Filtratsioonimooduli väärtusele omavad suurt mõju peenmõlli ($<0,006$ mm CEN ISO/TS 17892-4:2004 järgi) ja saueosiste ($<0,002$ mm) sisaldused. Erinevaid proove võrreldes võib siiski öelda, et mõlli ja saueosised ainuüksi ei ole määravad, kuna nii drenivatel kui vähem drenivatel proovidel esineb sarnaseid peenmõlli ja saueosiste sisaldusi. Pigem võib järeldada, et peenliiva ($< 0,2$ mm) ja erineva suurusega mõlli ($< 0,06$ mm) osiste sisalduse omavahelises kombinatsioonis tekib selline terakoostis, mis vähendab pinnase filtratsioonivõimet. Kui täpsemalt vaadata eespool nimetatud peenemate osiste sisaldust esitatud tabelis, siis on märgata filtratsioonimooduli olulist vähenemist mõlli (peenosise) sisalduse korral üle 3% (tähistatud sõõridega). Samas on näha nii graafikult kui

tabelist, et mõnikord võib sarnase lõimisega pinnas anda katsetamisel üsna erinevaid filtratsioonimooduli väärtusi – näiteks võrreldes Luige drenkihi jämeliiva (0,67 m/ööp) ja Kolleri karjääri keskliiva (2,3 m/ööp), mille lõimised kuni 2 mm terasuuruseni on väga sarnased. Seejuures on Kolleri karjääri keskliiva mölli sisalduseks määratud 2,9%. Lühidalt öeldes võib GOST 25584 lisa 5 alusel mitte drenivate omadustega materjaliks määratud pinnas olla väga erineva lõimisega.“ [11:14]

Tabel 3

Terastikulise koostise ja filtratsioonimooduli (GOST) tabel [11:14]

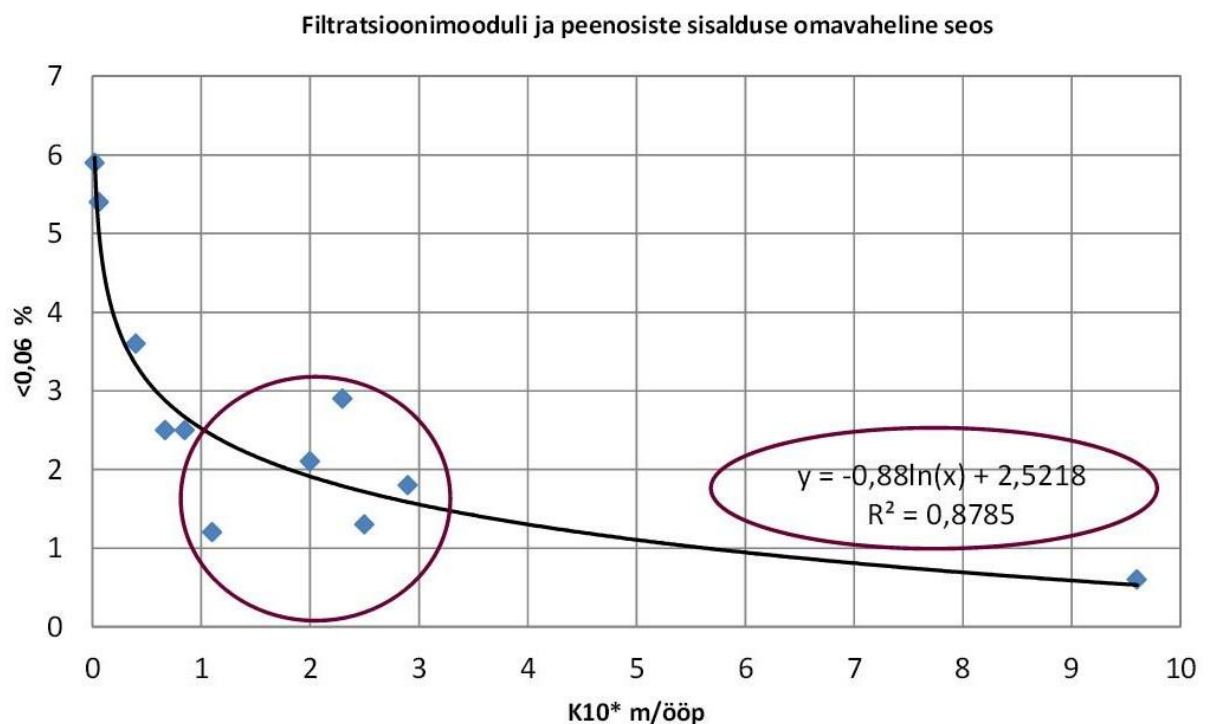
Koht	Pinnas	<0,2	<0,1	<0,06	<0,02	<0,006	<0,002	K* ₁₀
	EVS 1997-1:2003	%	%	%	%	%	%	m/ööp
Männiku karjäär, sõelutud liiv	keskliiv	2,7	0,9	0,6	0,4	0,3	0,2	9,6
Karjaküla karjäär, sõelutud liiv	kruusaga keskliiv	17,4	5,6	2,1	1,1	0,7	0,5	2,0
Kalda karjäär, sõelutud liiv	rohke kruusaga keskliiv	30,6	12,3	3,6	1,8	1,0	0,6	0,40
Luige liiklussõlm, drenkiht, jämeliiv	kruusaga jämeliiv	8,4	5,4	2,5	1,5	0,9	0,5	0,67
Ropka (Aardlapalu) II, sõelutud jämeliiv	kruusaga keskliiv	30,2	8,2	1,2	1,0	0,4	0,2	1,1
Ropka (Aardlapalu) I, peentliiv	peentliiv	71,0	14,8	1,8	1,1	0,9	0,5	2,9
Krüüdneri (Kalda) karjäär, veeristega liiv	kruusaga keskliiv	14,5	4,4	1,3	0,9	0,6	0,2	2,5
Jaani-Hansi karjäär, sõelutud liiv	kruusaga keskliiv	33,5	8,6	2,5	1,7	1,2	0,7	0,85
Kolleri karjäär, sõelutud liiv	kruusaga keskliiv	8,8	5,2	2,9	1,9	1,2	0,5	2,3
Nogopalu II, veeristega liiv	kruusaga savikas keskliiv	32,5	13,5	5,9	3,3	2,0	1,2	0,02
Nogopalu I, veeristega liiv	kruusaga savikas keskliiv	27,0	13,9	5,4	3,2	2,4	1,3	0,06

Tabelist 3 nähtub, et kui peenosiste sisaldus pinnases on üle 3%, ei suuda see pinnas vett enam nõutaval tasemel läbi lasta. Samas vaadates Luige liiklussõlme drenkihi liiva, siis juba 2,5%-lise peenosiste sisalduse juures on selle liiva filtratsioonivõime kõigest 0,67 m/ööp, sama kehtib ka Jaani-Hansi karjääri sõelutud liiva kohta (2,5% peenosist, filtratsioonimoodul 0,85 m/ööp).

Huvitava nüansina soovib autor välja tuua Männiku karjääri sõelutud liiva ja Ropka II karjääri sõelutud jämeliiva võrdluse. Nimelt saavutab Männiku karjääri liiv 0,6% -lise peenosiste sisalduse juures filtratsioonimooduliks lausa 9,6 m/ööp, samas kui Ropka karjääri liiva filtratsioonimoodul jääb 1,2%-lise peenosiste sisalduse juures kõigest 1,1 m/ööp juurde. Siinkohal tuleb jälgida

terastikulise koostise jagunemist peenosisest ülalpool. Männiku karjääri liiva puhul on 0,1 mm sõela läbind 0,9% ning 0,2 mm sõela läbind 2,7 %, ehk valdav osa proovist ($100 - 2,7 = 97,3\%$) jääb 0,2 mm sõela peale. Ropka karjääri liiva puhul on vastavad numbrid aga märgatavalt erinevad: 0,1 mm sõela läbind on 8,2% ning 0,2 mm sõela läbind juba 30,2%. Järelikult jääb 0,2 mm sõela peale kõigest 69,8% proovist, ehk tegemist on palju peenema liivaga kui Männiku karjääri liiva puhul. Suure tõenäosusega saabki niivõrd suur peenemate liivaterade osakaal materjalis määravaks filtreerimisvõime puhul.

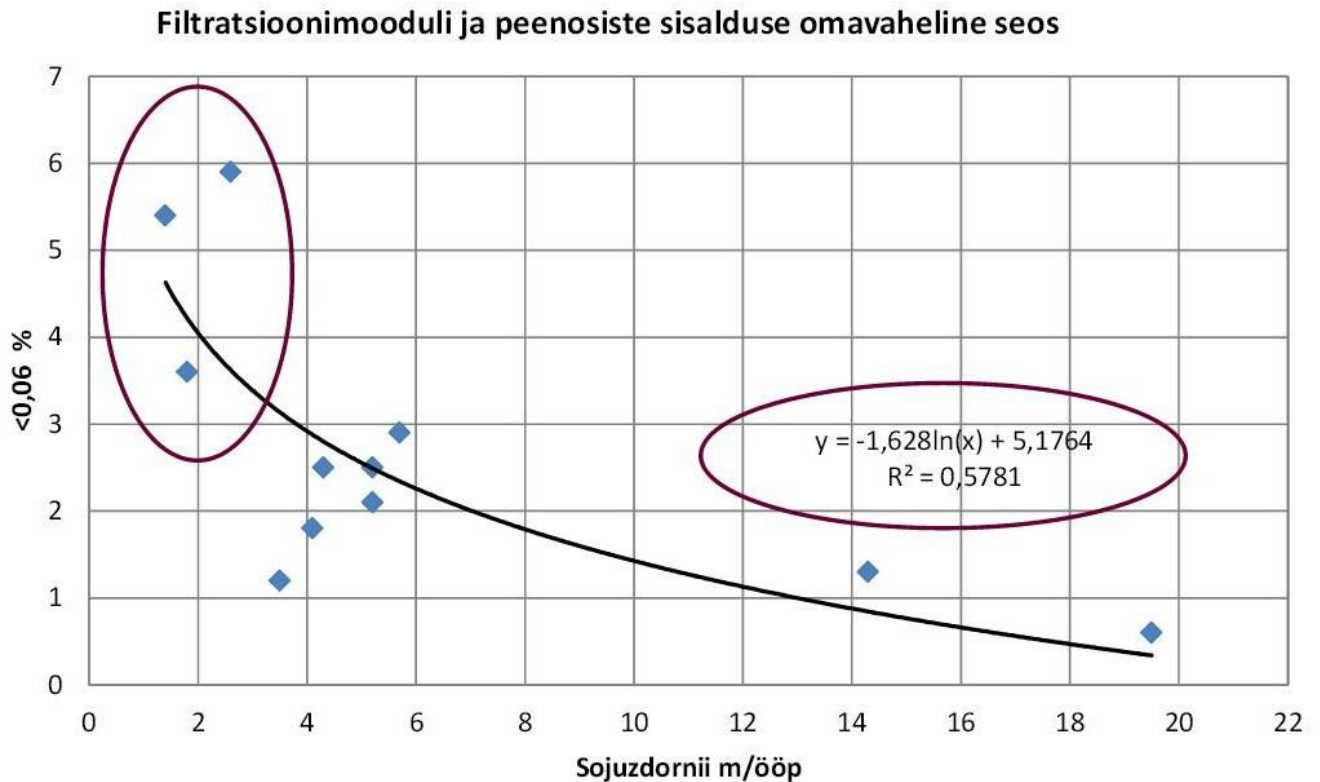
TTÜ uurimustöös on koostatud ka maksimaalse tiheduseni tihendatud pinnaseproovide filtreerimisvõime seose graafiku. Graafiku vasakus servas suunaga alt üles on näidatud pinnase peenosiste (alla 0,063 mm) sisaldus, graafiku alumises servas aga filtratsioonimooduli väärtused. Kirjeldatud graafik on tähistatud Graafik 1-na.



Graafik 1. Filtratsioonimooduli (GOST) ja peenosiste sisalduse omavaheline seos [11:15]

Graafik 1 ilmestab hästi, kuidas juba 3% juurde küündiv peenosiste sisaldus viib pinnase filtratsioonimooduli alla 1 m/ööp. Samas aga tekitab kahtlusi graafiku alumine osa, kus pisut rohkem kui 1%-lise peenosiste sisalduse juures on filtratsioonimoodul 3 kuni isegi 10 korda väiksem kui pisut vähem kui 1 %-lise peenosiste sisalduse juures. Tõenäoliselt saab määravaks siiski ka ülejäänud materjali terastikuline koostis, ehk mitte ainult peenosiste sisaldus.

TTÜ uurimustöö raames on koostatud ka teine graafik, mis iseloomustab samuti filtratsioonimooduli sõltuvust peenosiste sisaldusest, kuid siinkohal on kasutatud filtratsioonimooduli määramiseks Sojuz-Dornii meetodit, ehk kindlal veesisaldusel (5 või 6%) tihendatud proove. Kirjeldatud graafik on tähistatud Graafik 2-na.



Graafik 2. Filtratsioonimooduli ja peenosiste sisalduse omavaheline seos [11:15]

Erinevalt maksimaalse tiheduseni tihendatud pinnaseproovidest, saadakse Sojuz-Dornii meetodiga samadest pinnastest oluliselt paremad filtratsioonimooduli väärtused. Ilmselt ei saavutata pinnase piisavat tihedust filtratsioonitorus ning seetõttu saadakse ka nii head tulemused. Kui eelmise graafiku põhjal oli peenosiste sisalduse kriitiline piir 3% juures, siis Sojuz-Dornii meetodi puhul näivad 3%-lise peenosiste sisaldusega materjalid alles väga hästi teede ehitamisel kasutatavad (4-6 m/ööp).

