

**Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli
erinevate määramismeetodite teaduslik
võrdlusuuring ja otstarbeka katsemeetodi
standardiseerimine ning Teedeala
standardimistegevuse koordineerimine ja
osalemine Eurostandardite väljatöötamisel**

TTÜ Teedeinstituut

2012-17/L



MAANTEEAMET

Tallinn 2013



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TEEDEINSTITUUT

TEE-EHITUSES KASUTATAVATE FILTRATSIOONIMOODULI ERINEVATE MÄÄRAMISMEETODITE TEADUSLIK VÕRDLUSUURING

TEADUSTÖÖ LÕPPARUANNE

Tallinn 2013

Käesolev teadustöö lõpparuanne on Maanteeameti ja Tallinna Tehnikaülikooli vahel sõlmitud töövõtulepingu Lep12071 „Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismeetodite teaduslik võrdlusuuring ja otstarbeka katsemeetodi standardiseerimine ning Teedeala standardimistegevuse koordineerimine ja osalemine Eurostandardite väljatöötamisel“ teadus- ja arendustöö aruandluse lahutamatuks osaks esindades laboratoorse võrdlusuuringu põhitulemusi ja lõppjäreltusi. Standardimistegevust puudutav arendustöö osa on esitatud Lep12071 lõpparuande lisadena.

Lõpparuande koostaja: lepingu põhitäitja Ott Talvik

Teede ja liikluse teadus- ja katselaboratoorium

TTÜ Teedeinstituut

30.03.2013

Sisukord

SISSEJUHATUS	2
TEADUS- JA ARENDUSTÖÖ EESMÄRK	2
1 TEADUSTÖÖ METOODIKA JA TEOSTUSE KIRJELDUS.....	3
1.1 Teadustöö lähteülesande katsetamise kava	3
1.2 Pinnaseproovide valik ja kogumine	4
1.3 Kasutatavate katsemetoodikate kirjeldus	5
1.3.1 EVS-EN 13286-2 Proctor-teim	5
1.3.2 GOST 22733 Maksimaalse tiheduse määramise laboratoorne meetod ...	6
1.3.3 <i>Sojuzdornii</i> meetodika liivpinnase filtratsioonimooduli määramiseks	6
1.3.4 GOST 25584 Lisa 5 meetodika filtratsioonimooduli määramiseks	8
2 LABORATOORSETE KATSETE TEOSTUS.....	9
2.1 Katsetamise tegevuskava	9
2.2 Pinnaseproovide klassifitseerimine lõimiste alusel.....	9
2.3 Efektiivdiameeter, lõimisetegur ja jaotustegur	6
2.4 Optimaalse veesisalduse ja maksimaalse kuivtiheduse määramine	6
2.5 Filtratsioonimoodulid erinevate määramismeetoditega	8
3 KATSETULEMUSTE ANALÜÜS.....	10
3.1 Pinnasemäärangute erinevusest.....	10
3.2 EVS-EN 13286-2 ja GOST 22733 meetodikatega määratud optimaalse veesisalduse ja maksimaalse kuivtiheduse võrdlus.....	10
3.3 <i>Sojuzdornii</i> ja GOST Lisa 5 meetodikatega määratud filtratsioonimoodulite võrdlus.....	12
3.4 Filtratsioonimooduli ja pinnase peenosiste sisalduse seos	14
KOKKUVÕTE	16
Allikad	17

SISSEJUHATUS

Maanteeameti ehitusobjektidel on omanikujärelevalve juhtinud tähelepanu, et mitmes Maanteeameti dokumendis oli senini nimetatud liiva filtratsiooni määramisel *Sojuzdornii* meetodit. Käesolevaks ajaks on *Sojuzdornii* meetod standardiseeritud (GOST 25584-90, lisa 5) ja erineb varasemast. Nende kahe meetodi erinevus seisneb peamiselt proovi tihendamises, kuid erinevus võib tekkida ka saviosiste osalise väljauhtumise tõttu katsetamise käigus. Soovitatud on teemat põhjalikumalt uurida ja koostada Eesti algupärane standard, mis ühtlustaks erinevate valdkondade (teedehitus, metsa- ja maaparandus) vahelist pinnaste filtratsiooniomaduste määramise metoodilist erinevust.

Puuduse kiireks lahenduseks andis MA 16.02.12 välja käskkirja nr. 0065, kus Teede projekteerimise ja teetööde hangete korraldamisel ning võimalusel lepingute täitmisel Maanteeametis juhendada järgmisest nõudest: „Teetöödel kasutatavate pinnaste filtratsioonimoodulid tuleb määrata maksimaalse standardtiheduse (EVS-EN 13286-2 järgselt) ning optimaalse niiskuse juures GOST 25584 lisa 5 kohaselt kuni vastavasisulise rahvusliku standardi jõustumiseni. EVS-EN 13286-2 järgsed katseandmed tuleb esitada filtratsioonimooduliga ühes ja samas laboriprotokollis.“

Lisaks konkreetse probleemi lahendamisele on väga oluline tagada Eesti teedeala standardite üldisem vastavus kehtivale seadusandlusele ja kasutatavuse tagamine ning soodustamine, seda eelkõige läbi eestikeelsete standardite avaldamise ja kohalikke tingimusi arvestavate parameetrite määramise, mis on kõigi valdkonna osapoolte huvides. Kuna enamus valdkonna standardeid on Euroopa Liidus ühtlustatud, on oluline jälgida valdkonna standardite koostamist ja vajadusel operatiivselt sekkuda vältimaks meie regulatsiooniga konfliktsete kavandite avaldamist standardina või ka normiks muutmist, kus meie kliimaatiliste tingimuste eripära ja traditsiooni ei ole arvesse võetud.

TEADUS- JA ARENDUSTÖÖ EESMÄRK

Teostada filtratsioonimooduli määramise võrdluskatsed tee-ehituses kasutatavate liiv- ja kruuspinnastega erinevate katsemeetodite kohaselt ning võrrelda teaduslikult erinevate metoodikate sobivust filtratsiooniomaduste hindamiseks. Valida analüüsi põhjal optimaalseim standardiseeritav metoodika ja koostada standardikavand.

Arendustööna koordineerida teedeala standardimistegevust, s.h valdkonna standardimise edendamine, standardite ja standardilaadsete dokumentide koostamine, perioodiline ülevaatamine ja vajadusel muutmine või tühistamine ning osalemine rahvusvahelises ja Euroopa standardimises.

1 TEADUSTÖÖ METOODIKA JA TEOSTUSE KIRJELDUS

1.1 Teadustöö lähteülesande katsetamise kava

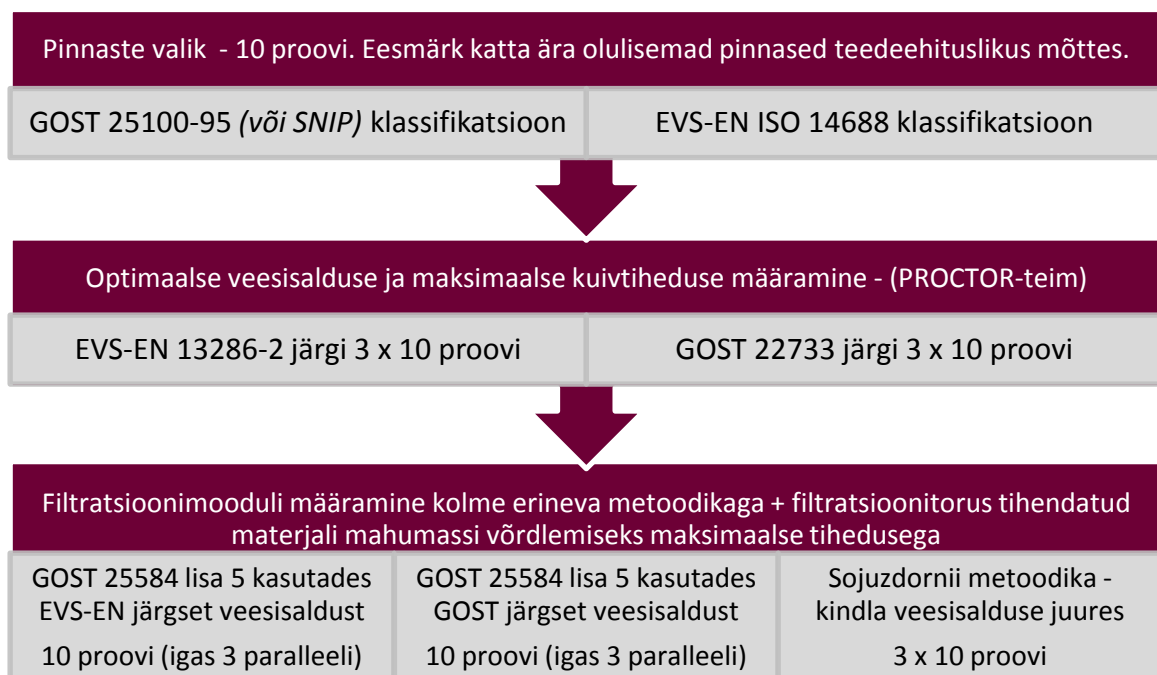
Katsete teostamiseks valitakse vähemalt 10 pinnaseproovi ja määratakse nende klassifikatsioon nii EVS-EN ISO 14688 kui ka GOST 25100-95 (või SNIP 2.05.02.85 Lisa 2 tabel 2) alusel, et kirjeldada pinnase määrang erinevates süsteemides.

MA 16.02.12 käskkirjas nr 0065 on ühtse filtratsioonimooduli määramise metoodika juhendamise aluseks võetud standard GOST 25584, lisa 5, ning maksimaalse tiheduse ja optimaalse niiskuse määramisel on soovitatud kasutada Eurostandardi EVS-EN 13286-2 (euro Proctor-teim) metoodikat. Tuleb märkida, et originaalselt on GOST 25584 metoodikas viidatud GOST 22733 „Maksimaalse tiheduse määramise“ laboratoorsele meetodile, mis on küll põhimõtte poolest sarnane euro Proctor-teimi metoodikale, kuid siiski sisulistes nüanssides erinev.

Seega on võetud eesmärgiks võrrelda, kumb tihendamismetoodika sobib paremini filtratsioonimooduli määramise metoodika (GOST 25584, lisa 5) järgi teostatava katse sisendandmete (optimaalne veesisaldus ja referentstihedus) määramiseks. Selleks määratakse laboratoorselt iga pinnaseproovi optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivtihedus EVS-EN 13286-2 Proctor-teimida ja GOST 22733 maksimaalse tiheduse katsemeetodiga. Iga pinnaseprooviga sooritatakse 3 paralleelkatset. Seejärel määratakse kõikidest pinnaseproovidest filtratsioonimoodul kolme erineva katsemeetodiga:

1. GOST 25584 lisa 5 kasutades EVS-EN 13286-2 järgset veesisaldust;
2. GOST 25584 lisa 5 kasutades GOST 22733 järgset veesisaldust;
3. Sojuzdornii metoodika kasutades kindlat veesisaldust (5 või 6%).