6%-lise peenosiste sisalduse juures näitas maksimaalse tiheduseni tihendatud proov nullilähedast filtreerimisvõimet (0,02 m/ööp), kuid kindlal veesisaldusel tihendatud proov andis tulemuseks pisut üle 2 m/ööp. Selle konkreetse katse põhjal võib järeldada, et siiani (enne GOST filtratsiooni nõuet) on võidud teede ehitamisel kasutada selleks täiesti mittesobivaid pinnaseid või materjale. Näiteks Männiku karjääri liiv, mis maksimaalse tiheduse juures saavutas filtratsioonimooduli 9,6 m/ööp,

näitab Sojuz-Dornii meetodi puhul filtreerimisvõimeks üle 19 m/ööp, mis on ligi kaks korda kõrgem tulemus.

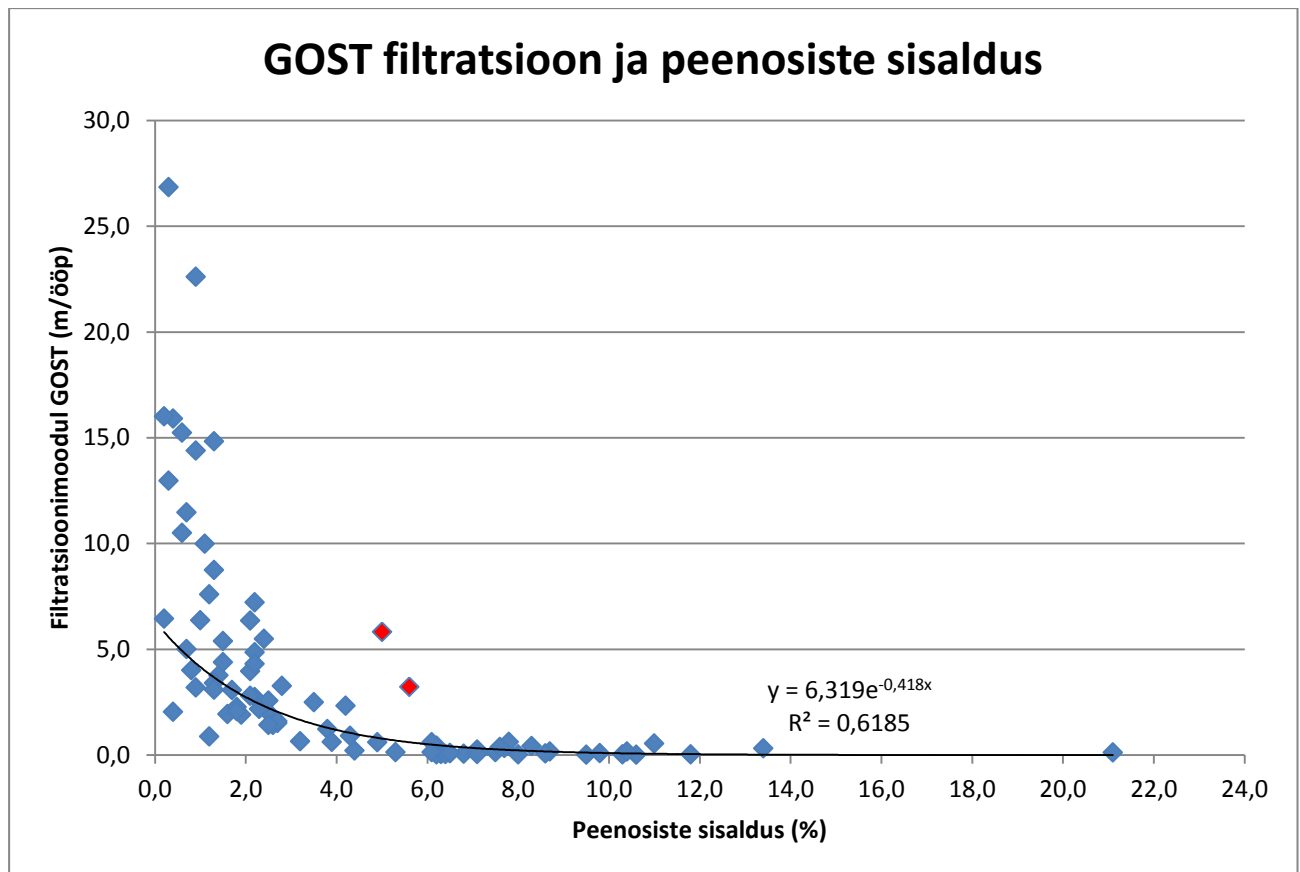
Ilmselt tuleks edaspidi Sojuz-Dornii meetodil filtratsioonimooduli määramisest hoiduda, kuna meetod on liiga ebatäpne. Suurematel teehitusobjektidel võib ehitaja küll kehvemat materjali kasutades väga palju raha kokku hoida (sest nõutud filtratsioonimoodul oleks justkui olemas), kuid suure tõenäosusega tuleb mõne hiljemalt mõne aasta möödudes tee kapitaalselt remontida.

3.2. Erinevate materjalide võrdlus

Seoses terastikulise koostise väga suure mõjuga materjali filtratsioonimoodulile, analüüsib autor erinevate materjalide terastikulist koostist (sh. peenosiste sisaldus) ning vastava materjali GOST standardi järgse filtratsioonimooduli kasvu või kahanemise seost. Lisaks toob autor välja GOST standardi järgselt määratud filtratsioonimooduli ning Sojuz-Dornii meetodil määratud filtratsioonimooduli võrdlused. Täiendavalt on võimalik analüüsida ka ülejäänud terastikulise koostise mõju, ehk mitte piirduda ainult peenosiste sisalduse mõju hindamisega.

Kõik järgnevas analüüsis esinevad andmed on saadud Teede Tehnokeskus AS arhiivist juhuvaliku teel, kokku on analüüsis esindatud 87 materjali/pinnase andmed. Iga analüüsitava materjali kohta on teada selle täpne terastikuline koostis, peenosiste sisaldus ning GOST filtratsiooni tulemus, umbes pooltel materjalidel on teada ka Sojuz-Dornii meetodil määratud filtratsioonimoodul. Kõik kogutud andmed on anonüümsed ning neid ei saa seostada ühegi reaalselt eksisteeriva karjääri või ettevõttega. Materjalidest on esindatud veeristikulised ja kruusased pinnased, kruusliivad, jämeliivad, keskliivad, peenliivad ja tolmliid. Analüüs hõlmab nii kõiki materjale koos kõrvutades kui ka erinevate materjali gruppide kaupa võrrelduna. Terakoostise põhjal andis autor kõigile materjalidele ka nimetused vastavalt standardi GOST 25100-95 tabelile B.10. Kuigi kogutud andmetes on terastikuline koostis määratud vastavalt Euroopa (EN) standardile, siis selle tõttu võttis autor materjali nimetuse määramisel GOST standardi 10 mm sõela asendajaks EN standardi 8 mm sõela ning GOST standardi 0,1 mm sõela asendajaks EN standardi 0,125 mm sõela.

Esmajoones analüüsib autor GOST filtratsiooni ja peenosiste sisalduse seost erinevate materjalide vahel. Selle tarbeks on koostatud graafik, mille horisontaalteljel on kujutatud materjali/pinnase peenosiste (alla 0,063 mm) sisaldus (%) ning vertikaaltejel materjali/pinnase GOST standardi järgi määratud filtratsioonimoodul (m/ööp). Graafik hõlmab kõigi kogutud materjalide/pinnaste andmeid. Kirjeldatud joongraafik on tähistatud Graafik 3-na.

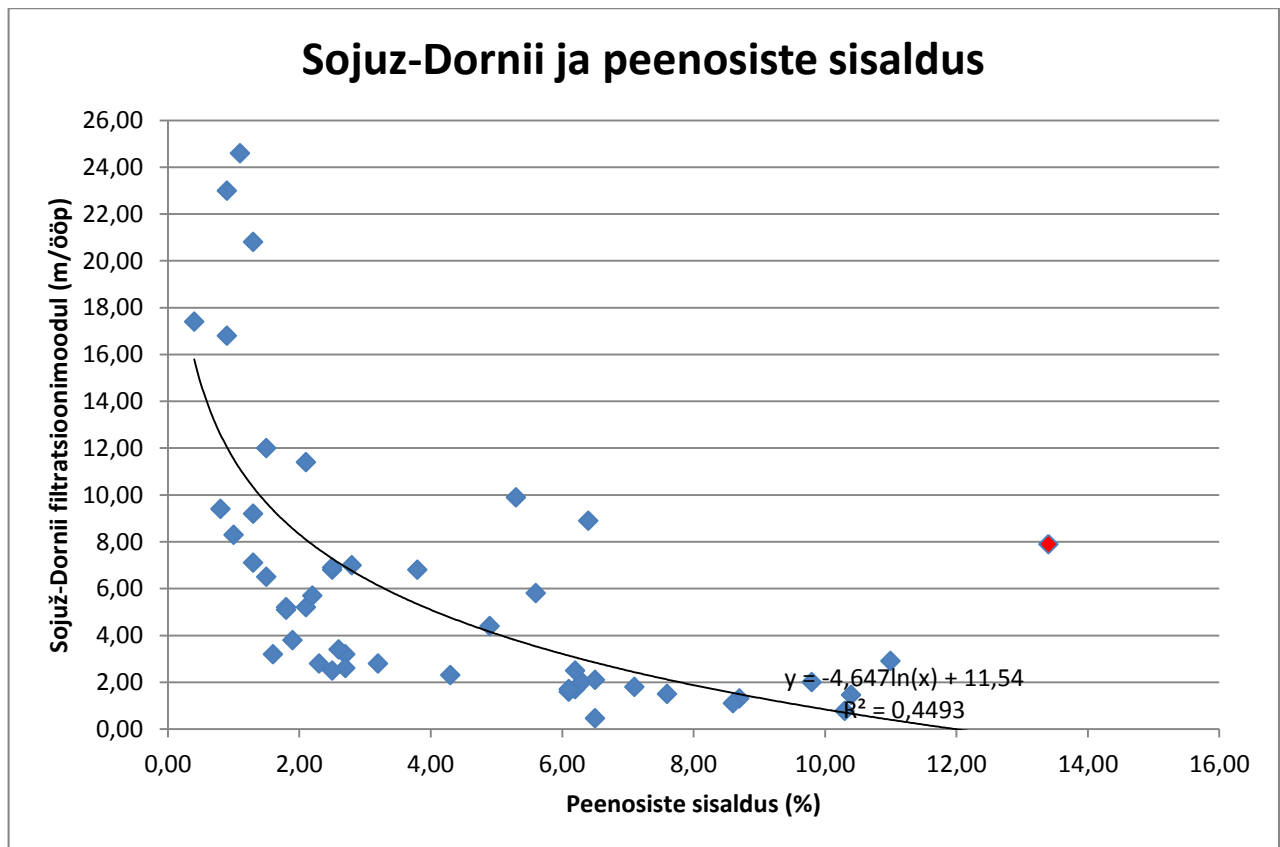


Graafik 3. GOST filtratsioon ja peenosiste sisaldus

Ülalolevalt graafikult nähtub, et kui peenosiste sisaldus materjalis ületab 3% piiri, langeb materjali filtreerimisvõime alla 1 m/ööp. Alates 6%-lisest peenosiste sisaldusest muutub materjalide filtreerimisvõime nullilähedaseks. Korrelatsioonikordaja R näitab, et graafikul esitatud andmed on omavahel keskmises seoses, ehk oluliselt keskmisest väärtusest erinevaid väärtusi andmetes ei esine.

Kaks punkti graafikul aga ei ühti üldise tendentsiga (graafikul tähistatud punasega). Materjalid, mille peenosiste sisaldus on 5,0 ja 5,6% omavad filtratsioonimooduli väärtust vastavalt 5,83 ja 3,23 m/ööp. Esimese materjali puhul on tegu jämeliivaga, teise puhul keskliivaga. Jämeliiva terastikulise koostise analüüsist selgub, et 74% materjalist jääb 0,5 mm sõela peale. Järelikult on tegu küllaltki suure teralise poorse materjaliga. Selgub ka, et fraktsiooni 0,063/0,125 on materjalis väga minimaalses koguses (alla 1%). Võib oletada, et see ongi suure filtratsioonimooduli väärtuse põhjuseks. Keskliiva puhul jääb 75% materjalist 0,25 mm sõela peale ning fraktsiooni 0,063/0,125 sisaldus materjalis on 4,4%. Selle tõttu on ka filtratsioonimoodul ainult 3,23 m/ööp, kuid 5,6%-lise peenosiste sisalduse juures siiski märkimisväärselt kõrge.

Järgnevalt on autor koostanud graafiku Sojuz-Dornii meetodil määratud filtratsioonimooduli ja peenosiste sisalduse omavahelise seose võrdlemiseks. Graafiku horisontaalteljel on kujutatud materjali peenosiste sisaldus (%) ning graafiku vertikaalteljel on kujutatud Sojuz-Dornii meetodil määratud filtratsioonimooduli väärtused (m/ööp). Graafik on tähistatud graafik 4-na ja hõlmab kõiki kogutud materjale, millede puhul on teada Sojuz-Dornii filtratsioonimoodul.