Joonis 1 on esitatud lähteülesande järgne teadustöö katsetamismetoodika kirjeldus.



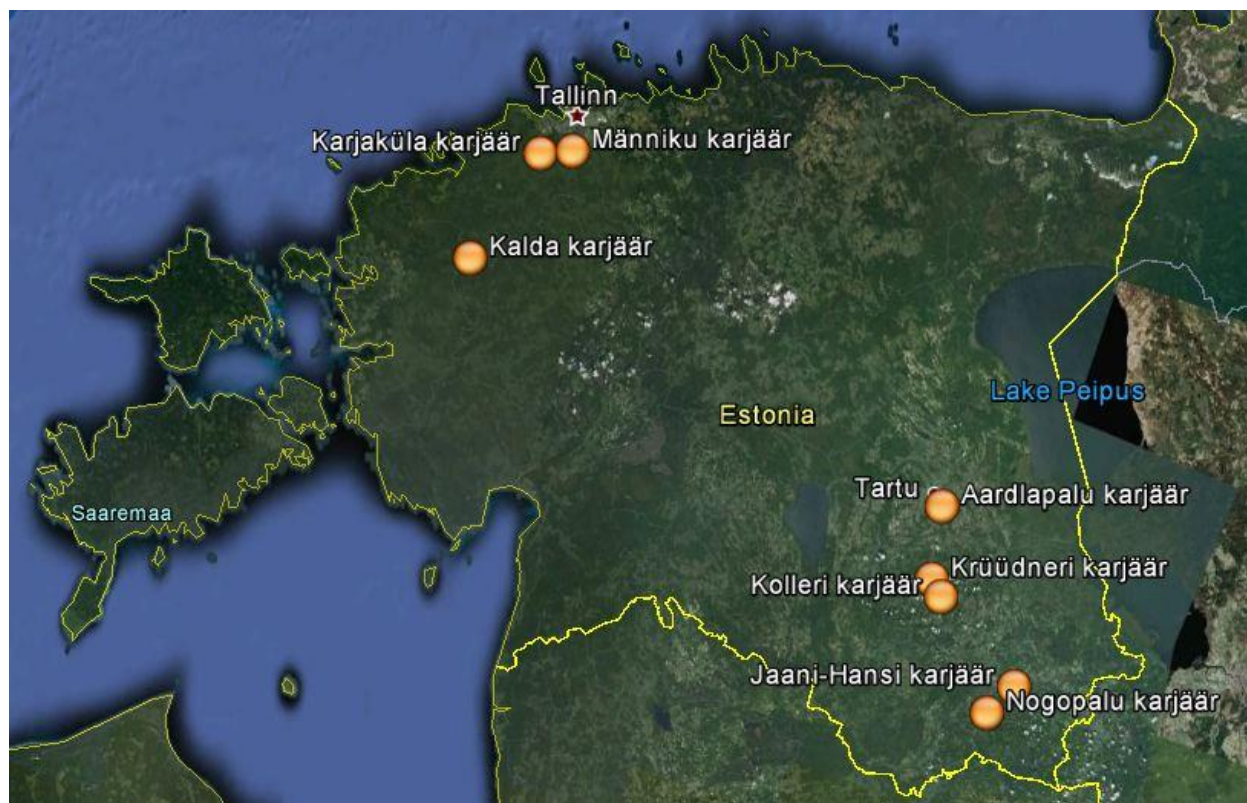
Joonis 1. Teadusuuringu katsetamise plaan lähteülesande järgi

1.2 Pinnaseproovide valik ja kogumine

2012. a. mai kuus koguti ja valmistati ette pinnaseproovid laboratoorseks katsetamiseks. Andmed valitud pinnaseproovide, nende päritolu ja proovide võtmise kuupäevade kohta on esitatud Tabel 1. Valikusse osutunud karjääride asukohad on näidatud Joonis 2.

Tabel 1. Laboratoorsetesse katsetesse valitud pinnaseproovid

Jrk nr	Proovi labori reg. nr.	Pinnase- (materjali-)proov		Proovi võtmise kuupäev
		Välimäärang	Päritolu	
1	120504-17	Sõelutud liiv	Männiku karjäär (AS Kiirkandur)	04.05.2012
2	120505-18	Sõelutud liiv	Karjaküla karjäär	05.05.2012
3	120505-19	Sõelutud liiv	Kalda karjäär	05.05.2012
4	120508-20	Keskliiv	Luige liiklussõlm, drenkiht	08.05.2012
5	120509-21	Sõelutud jämeliiv	Ropka (Aardlapalu) II	09.05.2012
6	120509-22	Peenliiv	Ropka (Aardlapalu) I	09.05.2012
7	120509-23	Sõelutud liiv	Kolleri karjäär	09.05.2012
8	120509-24	Sõelutud liiv	Jaani-Hansi karjäär	09.05.2012
9	120509-25	Veeristega liiv	Krüüdneri karjäär (Kalda)	09.05.2012
10	120509-26	Veeristega liiv	Nogopalu I	09.05.2012
11	120509-27	Veeristega liiv	Nogopalu II	09.05.2012



Joonis 2. Pinnaseproovide valikusse osutunud karjääride asukohad (kaardipõhi Google Earth)

1.3 Kasutatavate katsemetoodikate kirjeldus

1.3.1 EVS-EN 13286-2 Proctor-teim

Proctor-teim on katse, mille käigus pinnaseproov tihendatakse terasest vormi kasutades selleks määratud tihendamisenergiaga tihendushaamrit. Proctor-teim koosneb vähemalt viiest üksikust osaproovist erinevatel veesisaldustel ja võimaldab määrata sõltuvuse veesisalduse (w) ja kuivtiheduse (ρ_d) vahel. Eesmärgiks on määrata maksimaalne kuivtihedus. Seega, mõiste Proctor-tihedus (või ka standardne tihedus), tähistab laboratoorset võrdlustihedust, mis on määratud kuivtiheduse ja veesisalduse vahelisest seosest tüüpiliselt graafiku haripunktina. Teatud materjalide puhul esineb erandjuhte, kui veesisalduse ja kuivtiheduse seose graafikul ei moodustu selgelt eristuvat haripunkti (näiteks isedreenivad sidumata segud).

Originaalselt on see pinnase lööktihendamise katsemetoodika väljatöötatud Ralph R. Proctor'i poolt 1933. a., et näidata pinnaseosakeste praktilist (mitte teoreetilist) maksimaalset mehaanilise „pakkimise“ (vähima poorsusega paigutumise) võimekust suurima kuivtiheduse juures. Veesisaldust, mis on vajalik Proctor-tiheduse (maksimaalse kuivtiheduse) saavutamiseks, nimetatakse optimaalseks veesisalduseks.

Käesolevas uuringus kasutatakse ühe variandina liiv- ja kruuspinnasest karjäärimaterjalide veesisalduse ja kuivtiheduse sõltuvuse määramiseks standardi EVS-EN 13286-2:2010/AC:2012 kohast katsemetoodikat. Antud standardi käsitusallas on öeldud, et standard kehtib ainult täitematerjali sidumata ja hüdrauliliselt seotud segude kohta, mida kasutatakse teedehitus- ja tsiviilehitustöödel, ning ei kehti mullatööde pinnase puhul (EVS-EN 13286-2:2010). Euroopa standardina eraldi Proctor-teimi metoodikat pinnase katsetuseks ei ole, kuigi originaalselt on see metoodika väljatöötatud just pinnase tihenemisomaduste määramiseks. Seega on vaieldav standardi EVS-EN 13286-2 kasutamine nõ liivade ja kruusade korral, mis ei täida sidumata segude nõudeid. Samas on EVS-EN 13286-2 metoodika suures osas kasutatav ka liiv- ja kruuspinnase Proctor-teimina, kuna ei oma märkimisväärseid sisulisi erinevusi standardse pinnase Proctor-teimiga (näiteks ASTM D698:2007 või BS 1377: part 4:1990 või DIN 18127:1997-11). Standardis EVS-EN 13286-2 on lihtsalt laiendatud ja täpsustatud metoodikat erineva terasuurusega segudele ning nn isedreenivatele segudele.

Proctor-teimis katsetatav seguproov tuleb võtta standardis EN 13286-1 kirjeldatud protseduuri kohaselt. Standardis EN 933-1 kirjeldatud sõelumisprotseduuri kohaselt määratakse 16 mm, 31,5 mm või 63 mm katesõelu läbinud seguproovi terade ligikaudne mass protsentides (täpsusega $\pm 5\%$). Selleks hindamiseks kasutatud materjali ei või kasutada tihenduskatsel. Neid protsente kasutatakse proovi ettevalmistusmeetodi, segu nõutava minimaalse massi ja tihenduskatsel kasutatava vormi tüübi valimiseks. Segud, mis läbivad täielikult 16 mm katesõela jagatakse standardi EN 13286-1 kohaselt viieks või enamaks esindusprooviks, vastavalt vormi A jaoks igaüks ligikaudu 2,5 kg. Iga proov segatakse põhjalikult vastavalt erinevate veekogustega saavutamaks sobiv veesisaldus. Veesisaldused peavad olema sellised, et vähemalt kaks väärtust jäävad kahele poole maksimaalse kuivtiheduse

saavutamiseks vajalikku optimaalset veesisaldust. Katse alguses segusse segatava vee kogus sõltub katsetatava segu tüübist. Üldiselt on liiva- ja kruusasegude korral sobiv 4 % kuni 6 % veesisaldus ja sobiv veesisalduse intervall 1 % kuni 2 %. Testi täpsuse suurendamiseks on optimaalse veesisalduse läheduses soovitatav valmistada segu veesisalduste väiksemate intervallidega. Optimaalse veesisalduse 0,8 kuni 1,2 kordsesse vahemikku peab jääma kolm või neli veesisaldust. On oluline, et vett segataks segusse põhjalikult ja piisavalt, sest ebapiisav segamine põhjustab katsetulemuste varieeruvust. (EVS-EN 13286-2:2010 2011)

1.3.2 GOST 22733 Maksimaalse tiheduse määramise laboratoorne meetod

GOST 22733 „Maksimaalse tiheduse määramise laboratoorne meetod“ (ГОСТ 22733-2002) on põhimõttelt väga sarnane Proctor-teimi meetodikale. Kuid vastupidiselt standardi EVS-EN 13286-2 käsitlusalas öeldule, on standardi GOST 22733 meetodika mõeldud pinnase maksimaalse tiheduse määramiseks, kusjuures proovi haaratakse vaid alla 10 mm osakesed.