Graafik 4. Sojuz-Dornii filtratsioon ja peenosiste sisaldus

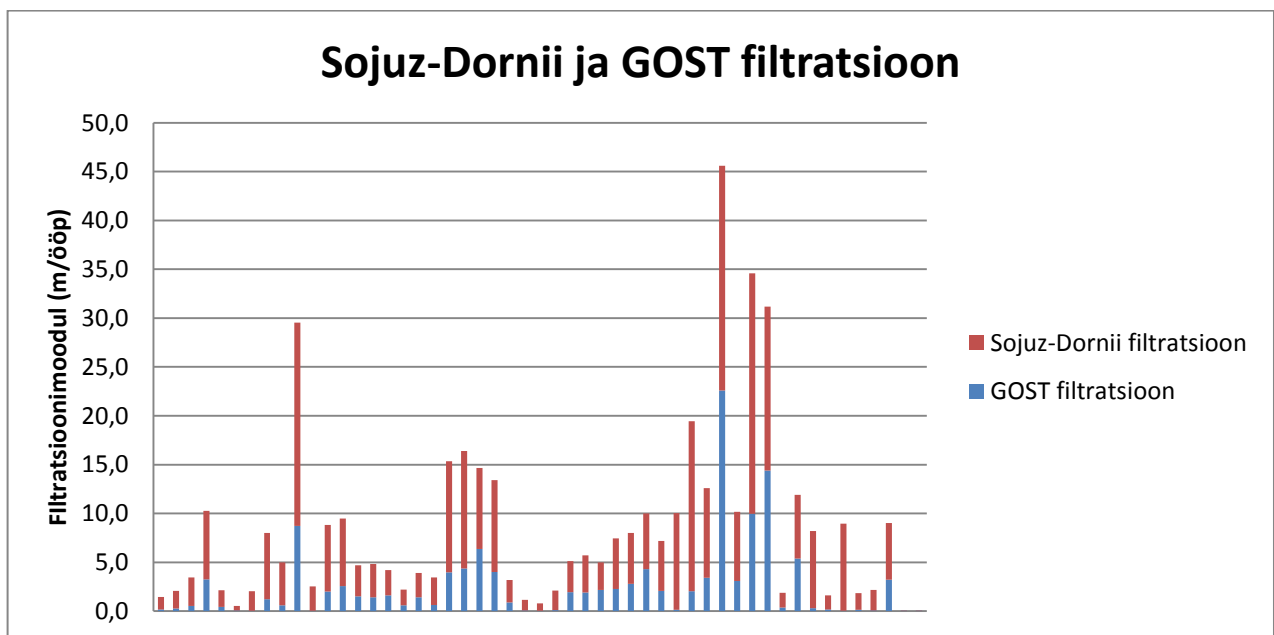
Ülalolevalt graafikult nähtub, et erinevalt GOST filtratsioonist, hakkavad Sojuz-Dornii filtratsiooni puhul kehvemaid tulemusi (alla 2 m/ööp) näitama alles 6% peenosiste sisaldusega materjalid ning isegi sellisel juhul võib filtratsioonimoodul olla alles teede ehituses lubatust suurema väärtusega. Graafiku korrelatsioonikordaja R väärtus 0,0376 näitab aga, et analüüsitavad andmed on väga nõrgas omavahelises seoses.

Peaaegu kõik punktid graafikul koonduvad siiski keskmise joone lähedusse, kuid üks punkt on märkimisväärselt eemal (graafikul tähistatud punasega). Tegu on tolmliivaga, mille peenosiste sisaldus on 13,4% ja filtratsioonimoodul 7,9 m/ööp. Selle materjali puhul jääb 0,25 mm sõelale vaid 1% suurune osa, fraktsiooni 0,125/0,25 mm on 43% ning fraktsiooni 0,063/0,125 on materjalis 42%. Siinkohal võib tegu olla liiga peene materjaliga Sojuz-Dornii meetodi jaoks. Nimelt võib 5%

veesisaldusega proovi filtratsioonitorusse tihendades materjal jääda liiga ebatihedaks. Sama materjali GOST filtratsioonimoodul on 0,31 m/ööp. Ilmselt on katse käigus materjal tihendatud palju efektiivsemalt ning seega saadud ka reaalne filtratsioonimoodul. Võrreldes konkreetse näite puhul GOST ja Sojuz-Dornii filtratsiooni on kahe meetodi vahe isegi rohkem kui 25 kordne. Loomulikult

on see ekstreemne variant ja ei ole ülekantav kõigile materjalidele, kuid selline erinevus on siiski olemas.

Järgnevalt on koostatud graafik, millel on välja toodud GOST filtratsiooni ja Sojuz-Dornii filtratsiooni võrdlus. Graafiku vertikaalteljel on kujutatud filtratsioonimooduli väärtused (m/ööp). Sinine värv graafikul tähistab GOST filtratsiooni väärtuseid ning punane värv tähistab Sojuz-Dornii filtratsiooni väärtuseid.

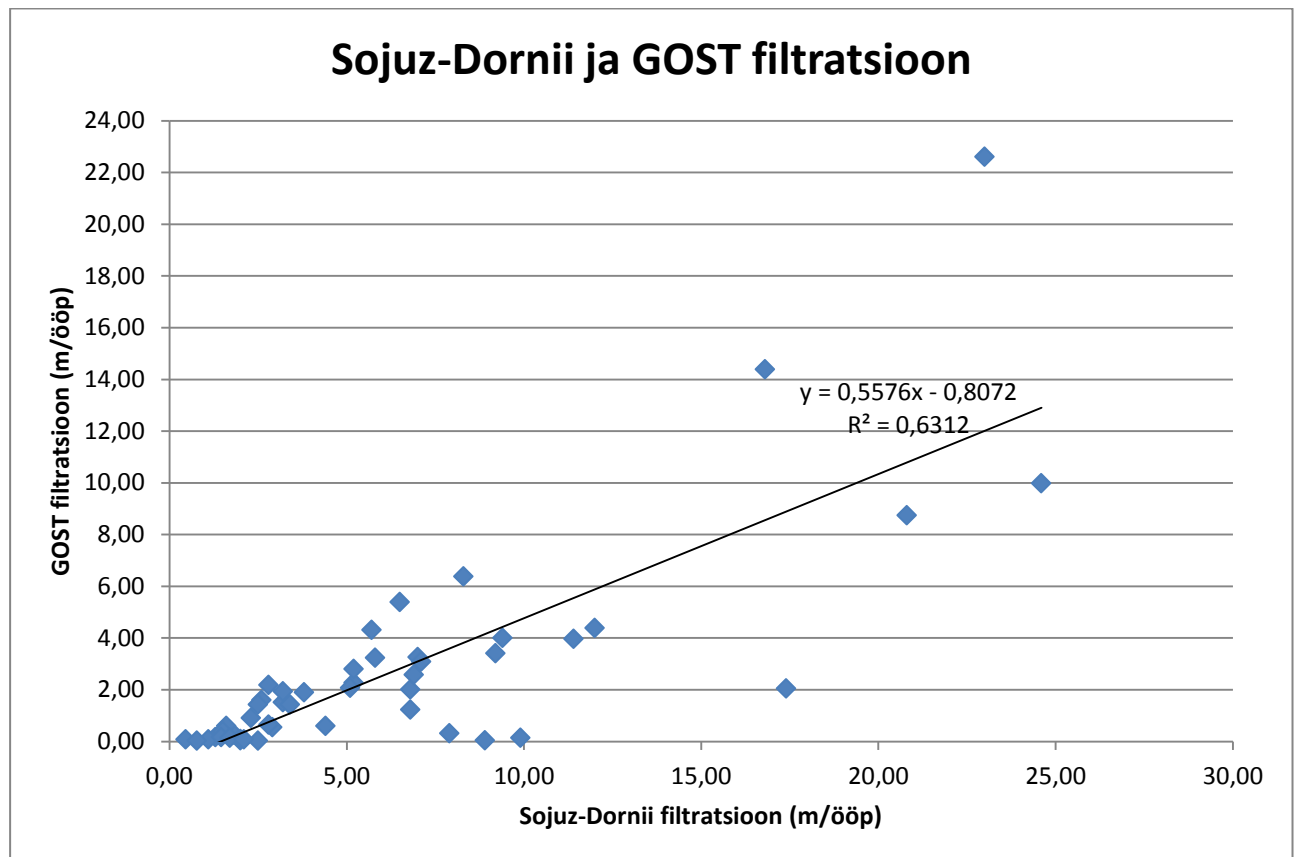


Graafik 5. Sojuz-Dornii ja GOST filtratsioon

Ülaloleva graafiku järgi võib väita, et üldjoontes Sojuz-Dornii filtratsioon kopeerib GOST filtratsiooni. Loomulikult näitab Sojuz-Dornii filtratsioon oluliselt paremaid tulemusi. Siinkohal saab määravaks materjali tihendamine filtratsioonitorusse, sest Sojuz-Dornii puhul tehakse tihendamine alati 5 või 6%-lise veesisalduse juures, kuid GOST filtratsiooni puhul leitakse alati enne filtratsioonimooduli määramist konkreetse materjali maksimaalne kuivtihedus ja optimaalne veesisaldus. Just viimase kahe tulemuse põhjal tihendataksegi materjal filtratsioonitorusse ning saadakse maksimaalselt tihendatud materjal. Kui hästi filtreeruvate materjalide puhul ei ole enam väga määrav, kas filtratsioonimoodul on 5 või 10 m/ööp, siis GOST filtratsiooni järgi halvasti

drainivate materjalide kohta annab Sojuz-Dornii veel teede ehituses kasutatavale materjalile lubatud filtratsioonimooduli väärtuseid.

Samuti on kahe filtratsioonimooduli määramise meetodika võrdlemiseks koostatud graafik, millel on võrreldud kahe meetodika erinevust. Graafiku horisontaalteljel on kujutatud Sojuz-Dornii filtratsiooni väärtused ning graafiku vertikaalteljel on kujutatud GOST filtratsiooni väärtused. Graafik on tähistatud graafik 6-na.



Graafik 6. Sojuz-Dornii ja GOST filtratsioon

Ülaloleva graafiku puhul võib korrelatsioonikordaja R põhjal väita, et kahe filtratsioonimooduli määramise meetodika tulemuste vahel valitseb tugev seos. Loomulikult näitab aga Sojuz-Dornii filtratsioon oluliselt paremaid tulemusi. Näiteks materjalid, mis Sojuz-Dornii meetodi puhul omavad filtratsioonimoodulit kuni 5 m/ööp, ei ületa neist ühegi puhul GOST filtratsioon 2 m/ööp.

Nagu selgus uurimustöö eelnevas alapeatükis analüüsitud TTÜ uurimustööst, siis tuleb ka käesoleva graafiku puhul tõdeda, et Sojuz-Dornii meetodil filtratsioonimooduli määramine võib kohati anda väga ebatäpseid tulemusi materjali kohta ning sellist ebatäpsust tänapäevases teedehituses enam olla ei tohiks.

Anlүүsides sama materjali kahel erineval meetodil määratud filtratsioonimooduleid, leidub kahe meetodi vahel isegi kuni 50 kordne vahe (2,0 ja 0,04 m/ööp). Kuigi suuri erinevusi (20-30 kordne) leidub veelgi, on paljudel juhtudel filtratsioonimoodulite vahe pigem 2-3 kordne. Siiski tähendab see suurt ebatäpsust.

3.3. Materjalide võrdlus gruppide kaupa

Käesolevas alapeatükis toob autor kõigi materjali gruppide kohta eraldi välja andmed terastikulise koostise ja GOST standardi järgse filtratsioonimooduli kohta. Alapeatükist jäävad välja veeristikulise pinnase ja kruusase pinnase andmed, sest mõlemat materjali esineb kogutud andmetes ainult kolmel korral.

Piisava hulga andmetega on esindatud järgmised materjaligrupid:

- jämeliiv;
- keskliiv;
- peenliiv;
- tolmliid.

Kuna aga Proctor katse ja filtratsioonimooduli määramiseks kasutatakse ainult materjali terastikulise koostise alumist osa (Proctor katses terad < 4 mm, GOST filtratsioonis terad < 5 mm), siis selletõttu on autor koostanud ühe materjali kohta kaks graafikut. Esimesel graafikul on kujutatud need materjalid, mille nimetus on määratud vastavalt originaalsele terastikulisele koostisele. Teise graafiku jaoks teisendas autor iga terastikulise koostise ümber fraktsiooniks 0/4 mm ning peale sellist tegevust anti materjalile uuesti nimetus. Autor pidas nimetatud sammu vajalikuks, sest võttes näiteks ühe kruusase pinnase ning sõeludes materjalist välja fraktsioon 0/4 mm, siis tegelikult määratakse Proctor katse ja GOST filtratsioon hoopis keskliivale. Lisaks muutub oluliselt peenosiste sisalduse protsent, sest osa originaalsest fraktsioonist eemaldatakse.

Tabelis 4 on valikuliselt välja toodud näited materjalidest, millede puhul fraktsiooni 0/4 mm nimetuse määramine andis tulemuseks algsest nimetusest erineva nimetuse ning näited ka nendest materjalidest, millede puhul materjali nimetus jäi samaks, kuid muutus peenosiste sisaldus.