Kahe meetodi põhiline erinevus seisneb kasutatava vormi mõõtmetes ja kõige enam tihendushaamri talle suuruses. Kui standardses Proctor-teimis kasutatakse tihendamiseks 2,5 kg kaaluvat haamrit diameetriga 50 mm, langemiskõrgusega 305 mm ja löökide arvuga 25 korda ühe kihi kohta, siis GOST-i meetodikas on kasutusel 2,5 kg kaaluv 100 mm diameetriga haamer, langemiskõrgusega 300 mm ja löökide arvuga 40 korda ühe kihi kohta.

GOST 25584-90 lisas 5 viidatakse maksimaalse tiheduse ja optimaalse niiskuse (venekeelses terminoloogias kasutatakse „veesisalduse“ asemel mõistet „niiskus“) määramiseks standardile GOST 22733-77, kuid kuna 2002. a. on välja antud selle standardi uustöötlus, siis käesolevas töös on lähtutud standardist GOST 22733-02.

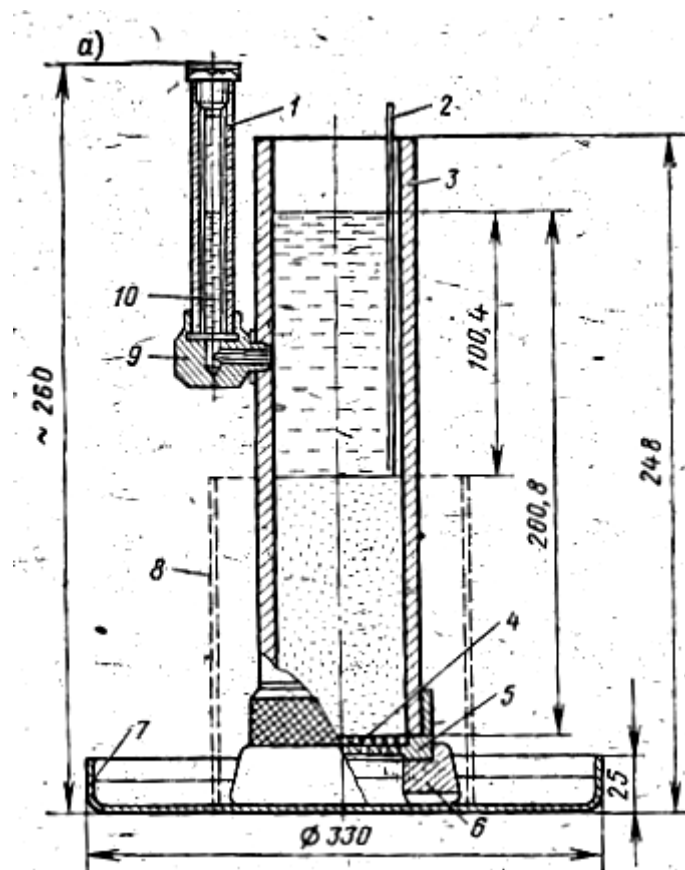
1.3.3 Sojuzdornii meetodika liivpinnase filtratsioonimooduli määramiseks

Sojuzdornii meetodika all liivpinnase filtratsioonimooduli määramiseks mõistetakse siinkohal standardi GOST 25584 Lisa 5 eelset standardiseerimata, kuid eriala teadmikes kirjeldatud meetodikat. Seda meetodit on kirjeldatud kui „liivade filtratsiooniteguri määramine teekonstruktsiooni külmakaitse- ja drenkihtides“. Antud meetodika lühikirjeldus on antud alljärgnevalt.

Eelnevalt kuivatud pinnaseproov sõelutakse läbi 5 mm sõela ja võetakse keskmine proov massiga 450 g. Liivale lisatakse vett vastavalt: peeneteralisele liivale 6 % ja keskmise- ning jämedateralisele liivale 5 %. Niisutatud proov segatakse ja kaetakse kilega ning jäetakse seisma 20 minutiks. Niisutatud proovist võetakse 360 g pinnast ja jagatakse see kolmeks (igas 120 g). Proov tihendatakse haamriga, massiga 0,5 kg ja langemiskõrgusega 30 cm, silindrisse (torusse) kolmes kihis, 25 lööki iga kihi kohta. Viimase kihi tihendamisel tehakse kõigepealt 15 lööki ja seejärel kontrollitakse kihi kõrgust ja parandatakse seda vajaduse korral pinnase ära võtmise või juurde lisamisega ning seejärel tehakse viimased 10 lööki.

Pinnasekihi paksus torus peab olema 100,4 mm. Kuna toru kogupikkus on 220 mm, siis vahemik toru suudmest pinnasekihini peab olema 119,6 mm. Toru läbimõõt on 50,4 mm, seega on toru ristlõike pindala 19,94 cm². Kui kihi paksus on 100,4 mm, siis on pinnase ruumala 200 cm³. Kuna algne pinnase kogus oli 360 g ja juhul, kui

tuli pinnast viimasesse kihti juurde lisada, siis on teada kogu pinnase mass torus ning seega pinnase tihedus torus lihtsalt arvutatav.



Joonis 3. Sojuzdornii originaalvorm

Seejärel asetatakse toru koos pinnasega veega küllastamiseks veeanumasse. Vett valatakse algul poole pinnasekihi kõrguseni, seejärel vett vähehaaval lisatakse, kuni veepind ulatub üle pinnasekihi ja veetase torus tõuseb 20 mm üle pinnase. Liiva veega küllastamiseks alt on toru alus selliselt tehtud, et veel oleks vaba juurdevool pinnasesse. Olenevalt liiva lõimisest ja tihedusest kulub erinev aeg pinnase veega küllastamiseks.

Pärast veega küllastamist täidetakse toru veega kuni piesomeetri ülemise näiduni ja mõõdetakse vee temperatuur. Veetaseme languse kiirust mõõdetakse stopperiga, mõõtmine toimub meniski alumise pinna järgi piesomeetri skaalalt 0 kuni 5 cm või 0 kuni 3 cm. Sõltuvalt filtratsioonikiirusest võidakse katse läbi viia, kas hüdraulilise gradiendi $I=1$ või $I=2$ juures (juhul, kui $I=1$ juures kulub 5 cm languseks rohkem kui 10 min). Vastavalt mõõdetud ajale ja vee temperatuurile arvutatakse filtratsioonikoefitsient ($m/ööp$), mis antakse temperatuuril $10\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$K_{10} = \frac{\frac{l}{t''} \phi \left(\frac{S}{H_0} \right) 864}{r}$$

kus l – filtreeruva pinnasekihi kõrgus, cm (antud juhul 10 cm);

t'' – aeg, mille jooksul langeb veetase piesomeetris 0-st kuni 3 cm-ni või 5 cm-ni, s;

S – veetaseme langus piesomeetris aja t'' jooksul, cm (3 või 5 cm);

h_0 – veetasemete kõrguse vahe torus ja anumal. Hüdraulilise gradiendi $I=1$ korral, $h_0=200,8 - 100,4 = 100,4$ mm või 10 cm; $I=2$ korral, $h_0=200,8 - 0 = 200,8$ mm või 20 cm;

864 – ülemineku koefitsient (cm/s $\rightarrow$ m/ööp);

r – temperatuuri parandustegur; $r=0,7+0,03 T^\circ$;

T° – veetemperatuur katse käigus.

1.3.4 GOST 25584 Lisa 5 meetodika filtratsioonimooduli määramiseks

Standardi GOST 25584-90 Lisa 5 „Liivpinnase filtratsioonikoefitsiendi määramine, kasutamiseks teede ja lennuväljade ehituses“ (ГОСТ 25584-1990) aluseks oli varasemalt juba kirjeldatud Sojuzdornii meetodika ja selle standardiseerimisega 1990.a. toimus meetodika täiendamine ja täpsustamine. Alljärgnevalt on kirjeldatud, millised muudatused see endaga kaasa tõi.

Esimene erinevus kahe meetodi puhul seisneb vee lisamises katseproovile. Varasemalt kirjeldatud Sojuzdornii meetodi puhul lisatakse 450 g materjali proovile vett vastavalt niipalju, et saavutatakse kas 6% niiskus- (peeneteraliste liivade puhul) või 5% niiskussisaldus (keskmise- ja jämedateraliste liivade puhul). GOST 25584-90 lisa 5 järgi tuleb katsetatav materjal niisutada optimaalse veesisalduseni. Optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivtihedus määratakse eelnevalt GOST 22733 järgi. Mõlema meetodi puhul tuleb niisutatud proov segada ning jätta õhukindlalt kaetuna seisma. GOST 25584-90 lisa 5 on täpsustavalt välja toodud, et proov tuleb paigutada eksikaatorisse ja hoida seal vähemalt 2 tundi, kuid keskmise ja suure teramõõduga proovid ei vaja eksikaatoris hoidmist. Eelnevalt kirjeldatud Sojuzdornii meetodi puhul tuleb proov katta kilega ning lasta seista 20 minutit.

Teine põhiline erinevus kahe katsemeetodi vahel seisneb materjali tihendamises katseseadme silindrisse. Eelnevalt kehtinud Sojuzdornii meetodi puhul tihendati proov torusse kolme kihina, tihendades igat kihti 25 löögiga. GOST 25584-90 lisa 5 järgi tihendatakse proov torusse samuti kolmes võrdses kihis, kuid iga kiht tihendatakse 40 haamrilöögiga. Katsetatava materjali kolme kihi kõrgus peab olema 100 ± 1 mm. GOST 25584-90 lisa 5 näeb täiendavalt ette, et katsetatava materjali peale asetatakse materjal fraktsiooniga 2/5 5-10 mm paksuselt.

GOST 25584-90 lisa 5 järgi tuleb katset korrata mitte vähem kui neli korda ning arvesse võetakse katsete keskmine tulemus. Vastavalt mõõdetud ajale ja vee temperatuurile arvutatakse filtratsioonimoodul. GOST 25584-90 lisa 5 järgi katset läbi viies peab erinevus katsetatava materjali kuivtiheduse ja eelnevalt määratud maksimaalse kuivtiheduse vahel jääma vahemikku $\pm 0,02$ g/cm³. Kui erinevus on suurem, siis katset korratakse.

Lõpptulemuse arvutamine toimub sama valemi alusel, kasutatakse mõnevõrra erinevat tähistust:

$$K_{10} = \frac{h}{t} \varphi \left(\frac{S}{H_0} \right) 864 / T$$

2 LABORATOORSETE KATSETE TEOSTUS

2.1 Katsetamise tegevuskava

Katsete läbiviimist alustati lähteülesandes paika pandud metoodilise skeemi alusel.

1. Ettevalmistatud pinnaseproovid viidi lõimise ja pinnase liigituse (GOST 25100-95* ja EVS 1997-1:2003 alusel) määramiseks Eesti Keskkonnauuringute keskuse Geotehnikalaborisse.
2. TTÜ Teedeinstituudi laboris alustati paralleelselt pinnaseproovide (materjalide) optimaalse veesisalduse ja maksimaalse kuivtiheduse määramist EVS-EN 13286-2 ja GOST 22733 metoodika järgi.
3. Seejärel määrati filtratsioonimoodul GOST 25584 lisa 5 metoodika järgi kasutades EVS-EN Proctor-teimi järgset veesisaldust ning kasutades GOST-i maksimaalse tiheduse metoodika järgset veesisaldust. Katsete läbiviimisel registreeriti filtratsioonitorus saavutatud kuivtihedus ja võrreldes seda Proctor-teimi tulemusega leiti proovi tihendustegur.
4. Lisaks määrati filtratsioonimoodul kasutades Sojuzdornii esialgset metoodikat kindla veesisalduse juures (5 või 6%).

2.2 Pinnaseproovide klassifitseerimine lõimiste alusel

Eesti Keskkonnauuringute keskuse Geotehnikalaboris teostati pinnaseproovide lõimiste määramised nii GOST-i kui ka Euro sõelte baasil. Lõimiste alusel määrati pinnaste nimetused vastavalt GOST 25100-95*(MA parandus 2006) ja EVS 1997-1:2003 klassifikatsioonile. Proovide määrangud koos lõimiseandmetega (efektiivdiameetrid ja lõimisetegur) on esitatud Tabel 2.

Oluline on siinkohal mainida, et standardi EVS 1997-1:2003 lisa I (Eesti pinnaseliigitus) kaotas küll 2010. aastal juriidiliselt kehtivuse, kuid eesti keelde tõlgitud standardid EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 seda pinnaseliigitust ei asenda (Lemberg 2012). Kuna pinnaseliigituse koha pealt on lähituleviku standardiseerimine veel lahtine, aga samas nähakse väärtusliku baasina EVS 1997-1:2003 liigituse versiooni, siis antud uuringus on võetud klassifitseerimise aluseks just see dokument.

Tabel 2 on ilmekalt näha, millist informatsiooni kannab endas pinnase liigituse määrang ja kuidas üks või teine metoodika pinnase kohta olulist edasi anda võimaldab. Näiteks ei selgu paljudest GOSTi määrangutest, vaatamata otseselt lõimist, kas pinnas sisaldab jämepurdu või mitte. Samuti ei anna GOSTi nimetus infot savikate osiste kohta.

Käesoleva aruande Lisades 1 ja 2 on esitatud Eesti Keskkonnauuringute keskuse Geotehnikalabori katseprotokollide koopiad lõimiste koondtabelitest. Tabelites on värvidega esile tõstetud suuremad peenosiste, mölli ja saueosise protsendid.

Tabel 2. Keskkonnauuringute keskuse Geotehnikalaboris määratud pinnaste kirjeldus

KKLAB nr.	Koht	Pinnase määrang EVS 1997- 1:2003	d_{10} mm	d_{30} mm	d_{50} mm	d_{60} mm	C_u
2478B	Männiku karjäär, sõelutud liiv	keskliiv	0,23	0,40	0,53	0,63	2,7
2480B	Karjaküla karjäär, sõelutud liiv	kruusaga keskliiv	0,14	0,23	0,30	0,33	2,4
2481B	Kalda karjäär, sõelutud liiv	rohke kruusaga keskliiv	0,082	0,19	0,32	0,41	5,0
2479B	Luige liiklussõlm, drenkiht, jämeliiv	kruusaga jämeliiv	0,21	0,48	0,74	0,95	4,5
2477B	Ropka (Aardlapalu) II, sõelutud jämeliiv	kruusaga keskliiv	0,11	0,20	0,33	0,45	4,1
2476B	Ropka (Aardlapalu) I, peenliiv	peenliiv	0,08	0,12	0,16	0,17	2,1
2475B	Krüüdneri (Kalda) karjäär, veeristega liiv	kruusaga keskliiv	0,15	0,30	0,51	0,73	4,9
2473B	Jaani-Hansi karjäär, sõelutud liiv	kruusaga keskliiv	0,11	0,18	0,25	0,31	2,8
2474B	Kolleri karjäär, sõelutud liiv	kruusaga keskliiv	0,21	0,41	0,63	1,00	4,8
2472B	Nogopalu II, veeristega liiv	kruusaga savikas keskliiv	0,079	0,18	0,30	0,37	4,7
2471B	Nogopalu I, veeristega liiv	kruusaga savikas keskliiv	0,08	0,21	0,40	0,60	7,5
KKLAB nr.	Koht	Pinnase määrang GOST 25100-95*	d_{10} mm	d_{30} mm	d_{50} mm	d_{60} mm	C_u
2478A	Männiku karjäär, sõelutud liiv	keskliiv	0,24	0,32	0,44	0,53	2,2
2480A	Karjaküla karjäär, sõelutud liiv	keskliiv	0,13	0,20	0,30	0,33	2,5
2481A	Kalda karjäär, sõelutud liiv	keskliiv	0,09	0,17	0,31	0,41	4,6
2479A	Luige liiklussõlm, drenkiht, jämeliiv	jämeliiv	0,19	0,42	0,74	1,00	5,3
2477A	Ropka (Aardlapalu) II, sõelutud jämeliiv	keskliiv	0,12	0,19	0,32	0,43	3,6
2476A	Ropka (Aardlapalu) I, peenliiv	peenliiv	0,10	0,13	0,16	0,18	1,8
2475A	Krüüdneri (Kalda) karjäär, veeristega liiv	jämeliiv	0,15	0,31	0,51	0,70	4,7
2473A	Jaani-Hansi karjäär, sõelutud liiv	peenliiv	0,11	0,17	0,24	0,31	2,8
2474A	Kolleri karjäär, sõelutud liiv	jämeliiv	0,25	0,39	0,61	0,81	3,2
2472A	Nogopalu II, veeristega liiv	keskliiv	0,079	0,16	0,30	0,37	4,7
2471A	Nogopalu I, veeristega liiv	kruusliiv	0,11	0,29	0,51	0,85	7,7

2.3 Efektiivdiameeter, lõimisetegur ja jaotustegur

Tabel 2 on esitatud täiendava infona pinnase efektiivdiameetrid d_{10} , d_{30} , d_{50} ja d_{60} . Efektiivdiameeter on selline lõimisekõveralt määratud läbimõõt, millest väiksemaid pinnaseosakesi on vastav protsent – näiteks d_{10} on vastava lõimise järgi määratud diameeter, millest väiksemaid pinnaseosakesi on 10% pinnase kogukaalust.

Efektiivdiameetrite d_{60} ja d_{10} suhet nimetatakse lõimiseteguriks (ühtlusteguriks) C_U :

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Alternatiivina või täiendavalt võib kasutada ka jaotustegurit (kõverategur) C_C , mis väljendatakse:

$$C_C = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

Jämedateralise pinnase jaotus lõimiseteguri C_U ja jaotusteguri C_C järgi EVS-EN ISO 14688-1:2002 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 alusel on esitatud Tabel 3.

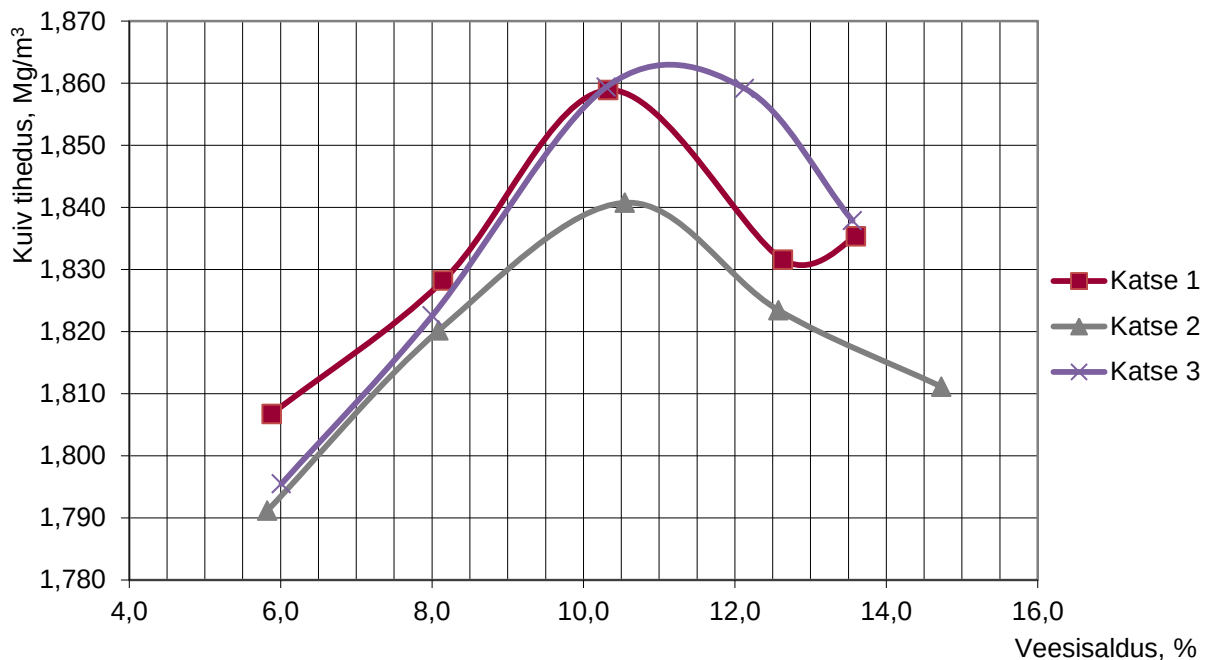
Tabel 3. Pinnase jaotus lõimiseteguri ja jaotusteguri alusel

Pinnase jaotus	C_U	C_C
Väga ebaühtlane	>15	1...3
Ebaühtlane	6...15	<1
Ühtlane	<6	<1

Lõimiseteguri alusel oli kõikide käesoleva uuringu pinnaseproovide puhul, välja arvatud Nogopalu I karjäärast pärit veeristega liiv, tegemist ühtlase lõimisega pinnasega. Geotehnikas kasutatakse erinevates riikides ka teisi C_U jaotisi pinnase ühtluse määramiseks (näiteks loetakse ühtlaseks $C_U < 3$ või < 4). Seega võiks ühetaoliste ühtlasemate pinnaste omavaheliseks eristamiseks kasutada EVS-EN ISO klassifikatsioonist erinevat C_U väärtust.

2.4 Optimaalse veesisalduse ja maksimaalse kuivtiheduse määramine

Esimeste katsete käigus ilmnid probleemid jämedat purdu sisaldavate materjalidega. Määrates sellisele materjalile Proctor-teimiga optimaalset veesisaldust ja maksimaalset kuivtihedust (Joonis 4) on kivise osa tõttu kuivtihedus suur ja veesisaldus väiksem, kui peenemal pinnasel. Kuna aga Sojuzdornii filtratsioonikatses kasutatakse fraktsiooni 0/5 mm (GOSTi ümarsõelaga määratud), siis ei kaasata proovi jämedamat purdu ja sellisel viisil ei ole filtratsioonitorus võimalik saavutada maksimaalse tiheduse (võrreldes Proctor-teimi tulemusega) lähedast olukorda (Tabel 4).