Tabel 4

Materjalide ümbernimetamise näited

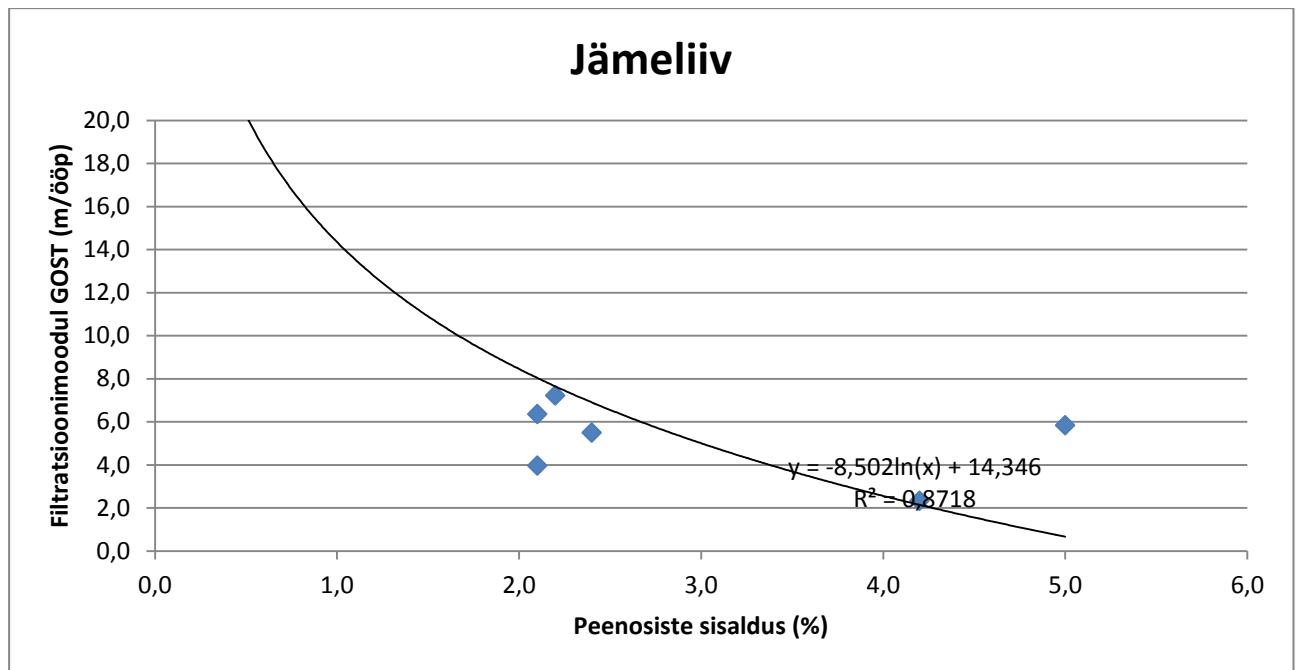
Materjali algne nimetus	0/4 mm materjali nimetus	Algne peenosiste sisaldus	Fraktsiooni 0/4 mm ümberarvutatud peenosiste sisaldus
Kruusliiv	Jämeliiv	6,3	10,0
Kruusliiv	Keskliiv	1,2	3,3
Keskliiv	Peenliiv	10,3	16,5
Kruusane pinnas	Keskliiv	7,2	15,8
Kruusane pinnas	Jämeliiv	4,4	9,1
Peenliiv	Peenliiv	8,3	20,0
Keskliiv	Keskliiv	2,1	8,3

Tabelist 4 nähtub, et filtratsioonimooduli määramiseks kasutatava materjali puhul on peenosiste sisaldus materjalis protsentuaalselt mitu korda suurem kui originaalse materjali puhul.

Kõikidel siinses alapeatükis kujutatud graafikutel on horisontaalteljele märgitud peenosiste (alla 0,063 mm) sisaldus protsentides ning vertikaalteljel materjali GOST standardi järgi määratud filtratsioonimoodul (m/ööp). Kõikide siinses alapeatükis kujutatud graafikute peenosiste sisalduse väärtused on originaalse materjali terastikulise koostise põhjal saadud peenosiste sisaldused. Nimetades materjalid ümber vastavalt fraktsioonile 0/4 mm, muutub ka peenosiste sisalduse protsent suuremaks, kuid kuna erinevates normides ja nõuetes on keskendutud siiski originaalse terastikulise koostise juures määratud peenosiste sisaldusele, on selle tõttu ka järgnevad graafikud koostatud nimetatud peenosiste sisaldusi võrreldes.

Jämeliiv

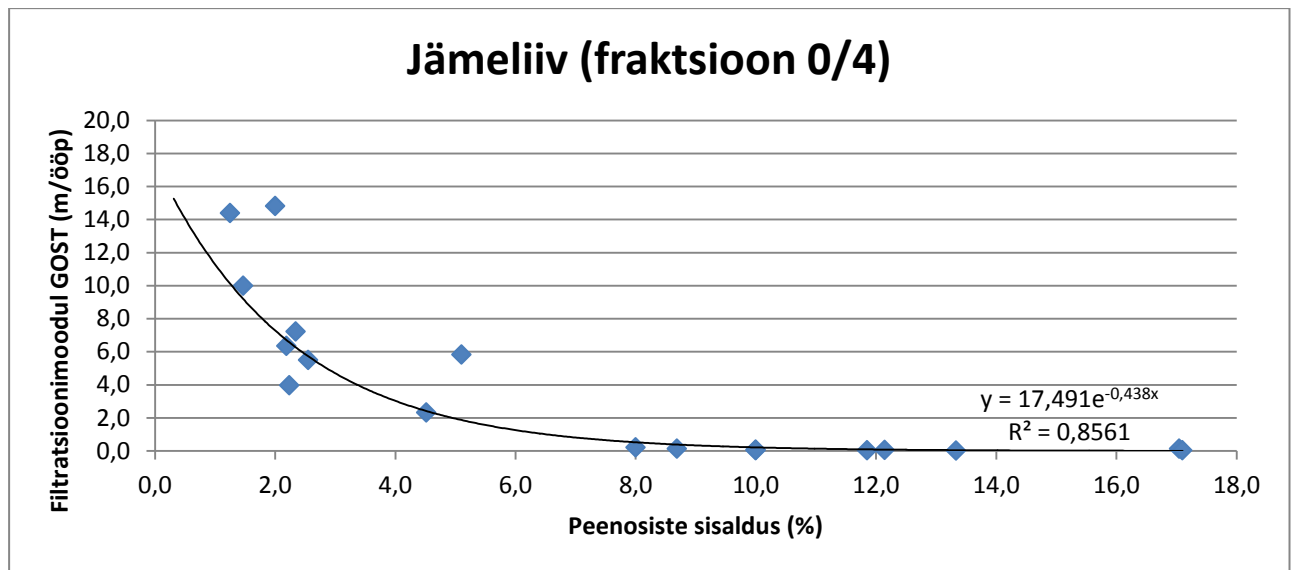
Graafikul 7 on kujutatud originaalse terakoostise järgi määratud materjali nimetusega jämeliiva GOST filtratsioon ja selle sõltuvus peenosiste sisaldusest.



Graafik 7. Originaalne jämeliiv

Ülalolev graafik ilmestab hästi, kuidas jämeliiv säilitab filtreerimisvõime isegi 4-5%-lise peenosiste sisalduse juures. Tõenäoliselt on see tingitud asjaolust, et jämeliiva puhul on tegu siiski suhteliselt suure terilise liivaga ning 5% peenosist ei suuda filtratsioonimoodulit märgatavalt kehvemaks muuta. Korrelatsioonikordaja R väärtuse põhjal võib väita, et katsetulemused on omavahel tugevas seoses, mis annab juba enne filtratsioonimooduli määramist aimu materjali filtreerimisvõimest.

Graafikul 8 on kujutatud nende jämeliivade filtratsioonimooduli sõltuvus peenosiste sisaldusest, mille materjali nimetus on määratud pärast 0/4 mm fraktsiooniks sõelumist.

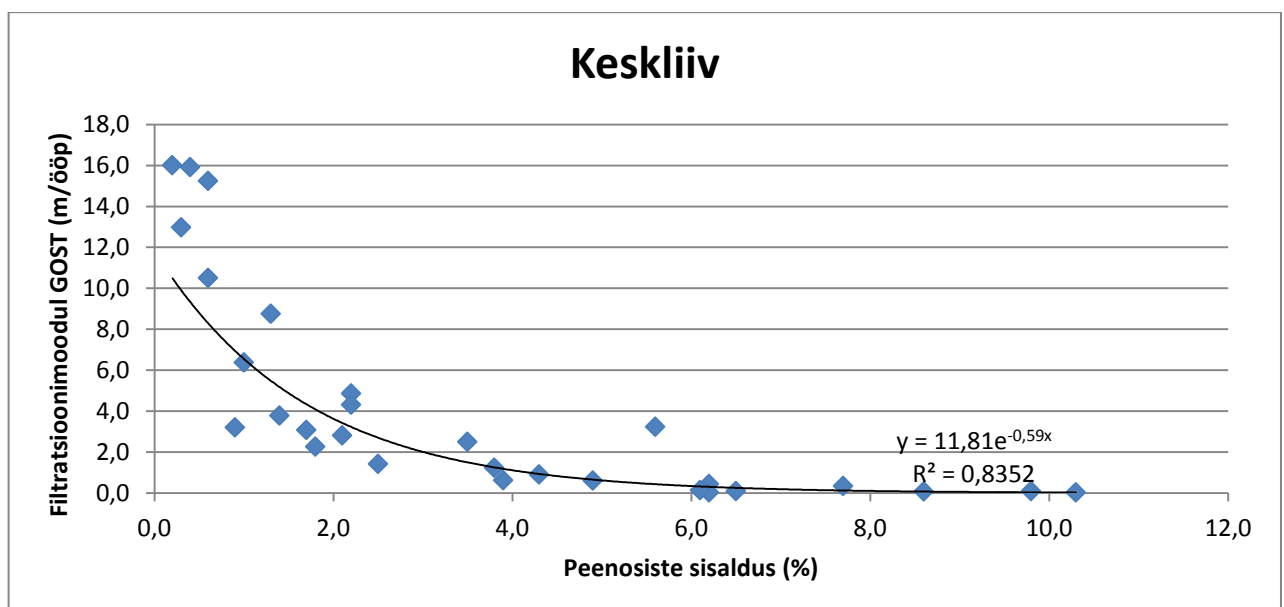


Graafik 8. Filtratsioonimooduli määramiseks kasutatav jämeliiv (0/4)

Graafikul 8 on hästi näha, et tegelikult käitub jämeliiv küllaltki sarnaselt peenematele liivadele. Ehkki kriitiline peenosiste sisalduse protsent on nihkunud umbes 6% juurde, väheneb sellest piirist alates filtratsioonimoodul alla 0,5 m/ööp. Ka selle graafiku puhul näitab korrelatsioonikordaja R, et katsetulemused on omavahel tugevas seoses.

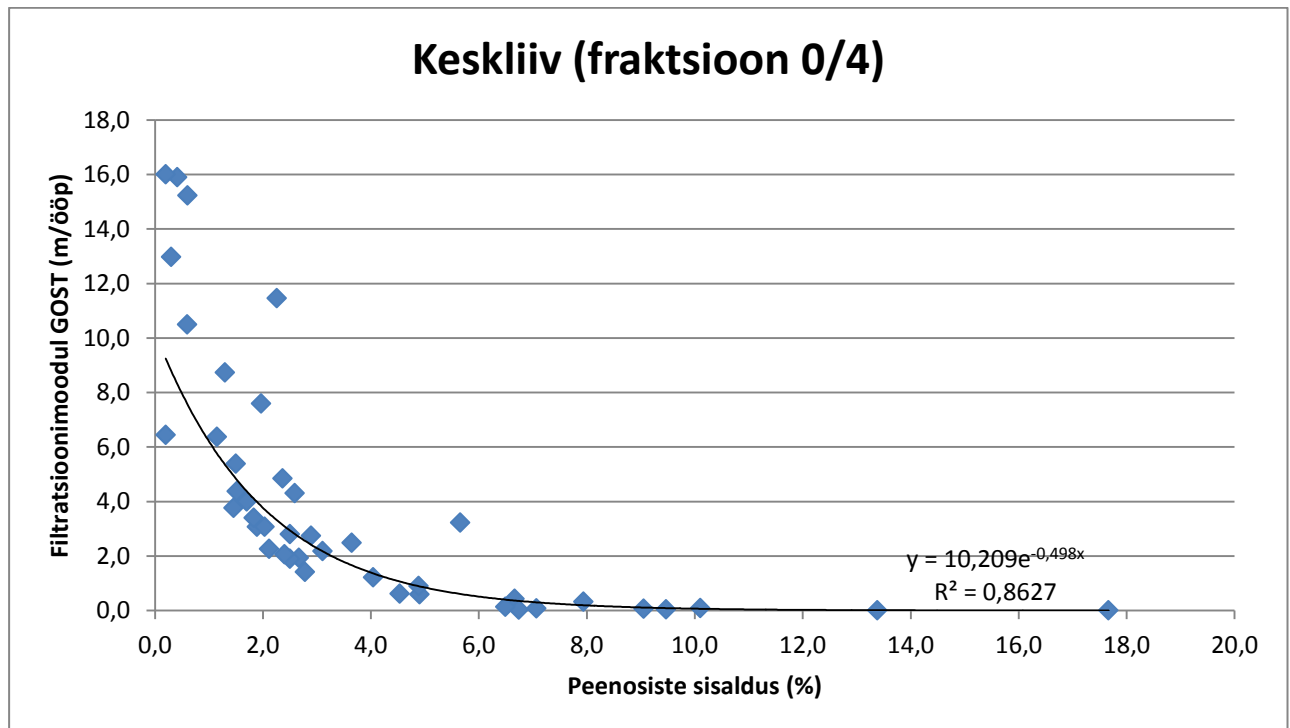
Keskliiv

Graafikul 9 on kujutatud originaalse terakoostise järgi määratud materjali nimetusega keskliiva GOST filtratsioon ja selle sõltuvus peenosiste sisaldusest.