Joonis 4. Kalda karjääri sõelutud liiv – Proctor-teim fraktsioonile 0/16 mm (3 paralleeli)

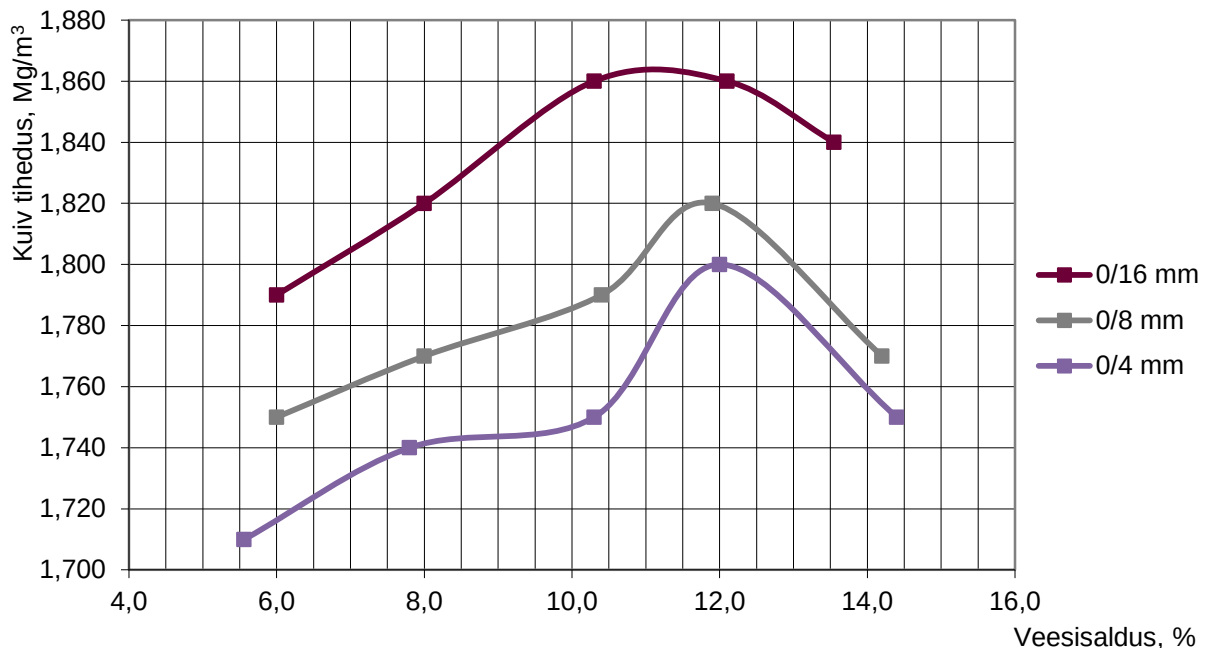
Tabel 4. Filtratsioonimooduli katsetulemus Euro Proctoriga määratud veesisalduse juures

	Katsed 1-3 keskmine filtratsioonimoodul K_{10}		Keskmine tihedus	Tihendustegur	Keskmine veesisaldus
MA uuring	mööp		Mg/m³	-	%
liiv	0,6		1,75	0,94	10,8
120505-19					
EURO PROCTORI MAX TIHEDUS ja OPT VEE SIS.					

Antud probleemi lahenduseks pakuti välja järgnev moodus. Määrata jämedapuru sisaldavatel materjalidel optimaalne veesisaldus peenemale fraktsioonile – eraldades jämedama osise näiteks 8 mm või 4 mm ruutavaga sõelaga (Joonis 5). Nagu jooniselt näha, siis fraktsiooni 0/4 mm maksimaalne kuivtihedus on tunduvalt väiksem, kui jämedamatel fraktsioonidel ning sobib seetõttu paremini referentstiheduseks.

Kuna 4 mm ruutavaga sõel on 5 mm ümaravaga sõelale lähedaseim, siis lepitati Tellijaga kokku, et edaspidi kasutada Proctor-teimis ainult 0/4 mm fraktsiooni. Nii leitakse optimaalne veesisaldus sellele fraktsioonile, mida ka realselt filtratsioonimooduli määramise katses kasutatakse (0/5 mm ümarava järgi).

Võimalik oleks filtratsioonimooduli katses kasutada samuti 4 mm ruutavaga (ehk eurosõela) sõelaga eraldatud materjali. Nii ei oleks meetoodika otseselt vastavuses standardi GOST 25584 lisa 5-ga, kus on ettenähtud kasutada 5 mm ümaravaga sõela (ehk GOSTi sõela). Seetõttu pole ka antud töös seda muudatust tehtud – see tähendab, et kõik filtratsioonimooduli katsed on teostatud fraktsioonidele 0/5 mm (määratud ümaravadega GOSTi sõela järgi).



Joonis 5. Kalda karjääri sõelutud liiv – Proctor-teim fraktsioonidele 0/16, 0/8 ja 0/4 mm

2.5 Filtratsioonimoodulid erinevate määramismeetoditega

Kuna GOST 25584 lisa 5 näeb ette filtratsioonimooduli määramise viisil, mis eeldab proovi maksimaalse tihedust, siis tuleb katses tagada pinnase optimaalne veesisaldus. Nimetatud standard näeb ette optimaalse veesisalduse määramise GOST 22733 meetodika alusel. Antud uuringus on võetud võrdluse jaoks alternatiivse EVS-EN 13286-2 meetodika alusel määratud veesisaldus. Nagu juba eelnevalt mainitud, siis tihendamismetoodikate erinevuse tõttu on lõpptulemused üksteisest erinevad.

Tabel 5 on esitatud pinnaseproovidele määratud optimaalsed veesisaldused ja maksimaalsed kuivtihedused nii EVS-EN 13286-2 kui ka GOST 22733 meetodikaga ning vastavatel veesisaldustel tihendatud proovide filtratsioonimoodulid määratuna GOST 25584 lisa 5 meetodikaga. Tabeli viimases veerus on esitatud Sojuzdornii meetodika alusel etteantud veesisalduse juures (kesk- ja jämeliivadel 5%, peenliival 6%) määratud filtratsioonimoodulid. Kuna Sojuzdornii meetodikaga ei saavutata väiksema veesisalduse ja vähesemate tihendamislöökidega katseproovi tihedust, mis annaks tihendusteguri väärtuseks 1,00 või vähemalt 0,99, siis tulevad ka filtratsioonimooduli väärtused palju suuremad. Tabelist on näha, et erinevate meetodikate alusel määratud optimaalsed veesisaldused ei erine üksteisest nii palju kui maksimaalsed kuivtihedused. Enamikel juhtudel määrati GOST 22733 meetodikaga kõrgem maksimaalne kuivtihedus võrreldes Euro Proctor-teimiga.

Tabel 5. Pinnaseproovide filtratsioonimoodulid erinevate määramismeetoditega

Proovi labori reg nr.	Proovist eraldatud fraktsiooni 0/4 mm optimaalne veesisaldus (%) ja maksimaalne kuivtihedus [Mg/m ³]		GOST 25584 lisa 5 järgi keskmine filtratsioonimoodul K ₁₀ [m/ööp]		Sojuzdornii metoodika alusel etteantud veesisalduse juures määratud filtratsioonimoodul K ₁₀ [m/ööp]
	EVS-EN 13286-2	GOST 22733	EVS-EN 13286-2 veesisalduse juures tihendatud proov	GOST 22733 veesisalduse juures tihendatud proov	
120504-17	15,1% 1,71 Mg/m ³	14,6% 1,75 Mg/m ³	9,6	9,0	19,5
120505-18	16,0% 1,64 Mg/m ³	16,1% 1,65 Mg/m ³	2,0	2,7	5,2
120505-19	13,0% 1,78 Mg/m ³	13,1% 1,78 Mg/m ³	0,40	0,20	1,8
120508-20	10,4% 1,85 Mg/m ³	10,2% 1,90 Mg/m ³	0,67	0,75	5,2
120509-21	13,8% 1,75 Mg/m ³	13,0% 1,78 Mg/m ³	1,1	1,2	3,5
120509-22	18,5% 1,56 Mg/m ³	18,6% 1,56 Mg/m ³	2,9	2,2	4,1
120509-23	11,3% 1,78 Mg/m ³	11,4% 1,81 Mg/m ³	2,5	5,0	14,3
120509-24	15,0% 1,65 Mg/m ³	15,2% 1,65 Mg/m ³	0,85	0,40	4,3
120509-25	13,0% 1,79 Mg/m ³	12,5% 1,80 Mg/m ³	2,3	2,3	5,7
120509-26	11,1% 1,88 Mg/m ³	10,0% 1,90 Mg/m ³	0,02	0,02	2,6
120509-27	10,6% 1,85 Mg/m ³	11,0% 1,87 Mg/m ³	0,06	0,03	1,4

Märkus:

Tabelis on esitatud 3 esindusliku paralleelkatse (paljudel juhtudel on teostatud rohkem paralleele) keskmised tulemused, täielik katsetulemuste koondtabel (koos veesisalduste, kuivtiheduste ja tihendusteguritega) on esitatud [Lisas 25](#).

[Lisas 25](#) esitatud koondtabelis on erinevate värvidega esile tõstetud katsed, mis viidi läbi kasutades gradienti 1; juhud, kui üksikkatse tulemus erines üle 10%; üksikproovid, mille korral ei saavutatud piisavat tihendustegurit või tulemus on mittepiisava tihendusteguri tõttu ebausaldusväärne.

Selliste katseseeriade korral, mis ei andnud ühtlaseid paralleeltulemusi (üksikkatse erines üle 10% kahe sarnasema keskmisest), viidi läbi uus katseseeria. Teatud juhtudel tuli teostada ka kolmas katseseeria. Kahe või enama katseseeria puhul valiti lõpptulemuseks ühtlaseima (kõige esinduslikum) katseseeria keskmine või üksikproovide suuremate erinevuste korral, kolme kõige lähedasema tulemusega üksikproovi keskmine.

[Lisa 25](#) tabelis esitatud GOST 25584 lisa 5 metoodikaga määratud tulemusi analüüsides tuleb silmas pidada veel seda, et sisuliselt on nii Euro Proctor-teimi kui ka GOST 22733 veesisaldusel tihendatud proovide puhul tegemist omavaheliste paralleelkatsetega. Need erinevad üksteisest vaid veesisalduse poolest, mistõttu saavutatakse filtratsioonimooduli seadmes veidi erinev tihedus ning see mõjutab kokkuvõttes lõpptulemust.

3 KATSETULEMUSTE ANALÜÜS

3.1 Pinnasemäärangute erinevusest

Käesoleva vahearuande [Lisades 26 ja 27](#) on esitatud pinnaseproovide lõimiste koondandmed määratuna CEN ISO/TS 17892-4:2004 ja GOST 5180-84; GOST 12536-79 teimimismeetoditega. Lisades esitatud pinnaste klassifikatsioonid on antud vastavalt EVS 1997-1:2003 ja GOST 25100-95 alusel. [Lisade 25 ja 26](#) tabelites on esitatud peenliiva ($<0,2$ või $<0,25$ mm), erinevas suuruses mölli ($<0,06$ või $<0,05$) ja saue ($<0,002$ mm) osiste protsentuaalsed sisaldused antud pinnaseproovides. Tabelite viimases veerus on esitatud vastavatele pinnaseproovidel määratud filtratsioonimoodulid GOST 25584 lisa 5 metoodika järgi Euro Proctor-teimi veesisaldustel.

Võrreldes omavahel CEN ISO/TS 17892-4:2004 ja GOST 5180-84; GOST 12536-79 teimimismeetoditega määratud peenosiste sisaldusi ja filtratsioonimooduleid võib jällegi öelda, et ühtlasemat hinnangut võimaldab anda Euro-metoodika. GOSTi metoodika puhul esineb sarnaseid peenemate osiste ($<0,01$ ja $<0,002$ mm) sisaldusi nii drenivate kui ka vähem drenivate pinnaseproovide puhul.

3.2 EVS-EN 13286-2 ja GOST 22733 metoodikatega määratud optimaalse veesisalduse ja maksimaalse kuivtiheduse võrdlus

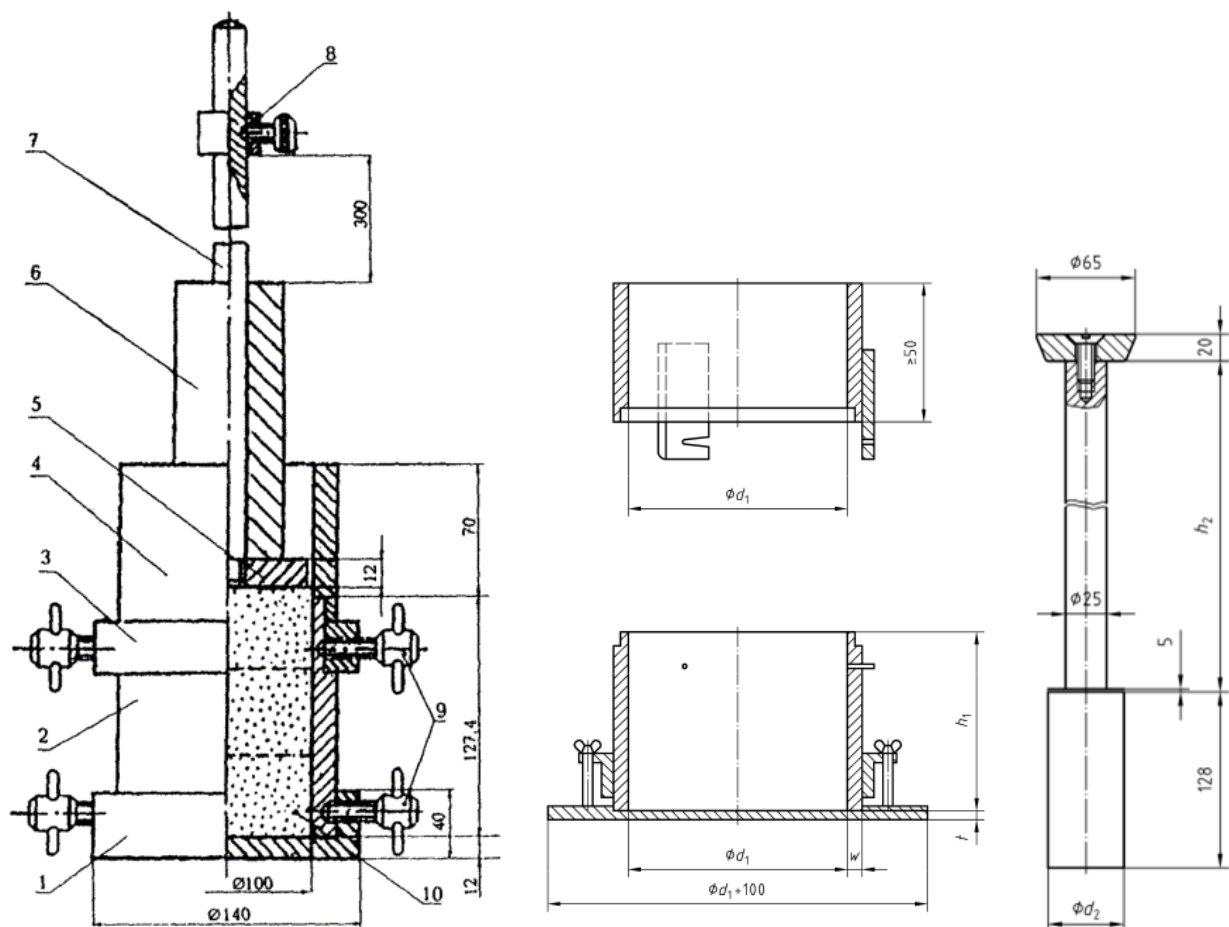
Filtratsioonimooduli määramise võrdluskatsetes sisendandmetena kasutatud EVS-EN 13286-2 ja GOST 22733 metoodikatega määratud optimaalsed veesisaldused leiti kolme paralleelkatse keskmise tulemusena, kasutades ühes katses minimaalselt viit punkti. EURO Proctor-teimi ja GOSTi maksimaalse tiheduse meetodi kuivmahumassi ja optimaalse veesisalduse seosed on esitatud graafikutena ning tabelitena käesoleva vahearuande [Lisades 3-24](#).

Lisades esitatud optimaalse veesisalduse ja maksimaalse tiheduse graafikuid uurides on näha, et paljude proovide puhul esineb paralleelkatsete vahel üsna suuri kõikumisi, kuigi osaproovid on valitud suurest pinnaseproovist kvarteerimise teel.

Võrreldes omavahel EURO Proctor-teimi ja GOSTi maksimaalse tiheduse graafikuid selgub, et optimaalse veesisalduse lävi tekib EURO metoodika puhul selgemini kui GOSTi metoodikaga katsetades. GOSTi maksimaalse tiheduse graafikutel on enamasti näha eskponentsiaalset kuivtiheduse kasvu veesisalduse suurenedes. Sellistel juhtudel tuleb maksimaalne kuivtihedus määrata vahetult enne seda punkti, kui katseproovist hakkab eralduma vett. Ilmselt on maksimaalse tiheduse ja optimaalse veesisalduse seoste erinevus tingitud nende metoodikate ühest põhilisest erinevusest – tihendushaamri talla suurus ning vormi tüüp ja alusplaadi külge kinnitamise moodus.

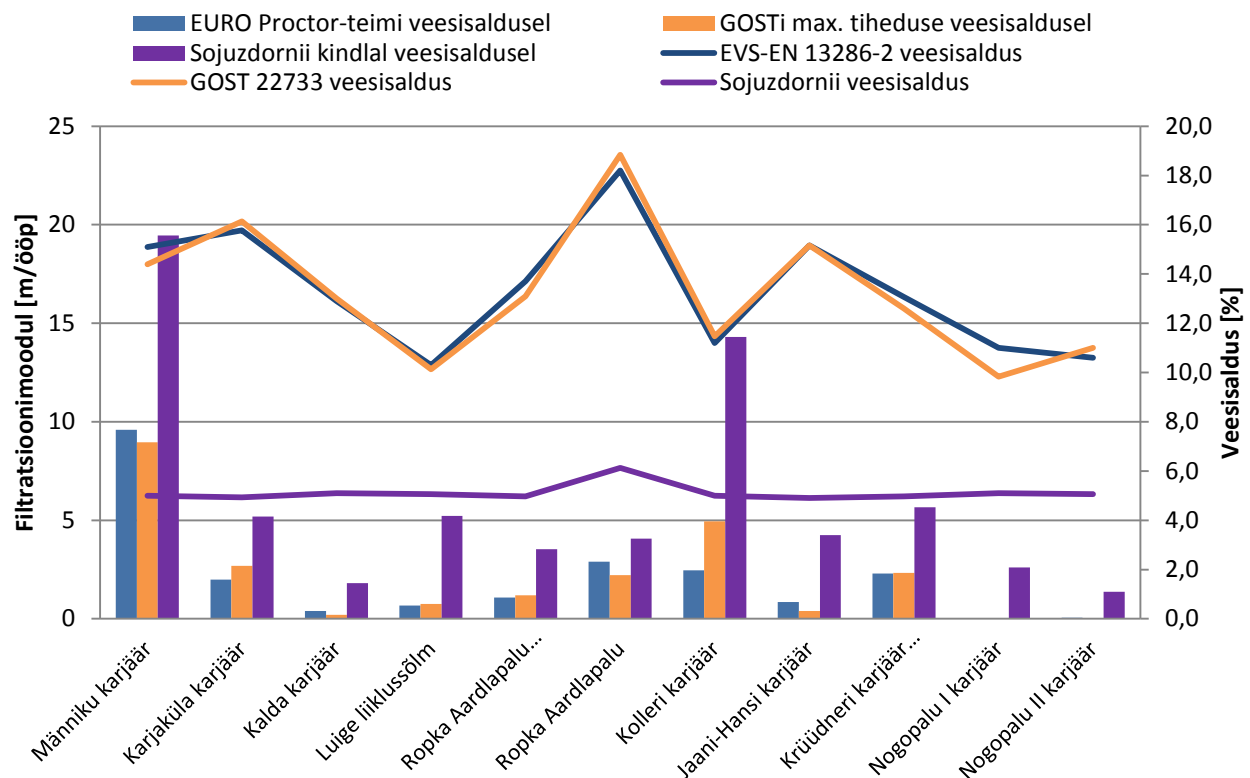
GOSTi meetodikas kasutatakse tihendushaamrit, mille tald ulatub ühtlaselt üle vormi pinna ($\varnothing$ 100 mm) ja tihendamine toimub tsentriliselt. Lisaks on GOSTi vorm erinevalt Proctorist diametraalselt poolitatav ja asetatakse alusplaadile nagu kaussi ning kinnitatakse külgedelt kruvidega (Joonis 6).