Graafik 9. Originaalne keskliiv

Eelnevalt graafikult nähtub, et keskliiva puhul langeb filtratsioonimoodul liiga madalaks alates 4 %-lisest peenosiste sisaldusest ning nullilähedaseks alates 6%-lisest peenosiste sisaldusest. Korrelatsioonikordaja R suur väärtus näitab samas ka tugevat seost nende andmete vahel.

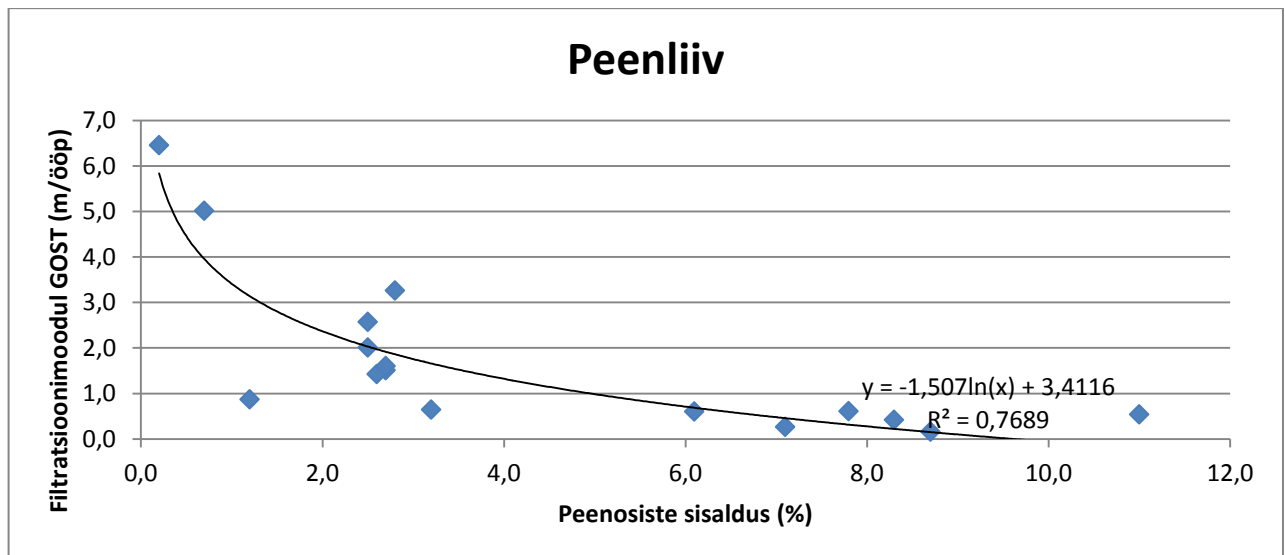


Graafik 10. Filtratsioonimooduli määramiseks kasutatav keskliiv (0/4)

Graafikul 10 on kujutatud nende keskliivade katsetulemused, millele on materjali nimetus määratud pärast 0/4 mm fraktsiooniks sõelumist. Võrreldes originaalsete keskliivadega, on siinne graafik küllaltki sarnane. Põhjus on ilmselt selles, et keskliivas on keskmise suurusega (0,25 kuni 0,5 mm) terasid kõige rohkem ning selle tõttu ka filtratsioonimoodul heal tasemel. Alates 5%-lisest peenosiste sisaldusest on filtratsioonimoodul siiski juba nullilähedane. Korrelatsioonikordaja näitab järjekordselt tugevat seost katsetulemuste vahel.

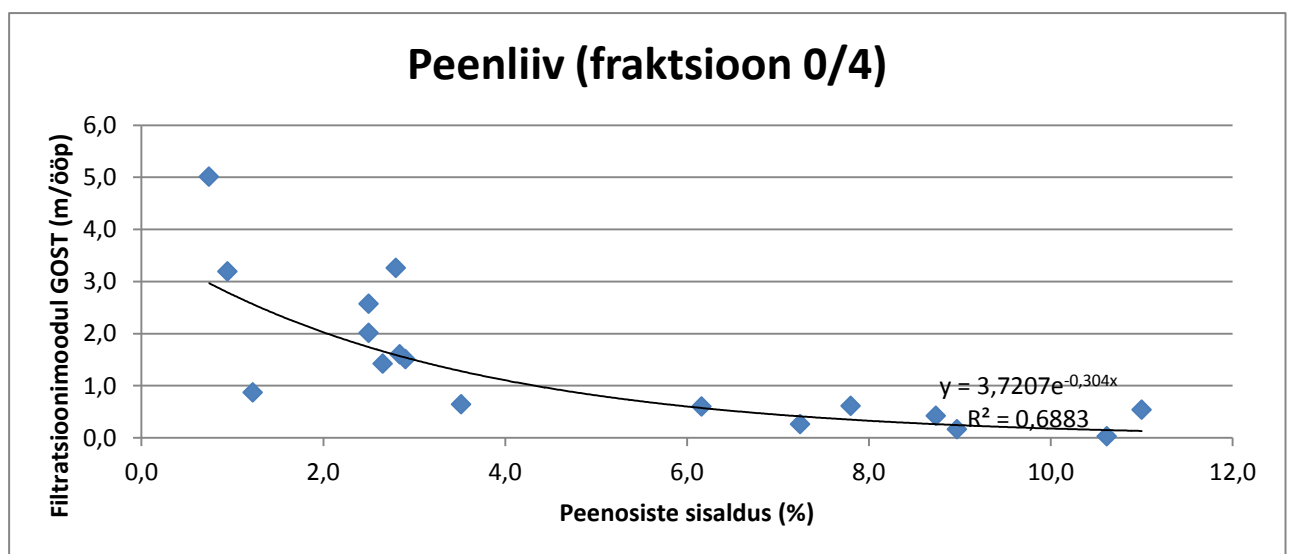
Peenliiv

Graafikul 11 on kujutatud originaalse terakoostise järgi määratud materjali nimetusega peenliiva GOST filtratsioon ja selle sõltuvus peenosiste sisaldusest.



Graafik 11. Originaalne peenliiv

Ülaloleva graafiku põhjal võib väita, et alates umbes 6%-lisest peenosiste sisaldusest langeb peenliiva filtratsioonimoodul 0,5 m/ööp juurde. Samas on kahel materjalil veel isegi 8%-lise peenosiste sisalduse juures filtratsioonimoodul 0,5 m/ööp. Korrelatsioonikordaja põhjal võib väita, et tulemused on omavahel üpriski tugevas seoses.



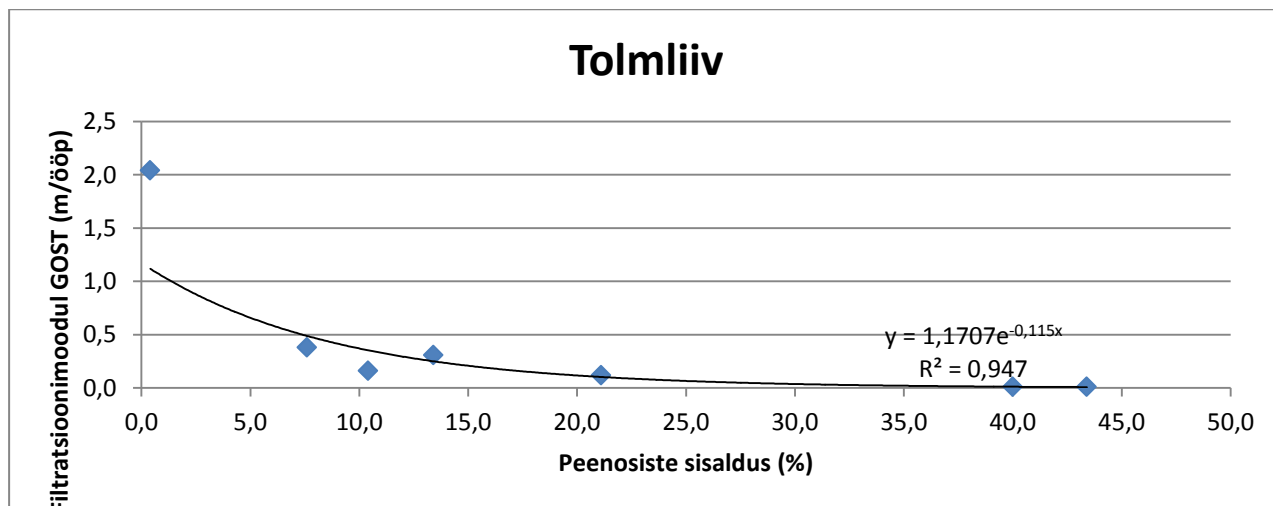
Graafik 12. Filtratsioonimooduli määramiseks kasutatav peenliiv (0/4)

Erinevalt graafikust 11, on siinkohal kriitiliseks peenosiste sisalduse piiriks umbes 8%. Väiksema kui 8%-lise peenosiste sisalduse juures näitavad peaaegu kõik keskliivad küllaltki head filtreerimisvõimet. Samas võib ühel juhul ka 11%-lise peenosiste sisalduse juures filtratsioonimoodul olla veel 0,5 m/ööp. Selles materjalis on 66% teradest vahemikus 0,125/0,25

mm, seega võib põhjus peituda liiga üheterilises materjalis, ehk materjali ei saada piisavalt tihedaks ei katsetamise käigus ega ka ehitusobjektidel.

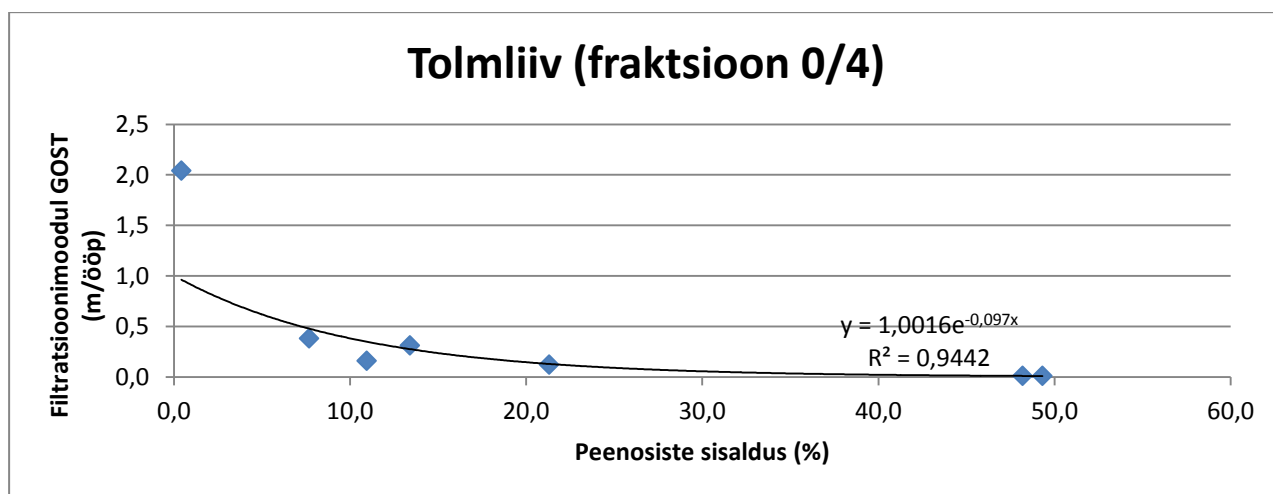
Tolmliiv

Graafikul 13 on kujutatud originaalse terakoostise järgi määratud materjali nimetusega tolmlüiva GOST filtratsioon ja selle sõltuvus peenosiste sisaldusest.



Graafik 13. Originaalne tolmlüiv

Ülalolev graafik näitab, et tolmlüiva puhul jääb kriitiline peenosiste sisalduse piir 6-7% juurde. Siinsel graafikul näitab korrelatsioonikordaja R väärtus juba väga tugevat seost katsetulemuste põhjal, järelikult on selle graafiku põhjal võimalik hinnata tolmlüiva filtratsioonimoodulit juba peenosiste sisaldust teades.



Graafik 14. Filtratsioonimooduli määramiseks kasutatav tolmlüiv (0/4)

Kuna tolmlüivade puhul suure tõenäosusega 4 mm sõela peale arvestatavat kogust materjali ei jää, siis selle tõttu tuli ka ülalolev graafik sarnane graafikule 13. 10%-lise peenosiste sisalduse juures omab tolmlüiv juba nullilähedast filtreerimisvõimet. Kahe ekstreemsema tulemuse peenosiste sisaldus on pisut alla 50% ning ilmselgelt ei oma see materjal ka filtreerimisvõimet.

Järgnevalt on koostatud tabel võrdlemaks erinevate materjalide keskmisi filtratsioonimooduli väärtusi vastavalt materjali nimetusele. Tabelis 5 on välja toodud materjalide võrdlus, kus võrreldakse GOST filtratsioonimooduli ja Sojuz-Dornii filtratsioonimooduli keskmisi väärtusi.

Tabel 5

Erinevate materjalide keskmine filtratsioonimoodul

Materjal	GOST filtratsioon, (m/ööp)	Sojuz-Dornii filtratsioon, (m/ööp)
Jämelüiv	8,29	11,4
Keskliiv	4,24	5,12
Peenliiv	1,75	3,66
Tolmlüiv	0,43	4,72

Tabelist 5 nähtub, et kõigi materjalide puhul saadakse Sojuz-Dornii meetodiga paremad filtratsioonimooduli väärtused. Näiteks peenliiva puhul on keskmiste filtratsioonimooduli väärtuste vahe isegi rohkem kui kahekordne. Kõige kehvem olukord on aga tolmlüiva puhul, mille keskmine GOST filtratsioonimoodul on kõigest 0,43 m/ööp, samas kui keskmine Sojuz-Dornii filtratsioonimoodul on lausa 4,72 m/ööp.

3.4. Konkreetse materjali katsetamine

Käesolevas alapeatükis annab autor ülevaate ühe konkreetse materjali katsetamist. Materjali katsetamine algab proovivõtuga vastavalt standardile ning lõpeb materjali filtratsioonimooduli määramisega. Proovist tehakse osaproovid filtratsioonimooduli määramiseks nii GOST 25584-90 lisa 5 kohaselt kui ka Sojuz-Dornii meetodi kohaselt. Nii on võimalik hinnata kahe erineva filtratsioonimooduli määramise meetoodika tulemuste erinevusi.

Eeldatavalt saadakse esialgu loodusliku terakoostisega materjali filtratsioonimoodul nullilähedane, ehk teede ehituseks mittekõlbulik. Seejärel hakatakse aga halvasti filtreeruvast materjalist välja

sõeluma peenosiseid (alla 0,063 mm) ning määratakse filtratsioonimoodul saadud peenosisevabast materjalist uuesti. Eeldatavalt saadakse nüüd parem filtratsioonimoodul, sest kõige peenemad osakesed on materjalist eraldatud. Siinkohal tekib aga küsimus, kui suures ulatuses filtratsioonimoodul paraneb.

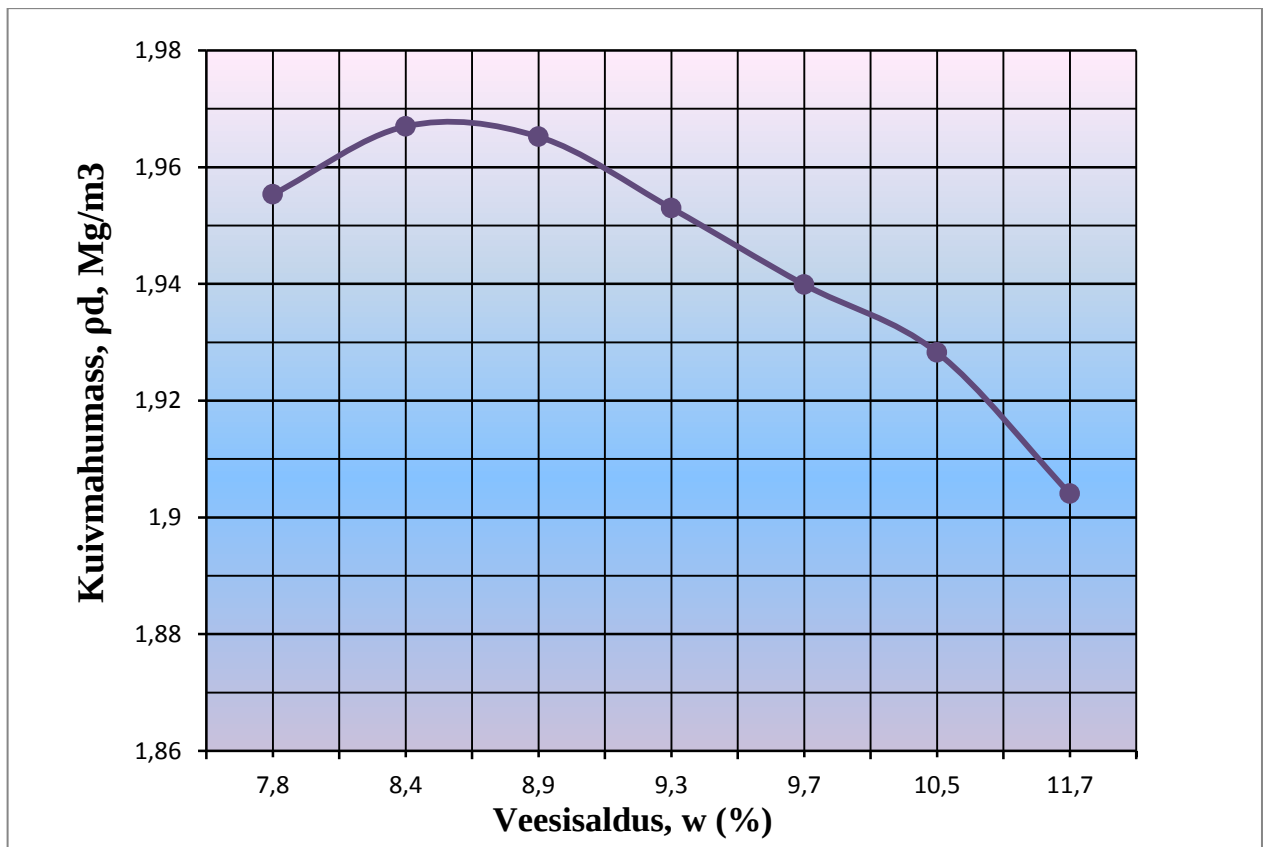
3.4.1. Katsetamine ja katsetulemused

Kõik järgnevalt kirjeldatud katsetused on teostatud Teede Tehnokeskus AS-is ning viidud läbi uurimustöö autori poolt (v.a. savisisaldus). Katsetuste jaoks vajalik täitematerjal on pärit Harjumaa kruusakarjäärist. Katsetatavaks materjaliks valis autor tahtlikult sellise materjali, mille filtratsioonimoodul loodusliku terakoostise puhul tuleb võimalikult väike või hoopis olematu.

Esmalt määras autor kasutatava materjali terastikulise koostise ning määras selle põhjal materjalile nimetuse. Katsetatavaks materjaliks osutus kruusane pinnas. Kuna aga Proctor-teim määratakse ainult materjali fraktsioonile 0/4, siis selle tõttu peab autor vajalikuks hinnata materjali nimetus ümber keskliivaks. Originaal materjali peenosiste sisaldus oli 7,2%, kuid teisendades selle ümber fraktsioonile 0/4 mm, saadi peenosiste sisalduseks 13,1%.

Kuna peenosiste sisaldus materjalis on küllaltki suur, teostati ka savisisalduse määramine. Nimetatud katse tulemusena ilmnes, et selle materjali puhul on alla 0,02 mm suuruseid terasid 4,8%, alla 0,006 mm suuruseid terasid 2,1% ning alla 0,002 mm suuruseid terasid 0,9%. Vastavalt „Muldkeha remondi projekteerimise juhises“ toodud tabelile [12:26] on katsetatava materjali puhul tegemist keskmise kuni suure külmakerke ohuga materjaliga.

Järgnevalt on välja toodud Proctor katse graafiku, mis iseloomustab materjali käitumist erinevate veesisalduste juures. Graafiku horisontaalteljel on kujutatud materjali veesisaldus protsentides ning graafiku vertikaalteljel on kujutatud materjali kuivmahumass, mille ühikuks on Mg/m^3 . Nimetatud graafik on tähistatud graafik 15-na.



Graafik 15. Originaal materjali Proctor katse graafik

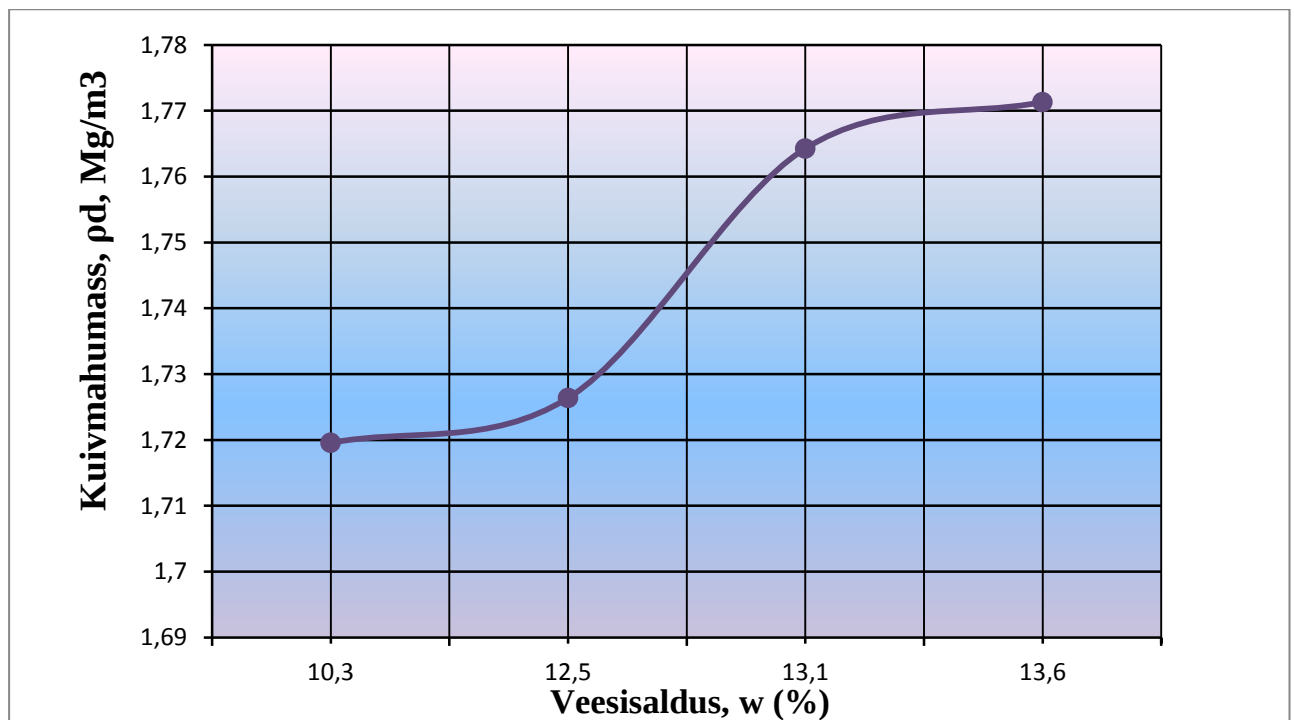
Joon graafikul näitab materjali tiheduse muutumist erinevate veesisalduste juures. Et leida materjali optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivmahumass, tuleb leida graafiku kõige kõrgem punkt. Selle graafiku põhjal on konkreetse materjali optimaalne veesisaldus 8,4% ja maksimaalne kuivmahumass 1,97 Mg/m³. Neid tulemusi arvesse võttes valmistati ette ka filtratsioonimooduli määramiseks vajalik katseproov.

Filtratsioonimooduli määramiseks kasutati kolme filtratsioonitoru. Iga toru puhul arvutati optimaalse veesisalduse, maksimaalse kuivmahumassi ning filtratsioonitoru ruumala põhjal välja täpne kogus niisket materjali. Materjali tihendamine sujus tõrgeteta. Alustades vee läbilaskmise osaga, sai autorile selgeks, et head tulemust loota ei ole. Katsetatava materjali filtratsioonimoodul tuli täpselt 0,01 m/ööp ja nii kõigi kolme filtratsioonitoru puhul. Seega võib väita, et see konkreetne materjal omab nullilähedast filtratsioonimoodulit.

Samast proovist tegi autor ka filtratsioonimooduli määramise Sojuz-Dornii meetodil. Nagu juba enne katse teostamist eeldada võis, näitas see meetod paremat filtratsioonimoodulit. Materjal, mis GOST standardi järgi omas filtreerimisvõimet 0,01 m/ööp, näitas Sojuz-Dornii meetodi puhul

filtratsioonimoodulit 2,4 m/ööp. Ilmselt jäi materjal sellisel juhul alatihendatuks ning selle tõttu saadi ka hea, kuid siiski väär tulemus.

Järgnevalt sõelus autor märgsõelmise teel välja peenosise, ehk terad alla 0,063 mm. Saadud uue materjali fraktsiooniga 0,063/4 mm oli vajalik teostada uuesti ka Proctor katse. Selle Proctor katse graafik on tähistatud graafik 16-na.



Graafik 16. 0,063/4 mm fraktsiooniga materjali Proctor katse graafik

Pestud materjali Proctor katse graafik on märgatavalt erinev sama materjali pesemata variandi Proctor katse graafikust. Graafiku kõige kõrgem punkt on küll 13,6% ja 1,77 Mg/m³ juures, kuid selles punktis tuli katse käigus materjali tihendades materjalist vesi välja ning sellisel juhul ei saa lugeda seda punkti maksimaalseks kuivtiheduseks. Nimelt on selle materjali puhul optimaalne veesisaldus 13,1% ning maksimaalne kuivtihedus 1,76 Mg/m³.

Filtratsioonimooduli määramisel kasutati kolme filtratsioonitoru ning materjal tihendati torudesse uusi Proctor katse tulemusi arvesse võttes. Materjali tihendamine sujus tõrgeteta, kuid hakates vett läbi laskma proovides, sai autorile selgeks, et filtratsioonimooduli puhul on tegu hoopis teistsuguse materjaliga.

Nimelt saavutas see materjal, mis originaalse terastikulise koostise juures omas nullilähedast filtreerimsvõimet, nüüd filtratsioonimooduliks 4,55 m/ööp. Ilmselt on niivõrd hea tulemuse

põhjuseks materjali terastikulise koostise ühtlus. Nimelt on materjalis esindatud igas suuruses teri ning need on omavahel üsna proportsionaalses seoses. Katsetades sama materjali Sojuz-Dornii meetodil, saadi filtratsioonimooduliks lausa 9,7 m/ööp. Siinkohal ei ole kahe filtratsioonimooduli määramise meetodite vahe küll suur, kuid siiski piisav, et tunnistada Sojuz-Dornii meetod ebausaldusväärseks.