Nagu selgub **Lisas 25** esitatud tabelist, siis sobib filtratsioonimooduli määramiseks GOST 25584 lisa 5 alusel sisendandmete määramiseks paremini standardi EVS-EN 13286-2 Proctor-teimi meetodika. Võrdluseks olnud standardi GOST 22733 maksimaalse tiheduse määramise meetodika järgi on raskem hinnata pinnase optimaalset veesisaldust ja maksimaalset kuivtihedust. Reeglina hinnatakse GOST 22733 meetodika järgi pinnase kuivmahumass liiga kõrgeks, mis omakorda annab väärhinnangu filtratsioonimooduli määramisel silindrisse tihendatud proovi tihendustegurile. Tulemuste põhjal võib öelda ka seda, et teatud juhtudel määratakse GOST 22733 meetodika järgi optimaalne veesisaldus liiga kõrgeks, mis ei võimalda proovil filtratsioonimooduli määramise seadmes maksimaalselt tiheneda, kuna materjal on liigselt veega küllastatud. Seega, esialgse hinnanguna on Euro Proctor-teimi meetodika filtratsioonikatse sisendveesisalduse ja referentstiheduse määramiseks paremini sobiv, sest tulemused ei ole erinevate pinnaste puhul nii kõikumavad, kui GOSTi maksimaalse tiheduse meetodikaga määrates.

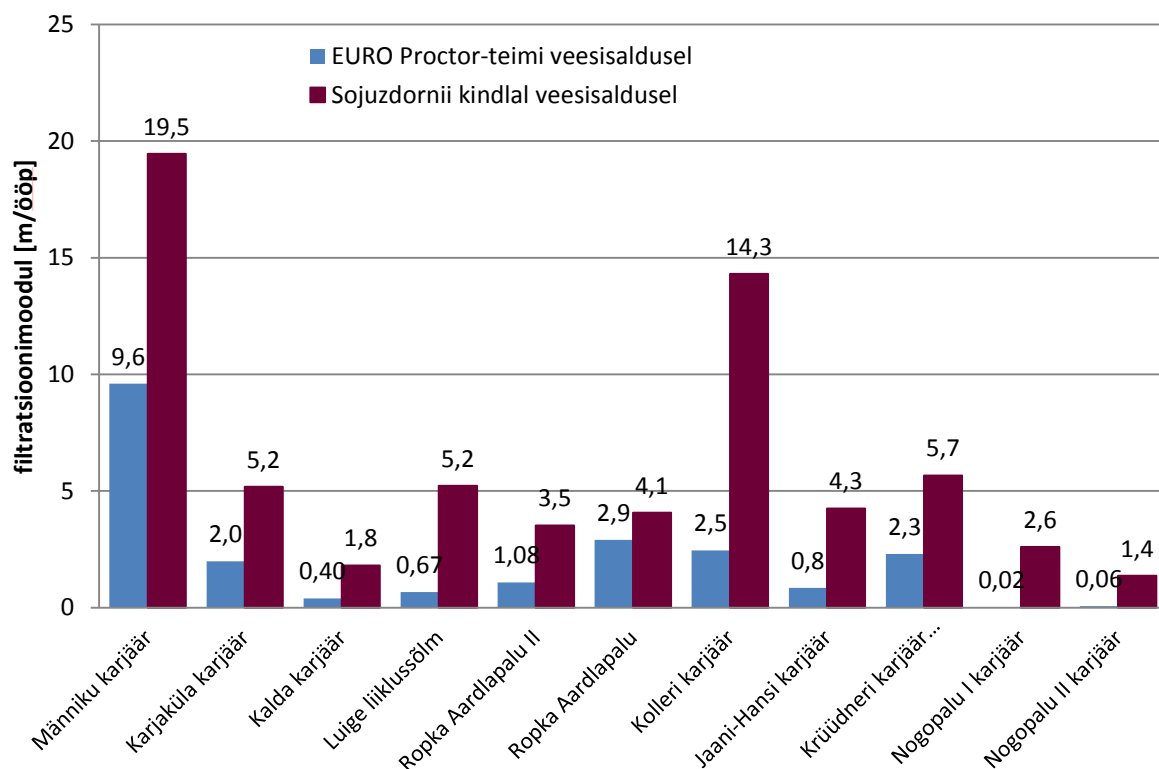


Joonis 6. Vasakul GOST-i vormi ja haamri, paremal EURO Proctori vormi ja haamri skeem

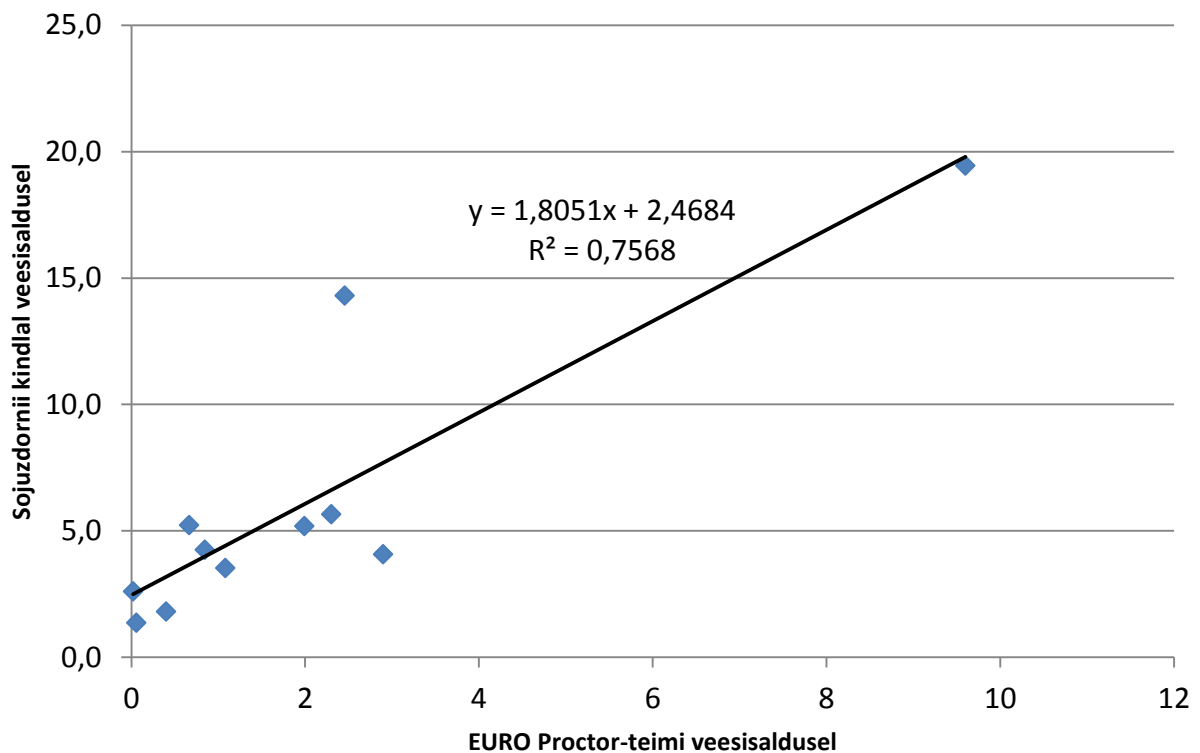
3.3 Sojuzdornii ja GOST Lisa 5 metoodikatega määratud filtratsioonimoodulite võrdlus



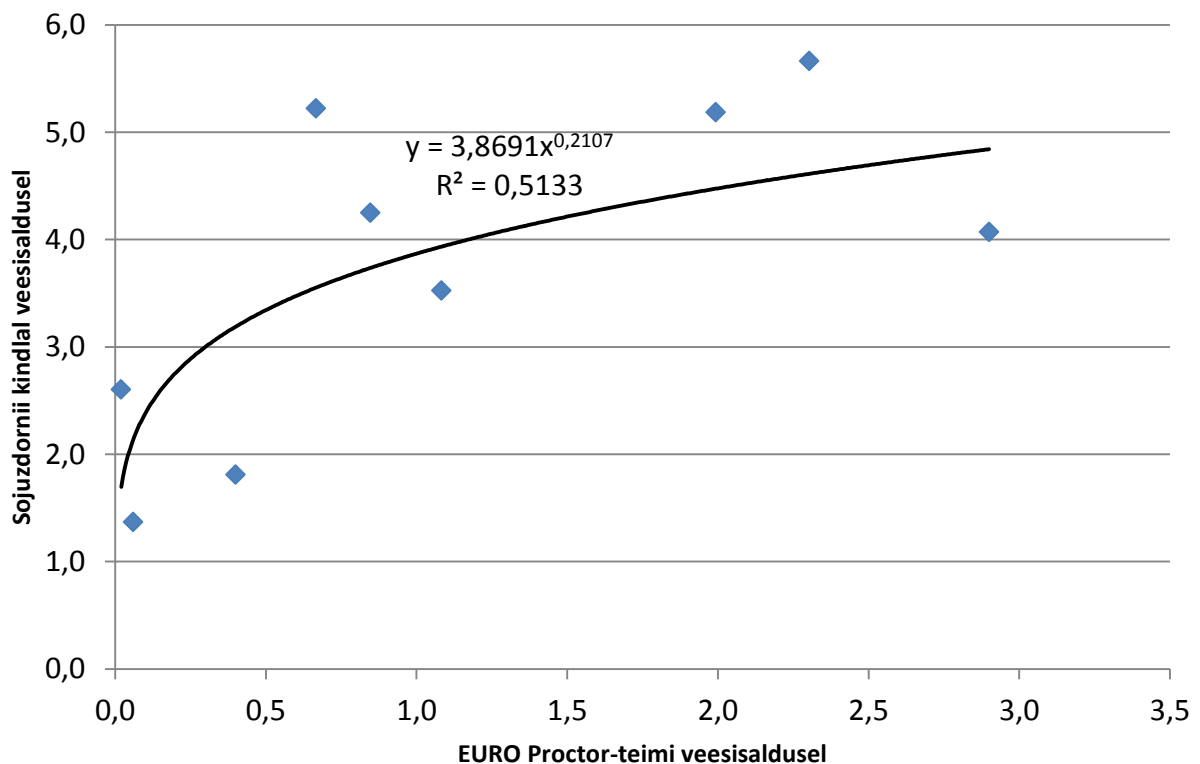
Joonis 7. Filtratsioonimoodulite võrdlus erinevate määramismeetoditega koos proovi sisendveesisaldustega



Joonis 8. Filtratsioonimoodulite võrdlus GOST 25584 Lisa 5 ja Sojuzdornii määramismeetoditega



Joonis 9. Sojuzdornii filtratsioonimooduli ja GOSTi Lisa 5 filtratsioonimoodul Euro Proctor-teimi veesisaldusel vaheline seos kõigi uuringu proovide korral



Joonis 10. Sojuzdornii filtratsioonimoodul ja GOSTi Lisa 5 filtratsioonimoodul Euro Proctor-teimi veesisaldusel vaheline seos väiksemate väärtuste korral