Tabelisse 6 on kokku kogutud katsetulemused, et anda parem ülevaade saadud tulemustest.

Tabel 6

Katsetulemused

Materjali nimetus	Fraktsioon, mm	Peenosiste sisaldus, %	Filtratsioonimoodul GOST, m/ööp	Filtratsioonimoodul Sojuz-Dornii, m/ööp
Keskliiv	0/4	13,1	0,01	2,4
Keskliiv	0,063/4	0,0	4,55	9,7

Kokkuvõtvalt paranes materjali filtreerimisvõime kõigest peenosiste väljapesemise tulemusel oodatust suuremas ulatuses. Loomulikult ei saa garanteerida, et nimetatud viis toimib kõigi halvasti filtreerivate materjalide puhul sarnaselt, võib-olla tuleks materjalist eraldada lisaks ka mõni järgmine osa, näiteks alla 0,1 mm terad.

4. PEENOSISTE VÄLJAPESEMININE

Antud uurimustöö raames on peen- ja ka jämedamate osiste täitematerjalist väljasõelumine teostatud laboratooriumi tingimustes, ehk suuremates kogustes täitematerjali sõelumine on välistatud. Vastavalt katsete teostamise vajadusele on töö käigus läbisõelutud materjali umbes 50 kg, ehk teede ehituse mõistes on tegemist nullilähedase kogusega. Et aga täitematerjali suuremates kogustes sõeluda, on vaja selleks spetsiaalselt ettenähtud tööstuslikke vahendeid.

4.1. Tehnoloogia

Täitematerjalide läbipesemise tehnoloogiat ja seadmeid pakuvad erinevad ettevõtted, näiteks CDE Global, Powerscreen, Weir Minerals ning Aasia regiooni suurim tootja Henan Hongxing Mining Machinery. Esimese kahe nimetatud ettevõtte peakontor asub Põhja-Iirimaal. Üks laialdasemaid täitematerjalide läbipesemise tehnoloogia tootja on CDE Global, mille toodangut kasutab ka Tallinna külje all paikneva Vao karjääris opereeriv Paekivitoodete Tehase OÜ.

CDE Global seadmeid ja tehnoloogiat kasutavad paljud juhtivad ehitusmaterjalide tootjad üle maailma, et muuta tootmisprotsess võimalikult efektiivseks ning anda lisandväärtus toodetavatele liiva- ja muude täitematerjalide produktidele. [13]

Peamised sihtgrupid, mille tootmiseks või muul moel töötlemiseks CDE Global seadmeid välja töötab, on järgmised:

- liiv ja kruus;
- purustatud kivimaterjal;
- tööstuslikult toodetud liiv;
- killustiku tootmise jääkproduktid;
- pruunsüsi eemaldamine;
- väljapestud peenosise järeltöötlus.

[13]

4.2. Peenosiste väljapesemine Eestis

Kuni 2008. aasta keskpaigani ei tegelenud peenosise väljapesemise või killustiku tootmise jääkproduktide efektiivse ärakasutamisega mitte ükski kohalik ettevõtte. Alates 2008. aasta keskpaigast kuni praeguse ajani välja tegeleb peenosiste väljapesemisega Eestis ainsana Paekivitoodete Tehase OÜ. Nimetatud osaühing haldab Tallinna külje all asuvat Vão karjääri, lisaks tegeleb killustiku tootmisega ka Maardu ja Eivere karjäärides.

Antud uurimustöös kajastatakse aga justnimelt Vão karjääri, kuna seal asub Eesti esimene ning siiani ainus killustiku tootmisjääkide ümbertöötlemise liin. Kõnealune ümbertöötlemise liin avati 9. juunil 2008. aastal ning pidulikul avamisel osales ka Briti suursaadik Peter Carter. Ümbertöötlemisliin läks maksma üle 1 miljoni euro. [14]

Käesoleva uurimustöö tarvis leppis autor kokku kohtumise Paekivitoodete Tehase OÜ kommertsdirektori hr. Kuldar Õunapuuga, kes oli lahkesti nõus rääkima lähemalt nende kasutatavast ümbertöötlemisliinist. Kasutatava ümbertöötlemisliini on tootnud CDE Global, kuid väljapestud peenosise töötlemiseks on töötlemisliini juurde lisatud ka Fraccaroli & Balzan S.p.A toodetud filterpress.



Foto 3. CDE ümbertöötlemisliin [Erakogu]

CDE ümbertöötlemisliin (foto 3) saab alguse konveierilt, mida mööda transportitakse ümbertöötlemist vajav materjal esmastele sõeltele. Ümbertöötlemiseks kasutatakse killustiku

tootmisest tekkinud jääkprodukte fraktsiooniga 0/40 mm. Esmastel sõetel eraldatakse suuremad fraktsioonid nagu 16/32 mm ja 8/16 mm. Seejärel pumbatakse ülejäänud materjal koos veega järgmise seadme osani, kus surve all veega pestakse läbi fraktsioon 0/8 mm. Tulemuseks on pestud killustik fraktsiooniga 2/8 mm ning pestud paekiviliiv fraktsiooniga 0,063/4 mm (foto 4). Pestud paekiviliivas saavutatakse peenosise sisaldus suurusjärgus 2 kuni 3%, vastukaaluks toorme materjalile, mille peenosise sisaldus võib olla isegi kuni 20%. [15]



Foto 4. Pestud paekivisõelmed (fr. 0,063/4) [Erakogu]

Väljapestud peenosis pumbatakse seejärel reservuaari, mis on alumisest otsast koonuse kujuline. Koonuseline kuju ei lase väljapestud peenosisel hakata kogunema anuma seintele või põhja ning tagab peenosise sujuva liikumise järgmise etapi juurde. Järgnevalt liigub peenosis koos veega viimase seadmeni, milleks on filterpress. Pesuseade võimaldab normaaltingimustel fraktsiooni 0/40 mm läbi pesta kuni 100 tonni tunnis. [15]

Filterpressi kontseptsioon pärineb juba 19. sajandist ning neid kasutatakse nii ehitusmaterjalide tootmises, veepuhastusjaamades kui ka toiduainetööstuses. Ettevõtte Fraccaroli & Balzan S.p.a on tuntud kui plaat-raam tüüpi filterpresside tootja, kuid filterpresside tüüpe on tunduvalt rohkem, vastamaks kasutajate erinevatele nõudmistele. Filterpress on varustatud hüdraulilise ajamiga, mis kontrollib plaatide avamis- ja sulgemistsükli, samuti automaatse raputussüsteemiga, mis muudab pressitud peenosistest koosnevate tükide eemaldamise raamist märgatavalt lihtsamaks. Lisaks on võimalik filterpressile lisada erinevaid mooduleid, näiteks tugistruktuure või äravoolurenne, millega vähendada tilkvee kogust. Filterpressil on ka filterkanga ja raamide automaatne pesusüsteem, mis on paigaldatud liugplaadile ning peseb automaatselt raamid ükshaaval survepesuga. Filterpressi varustamise toormega tagab tsentrifugaalpump, mis oma kahekordse töökiirusega transpordib

vedela materjali reservuaarist filterpressi. Reservuaar on varustatud segamislabadega, mis tagavad materjali homogeensuse ning filterpressi tõrgeteta töö. [15]

Filterpressi FB / 1500-120 tehnilised andmed:

- 4 töösilindrit;
- plaadi suurus 1500x1500 mm;
- plaatide arv 120;
- ühe töötsükli maht 5,92 m³/h;
- töötsüklite arv tunnis: 2;
- tootlikkus tunnis 11,84 m³/h.



Foto 5 ja 6. Filterpressi plaadid ja filterpressi hoone. [Erakogu]

Esimesel fotol on näha filterpressi plaadid avatud olekus, kuhu pumbatakse vee ja peenosise segu vahele, neli hüdrosilindrit tõmbavad seejärel plaadid kokku ning vesi pigistatakse peenosisest välja. Teisel fotol on näha filterpressi seadme hoone. Filterpress asub ülevalt akende taga, kuid peale vee väljapigistamist peenosisest, raputatakse peenosis filterpressi küljest alla. Saadud materjal on näha fotodel 7 ja 8. [15]



Foto 7 ja 8. Peenosis [*Erakogu*]

Saadud peenosise veesisaldus pärast töötlemist on 2-3%, mis tähendab, et seda on mugav transportida ja kasutada, kuna see ei tolma. Saadud peenosist kasutatakse näiteks vanade karjääride rekultiveerimiseks, mille puhul tuleb kogu karjääri põhi katta 0,5 meetri paksuse vett läbilaskmatu kihiga. Saadud peenosis sobib nimetatud kihis kasutamiseks väga hästi. Lisaks kasutatakse saadud peenosist Aseri tellisetööstuse, kus seda kasutatakse telliste valmistamiseks. Märkimisväärne on fakt, et kogu materjali pesemiseks kasutatav vesi taaskasutatakse. Nimelt lisatakse saastunud veele spetsiaalseid keemilisi aineid, mis on loodud vee puhastamiseks. Samu kemikaale kasutab vee puhastamiseks ka näiteks Tallinna Vesi. Seoses vee taaskasutamisega hoitakse aga suur summa kokku sisse ostetava vee arvelt. [15]

4.3. Pestud ja pesemata materjali hinnavõrdlus

Hinnavõrdluses kasutab autor avalikult kättesaadavates hinnakirjades sisalduvaid paekivisõelmete hindu. Kõik hinnad on toodud ühe tonni materjali kohta, hinnad ei sisalda käibemaksu 20%, võimalikku transpordi kulu ei ole hinnale lisatud.

Tabel 7

Paekivisõelmete hinnad karjäärides

Karjäär, materjal, fraktsioon	Hind, €/t	Hind võrreldes pestud paekivisõelmetega, %
Rõstla karjäär, paekivi sõelmed, fr. 0/4 mm	2,00	57
Raikküla karjäär, paekivi sõelmed, fr. 0/4 mm	2,00	57
Ambose karjäär, paekivi sõelmed, fr. 0/4 mm	2,20	63
Väo karjäär, paekivi sõelmed, fr. 0/4 mm	2,95	84
Väo karjäär, pestud paekivi sõelmed, fr. 0,063/4 mm	3,50	100

Vastavalt tabelis 7 toodud tonnihindade võrdlusele tuginedes võib väita, et pestud paekivi sõelmed võivad osutuda kuni 1,5 korda kallimaks, kui pesemata paekivi sõelmed. Kahjuks ei ole hinnakirjades toodud paekivi sõelmetele lisatud juurde neid iseloomustavaid omadusi, ehk terastikuline koostis, peenosiste sisaldus, peenosise kvaliteet, savisisaldus või ligikaudne filtreerimisvõime. Filtratsiooni osas võib eeldada, et pestud sõelmetel on oluline eelis võrreldes pesemata sõelmetega. Kindlasti mõjutavad erinevates kohtades paiknevate karjääride sõelmete hindu ka kohalik nõudlus materjali järele. Näiteks Tallinnale lähimas Väo karjääris on isegi pesemata paekivi sõelmete tonnihind peaaegu 1/3 võrra kallim, kui hõredama inimasustusega piirkondades asuvates karjäärides.

Kuna rohkem peenosise väljapesemisega tegelevaid ettevõtteid Eestis ei ole, tuleb pestud ja pesemata materjali hindade võrdlemisel lähtuda Väo karjääris pakutavatest materjali hindadest. Tabelist 3 nähtub, et pesemata, ainult sõelutud paekivi sõelmed maksavad Väo karjääris 2,95 €/t. Pestud ja sõelutud paekivi sõelmed on aga peaaegu 20% kallimad kui sama materjal pesemata kujul, nimelt 3,5 €/t. Kahjuks ei saanud autor Paekivitoodete Tehase OÜ-s intervjuu läbiviimisel vastust materjali läbipesemise majanduslikust otstarbekusest. Samas võib oletada, et niivõrd suur investeering (1-1,5 miljonit eurot) on väga hoolikalt läbimõeldud ning kui mitte kohe tegevuse alguses, siis pikema ajaperioodi jooksul peaks selle tehnoloogia kasutamine end siiski ära tasuma.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö kirjutamise ajal ei ole Eesti teede ehituse valdkonnas veel tekkinud pakkumust ületavat nõudlust häid filtratsiooniomadusi omavate täitematerjalide osas. See aga ei tähenda, et lähemas või kaugemas tulevikus on sellise olukorra tekkimine välistatud. Suure panuse kirjeldatud olukorra tekkesse annavad pidevalt kahanevad hästi filtreerivate täitematerjalide varud. Samuti ei pruugi iga suure ehitusobjekti läheduses olla karjääri, millest võiks saada nõutud omadustega materjali. Esmajoones tuleb pakkumuse vähenedes silmitsi seista üha kasvava täitematerjali hinnaga ning kuna teede ehitamist finantseeritakse Maanteeameti ehk Eesti riigi poolt, mõjutab see kaudselt iga maksumaksja rahakotti. Pidades silmas sellist võimalikku stsenaariumi, on käesolev lõputöö pühendatud täitematerjali terastikulise koostise mõju filtratsioonimoodulile hindamisele.