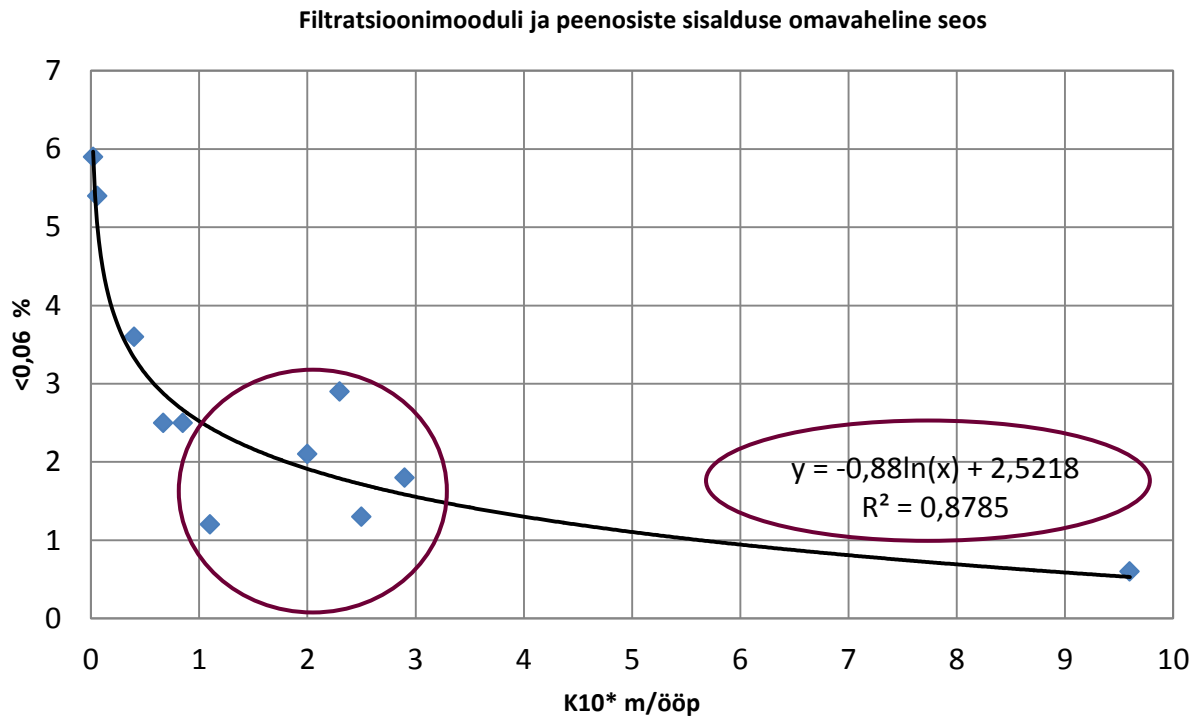
3.4 Filtratsioonimooduli ja pinnase peenosiste sisalduse seos

Filtratsioonimooduli väärtusele omavad suurt mõju peenmõlli ($<0,006$ mm CEN ISO/TS 17892-4:2004 järgi) ja saueosiste ($<0,002$ mm) sisaldused (Tabel 6, samuti Lisas 26). Kuid võrreldes erinevaid proove võib öelda seda, et mõlli ja saueosised ainuüksi ei ole määravad, kuna nii drenivatel kui vähem drenivatel proovidel esineb sarnaseid peenmõlli ja saueosiste sisaldusi. Pigem võib öelda seda, et peenliiva ($<0,2$ mm) ja erineva suurusega mõlli ($<0,06$ mm) osiste sisalduse omavahelises kombinatsioonis tekib selline terakoostis, mis vähendab pinnase filtratsioonivõimet.

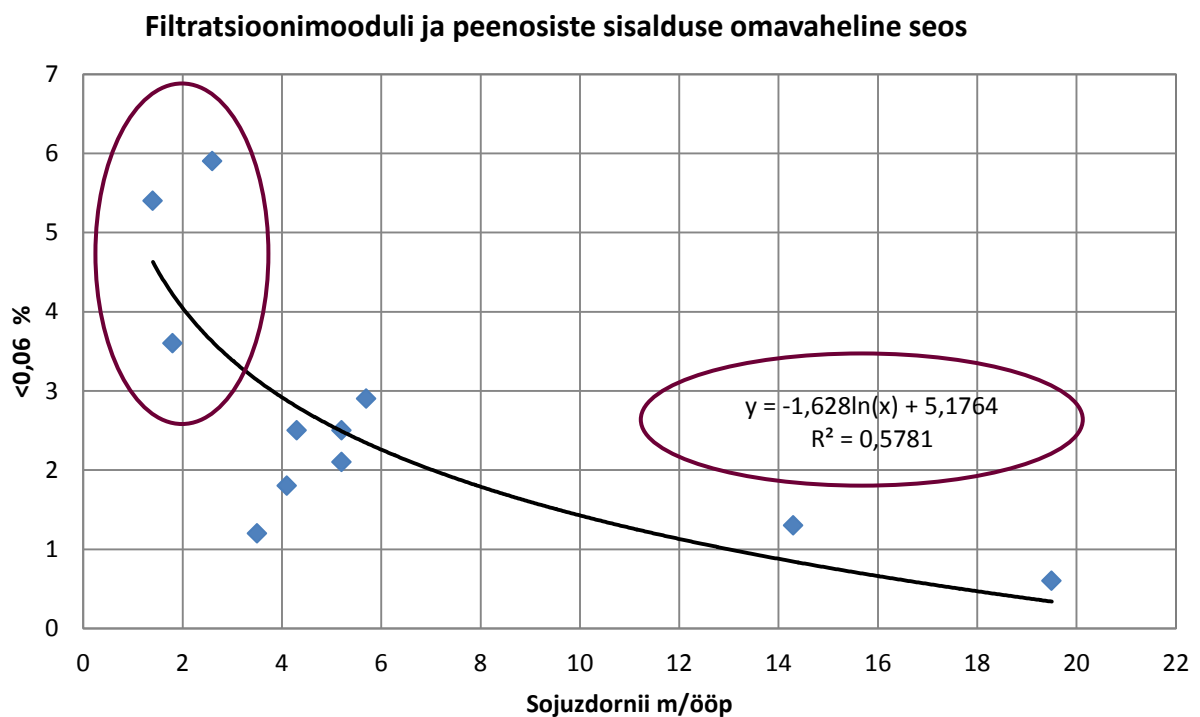
Kui täpsemalt vaadata eespool nimetatud peenemate osiste sisaldust esitatud tabelis, siis on märgata filtratsioonimooduli olulist vähenemist mõlli (peenosise) sisalduse korral üle 3% (tähistatud sõõridega). Samas on näha nii graafikult kui tabelist, et mõnikord võib sarnase lõimisega pinnas anda katsetamisel üsna erinevaid filtratsioonimooduli väärtusi – 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 mõlli sisalduseks määratud 2,9%. Lühidalt öeldes võib GOST 25584, lisa 5 alusel mittedreenivate omadustega materjaliks määratud pinnas olla väga erineva lõimisega.

Tabel 6. Väljavõte pinnaseproovide lõimiste peenpurru osast võrrelduna filtratsioonimooduliga K_{10} (GOST 25584, lisa 5 Euro Proctor-teimi veesisaldusel)

Koht	Pinnas EVS 1997-1:2003	$<0,2$ %	$<0,1$ %	$<0,06$ %	$<0,02$ %	$<0,006$ %	$<0,002$ %	K_{10}^* 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, peenliiv	peenliiv	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



Joonis 11. GOST 25584 Lisa 5 Proctor-teimi veesisaldusel tihendatuna ja peenosiste sisalduse seos



Joonis 12. Sojuzdornii filtratsioonimoodul kindlal veesisaldusel tihendatuna ja peenosiste sisalduse seos

KOKKUVÕTE

Antud uuringu kokkuvõttena võib öelda, et pinnase lõimisel (mitte ainult peenema osise osakaalul) on oluline mõju selle filtratsioonivõimele. Samas leidub sarnase lõimisega erineva päritoluga pinnast, mis ühel juhul vastava katsemetoodika alusel filtratsioonimoodulit määrates drenib, kuid teisel juhul mitte.

Filtratsioonimooduli katse jaoks optimaalse veesisalduse ja referentstiheduse määramiseks sobib paremini standardi EVS-EN 13286-2 „Kuivtiheduse ja veesisalduse laboratoorse määramise katsemeetodid — Proctor-teim“ metoodika. Seejuures tuleb tähelepanu juhtida asjaolule, et adekvaatse referentstiheduse määramiseks tuleb Proctor-teim teostada pinnasest eraldatud fraktsioonile 0/4 mm. Antud juhul jääb lahtiseks küsimus, kuidas kanda fraktsioonile 0/5 mm määratud filtratsioonimooduli väärtus üle jämedapuru sisaldavale pinnasele. Ilmselgelt on jämedamat osist sisaldava pinnase filtratsioonivõime suurem kui peenel pinnasel.

Teostatud katsete põhjal võib väita, et pinnase filtratsioonimoodul (määratuna GOST 25584 lisa 5 järgi EVS-EN 13286-2 metoodikaga määratud veesisalduse juures tihendatuna) jääb alla 0,5 m/ööp, kui mölli ($<0,06$ mm) sisaldus pinnases on suurem kui 3%. Geotehnilise pinnaselõimise pipettanalüüsi asemel saaks mölli ($<0,06$ mm) sisalduse määramiseks edukalt kasutada peenimat laboratoorset sõela avadega 0,063 mm (teedeehitusliku mõistena peenosis).

Seega võiks pinnase filtratsioonimooduli esialgseks hindamiseks kasutada peenosiste sisalduse väärtust. Juhul, kui peenosiste ($<0,063$ mm) sisaldus on suurem kui 3 %, siis tuleks pinnase filtratsioonimooduste hindamiseks teostada täiendav filtratsioonimooduli katse GOST 25584 lisa 5 järgi. Tuleb juhtida veel tähelepanu, et GOST 25584 lisa 5 metoodika järgne katse viiakse läbi optimaalse veesisalduse juures tihendatuna (ja võrrelduna maksimaalse kuivtihedusega), mis on määratud standardi EVS-EN 13286-2, mitte standardi GOST 22733 metoodikaga. Sellise lühikirjelduse põhjal on võimalik koostada algupärane Eesti Vabariigi Standard pinnase filtratsioonimooduli määramiseks.

Allikad

EVS-EN 13286-2:2010. „EVS-EN 13286-2:2010, SIDUMATA JA HÜDRAULILISELT SEOTUD SEGUD, Osa 2: Kuivtiheduse ja veesisalduse laboratoorse määramise katsemeetodid, Proctor-teim.” Eesti Standardikeskus, veebruar 2011. a.

Lemberg, Uile. „Pinnase liigitamine geotehnikas.” *Keskkonnatehnika*, 2 2012. a.: 47.

ГОСТ 22733-2002. „Метод лабораторного определения максимальной плотности.” МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ, 2002.

ГОСТ 25584-1990. „МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ.” ПРИЛОЖЕНИЕ 5, ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ , ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДОРОЖНОМ И АЭРОДРОМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР, 1990.