Lõputöö raames analüüsitud materjalide põhjal võib väita, et terastikuline koostis mõjutab suurel määral materjali filtreerimisvõimet. Kõige otsesem seos valitseb peenosiste sisalduse ning filtratsioonimooduli vahel. Pidades silmas nõuet, mille puhul peab täitematerjali filtratsioonimoodul olema vähemalt 2 m/ööp, garanteerib nõutud filtratsioonivõime materjalid, millede peenosiste sisaldus jääb alla 2%. Loomulikult esineb ka erandeid, millede puhul näiteks 5% peenosiste sisalduse juures on filtratsioonimoodul jätkuvalt üle 2 m/ööp, kuid sellise materjali ülejäänud terastikuline koostis on jämeda terilisem. Pidades silmas filtratsioonimooduli nõuet 0,5 m/ööp, garanteerivad nõutud filtreerimisvõime materjalid, millede peenosiste sisaldus ei üle 3%. Olenevalt materjalist kõigub siinkohal kriitiline peenosiste sisaldus 3-5% juures. Ka siinkohal esineb erandeid, kuid igal juhul tuleks üle 3% peenosiste sisaldusega materjali puhul teostada filtratsioonimooduli määramine, et olla veendunud materjali sobivuses teede ehituseks.

Analüüsi käigus sai korduvalt kinnitust ka Sojuz-Dornii meetodi sobimatus teede ehituse alal. Lõputöö käigus analüüsitud materjalide puhul saadi Sojuz-Dornii meetodiga alati kordades paremad filtratsioonitulemused kui GOST filtratsiooni kasutades. Põhjus peitub selles, et Sojuz-Dornii meetodi puhul kasutatakse alati 5 või 6% veesisaldust, mille puhul jääb peaaegu alati materjal filtratsioonitorus alatihendatuks. GOST filtratsiooni puhul määratakse iga materjali puhul eelnevalt

aga optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivtihedus, ehk materjal tihendatakse filtratsioonitorusse maksimaalselt tihedaks ning saadakse vähim võimalik filtratsioonimoodul.

Vastavalt sissejuhatuses tõstatatud probleemile seoses halvasti filtreerivate materjalide parendamisega teostati lõputöö käigus ka katsetused proovimaks terastikulise koostise muutmisega parendada materjali filtratsioonimoodulit. Selleks valis autor sihilikult katsetavaks materjaliks võimalikult kehva filtreerimisvõimet omava materjali. Esimese katse tulemusel selgus, et materjali filtratsioonimoodul on kõigest 0,01 m/ööp. Seejärel nägi aga katseplaani ette originaal materjalist peenosiste väljapesemise. Saadud materjalist uuesti filtratsioonimoodulit määrales saadi tulemuseks juba hoopis parem tulemus – 4,55 m/ööp. Järelikult võib selle konkreetse materjali põhjal väita, et ainult peenosiste väljapesemisest võib piisata materjali muutmiseks hästi filtreerivaks. Loomulikult võib ka välja pesta või sõeluda ka suuremaid terasid materjalist, kuid suure tõenäosusega sõltub see juba konkreetse materjali terastikulisest koostisest.

Seoses peenosiste väljapesemisega tehnoloogia levikuga uuriti käesoleva lõputöö raames Paekivitoodete Tehase OÜ-le kuuluvat CDE ümbertöötlemisliini Tallinna külje all Vao karjääris. Nimetatud ettevõtte kasutab seda küll paekivisõelmete ümbertöötlemiseks, kuid tehnoloogiliselt ei ole mingeid piiranguid kasutada sellist lahendust täitematerjalide parendamisel. Nimetatud tehnoloogia võimaldab materjalist välja pesta nii peenosiseid kui vajadusel ka suuremaid terasid (näiteks < 0,125 mm). Kuigi esmane investeering on suur (umbes 1 miljon eurot), võib näiteks mitme karjääriga koostööd tehes selline investeering isegi ära tasuda. Ilmselgelt oleks tegu ka keskkonnasäästlikkusega, sest hästi dreniiva materjali saamiseks ei tule seda kusagilt mujalt kaevandada, vaid saadakse ümbertöötlemise käigus juba hästi filtreeriv materjal. Lisaks saab väljapestud peenosist kasutada vanade karjäärade kultiveerimiseks ning ka ehitustelliste tootmisel.

Vastates lõputöö sissejuhatuses püstitatud küsimusele, kas kehvalt filtreerivaid materjale on võimalik terastikulise koostise muutmisega parendada, saab käesoleva lõputöö põhjal väita, et see on tõesti võimalik. Töö käigus katsetatud materjali puhul saavutati juba ainuüksi peenosiste väljapesemisega 0,01 m/ööp asemel filtratsioonimooduliks 4,55 m/ööp.

SUMMARY

The topic of this Final Thesis is “The influence of particle size distribution to permeability”. The topic was chosen due to recent problems with filtration capacity of materials used in road construction and with methods employed to determine the filtration modulus. As Estonian weather conditions are rather severe, primarily in terms of humidity, it is important that water entering the road structure be directed out of it as quickly as possible. If the road structure contains too much water that cannot flow out, the road loses its designed load-bearing capacity. Additionally, water may carry some of the material out of the road structure, causing irregular sinkages which affect the driveway’s surface in the end.

The Thesis pays attention primarily to assessment of the filtration capacity of various materials, based on the materials’ granularity composition. Most of all, it means the content of fine particulates, but the analysis also includes particulates with larger granularity. The Thesis also details the testing of a specific material with the objective of rendering a material with near zero filtration capacity into a material possessing the required filtration capacity and being suitable for use in road construction. In addition, the definition of fineness modulus is explained and its use for evaluating filler material’s load-bearing capacity and possible rate of compaction is described. The author also highlights a technology for washing out fine particulates and provides an assessment to its feasibility in Estonian conditions.

It was determined by analysing the filtration moduli and granularity compositions of various materials that the fine particulates content in a material is very closely related to the material’s filtration capacity. Exceptions were found in terms of materials with low fine particulate content, while also having a much higher content of somewhat larger granularity particulates (0.063/0.125 mm fraction). Still, the best filtration results were obtained with materials having homogeneous granularity and not more than 3-4% content of fine particulates.

The material tested in the course of preparing the Thesis had a near-zero filtration capacity (0.01 m / 24 h) with its original granularity composition. Due to the material’s content of fine particulates

(7.2%), a decision was made to remove precisely the fine particulates. After washing out the fine particulates, the material's filtration modulus was measured as 4.55 m / 24 h. This example provides grounds for a claim that merely washing out fine particulates can render a very low-drain material into a material suitable for road construction and having the required filtration capacity. Naturally, this may not be true of all materials, but there is now an example of a very good effect. The granularity composition can also be changed by removing some other fraction as necessary for improving the material's filtration capacity.

By analysing various materials and testing a specific material, a conclusion was reached that a material's granularity composition greatly influences that material's filtration capacity. Another important conclusion is that even non-filtering material can be rendered into a well-draining material by changing its granularity composition.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

1. Tallinna Tehnikaülikool, Mäeinstituudi veebiõpik
<http://maeopik.blogspot.com/2010/03/filtratsioonimoodul.html>
2. Hüdrauliline veejuhtivus, veejuhtivuse hindamine terade suuruse põhjal
http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_conductivity
3. Põhjaveekomisjon, Eesti põhjavee kasutamine ja kaitse, Tallinn 2004
http://www.maves.ee/Projektid/2004/PV_raamat.pdf
4. Pinnase parameetrid ja nende mõju põhjaveele, erinevate materjalide filtratsioon
<http://www.co.portage.wi.us/groundwater/undrstnd/soil.htm>
5. Maanteeamet, käskkiri filtratsioonimooduli määramise kohta
http://www.mnt.ee/public/juhendid/Maanteeameti_kaskkiri_nr_0069_14.02.13.pdf
6. EVS-EN 932-2:2000, Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine, Osa 2: Laboratoorsete proovide vähendamise meetodid.
7. AS Teede Tehnokeskus, metoodikakaust, GOST 25584-90 lisa 5 filtratsioonimooduli määramine.
8. EVS-EN 932-1:2000, Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine, Osa 1: Proovivõtumeetodid.
9. EVS-EN 933-1:2012 Täitematerjalide geomeetriliste omaduste katsetamine, Osa 1: Terastikulise koostise määramine, sõelanalüüs.
10. AS Teede Tehnokeskus, metoodikakaust, filtratsioonimooduli määramine Sojuz-Dornii meetodil.

11. „Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismeetodite teaduslik võrdlusuuring ja otstarbeka katsemeetodi standardiseerimine ning Teedeala standardimistegevuse koordineerimine ja osalemine Eurostandardite väljatöötamisel,“ 2013. [Võrgumaterjal]. [Kasutatud 22. märts, 2014].

http://www.mnt.ee/public/teedeala_uuringud/LEP12071_filtratsioonimooduli_lopparuanne.pdf

12. „www.mnt.ee“, Maanteeamet, [Võrgumaterjal]. Available http://www.mnt.ee/failid/juhised/muldkeha_remondi_projekteerimise_juhis.pdf [Kasutatud 12. mai, 2014].

13. „www.cdeglobal.com,“ CDE Global koduleht, [Võrgumaterjal]. Available <http://www.cdeglobal.com/applications/9/construction-and-recycling> [Kasutatud 10. aprill, 2014].

14. Paekivitoodete Tehase OÜ kodulehekülg, CDE tootmisliini avamine <http://www.limestone.ee/et/uudis/eesti-keelne-uudis-1>

15. K. Õunapuu, Paekivitoodete Tehase OÜ ümbertöötlemisliinist. [Intervjuu] 25. aprill, 2014.

LISA 1 MAANTEEAMETI KÄSKKIRI NR 0069



MAANTEEAMET

KÄSKKIRI

Tallinn

14.02.13 nr 0069

Muldkeha ja dreniiki projekteerimine. Filtratsioonimooduli määramine

Majandus- ja kommunikatsiooniministri 22.11.2010. a määruse nr 98 „Maanteeameti põhimäärus“ § 10 p 16 ja § 13 lg 1 alusel:

teede projekteerimise ja teetööde hangete korraldamisel juhinduda Maanteeameti järgmistest nõuetest:

1. Teetöödel kasutatavate pinnaste filtratsioonimoodulid tuleb määrata maksimaalse standardtiheduse (EVS-EN 13286-2 järgselt) ning optimaalse niiskuse juures GOST 25584-90 lisa 5 kohaselt kuni vastavasisulise rahvusliku standardi EVS 901-20 jõustumiseni. EVS-EN 13286-2 järgsed katseandmed tuleb esitada filtratsioonimooduliga ühes ja samas laboriprotokollis.
2. Dreniiki filtratsioonimoodul peab olema:
 - a) 1. ja 2. niiskuspaikkonnas filtratsioonimoodul vähemalt 1m/ööp, dreniiki paksus vähemalt 20 cm;
 - b) 3. niiskuspaikkonnas filtratsioonimoodul vähemalt 2 m/ööp, dreniiki paksus vähemalt 30 cm.
3. Ehitatava muldkeha filtratsioonimoodul aktiivsoonis (katte pinnast kuni 1,5 m sügavuseni) peab olema vähemalt 0,5 m/ööp.
4. Olemasoleva muldkeha materjali väljavahetamise ja dreniiki lisamise vajalikkuse üle otsustavad koostöös tellija ja projekteerija lähtudes majanduslikust otstarbekusest.
5. Tunnistan kehtetuks Maanteeameti peadirektori 16.02.2012. a käskkirja nr 0065 Filtratsioonimooduli määramine.

/allkirjastatud digitaalselt/
Aivo Adamson
Peadirektor

LISA 2 ÜHIKUTA KOEFITSENDI MÄÄRAMINE

Tabel 8

Arvutusteks vajaliku ühikuta koefitsendi määramine [11]

$\frac{s}{H_0}$	$\phi\left(\frac{S}{H_0}\right)$	$\frac{S}{H_0}$	$\phi\left(\frac{S}{H_0}\right)$	$\frac{S}{H_0}$	$\phi\left(\frac{S}{H_0}\right)$
0,01	0,010	0,34	0,416	0,67	1,109
0,02	0,020	0,35	0,431	0,68	1,139
0,03	0,030	0,36	0,446	0,69	1,172
0,04	0,040	0,37	0,462	0,70	1,204
0,05	0,051	0,38	0,478	0,71	1,238
0,06	0,062	0,39	0,494	0,72	1,273
0,07	0,073	0,40	0,510	0,73	1,309
0,08	0,083	0,41	0,527	0,74	1,347
0,09	0,094	0,42	0,545	0,75	1,386
0,10	0,105	0,43	0,562	0,76	1,427
0,11	0,117	0,44	0,580	0,77	1,470
0,12	0,128	0,45	0,598	0,78	1,514
0,13	0,139	0,46	0,616	0,79	1,561
0,14	0,151	0,47	0,635	0,80	1,609
0,15	0,163	0,48	0,654	0,81	1,661
0,16	0,174	0,49	0,673	0,82	1,715
0,17	0,186	0,50	0,693	0,83	1,771
0,18	0,196	0,51	0,713	0,84	1,833
0,19	0,210	0,52	0,734	0,85	1,897
0,20	0,223	0,53	0,755	0,86	1,966
0,21	0,236	0,54	0,777	0,87	2,040
0,22	0,248	0,55	0,799	0,88	2,120
0,23	0,261	0,56	0,821	0,89	2,207
0,24	0,274	0,57	0,844	0,90	2,303
0,25	0,288	0,58	0,868	0,91	2,408
0,26	0,301	0,59	0,892	0,92	2,526
0,27	0,315	0,60	0,916	0,93	2,659
0,28	0,329	0,61	0,941	0,94	2,813
0,29	0,346	0,62	0,967	0,95	2,996
0,30	0,357	0,63	0,994	0,96	3,219
0,31	0,371	0,64	1,022	0,97	3,507
0,32	0,385	0,65	1,050	0,98	3,912
0,33	0,400	0,66	1,079	0,99	4,605