

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Loodusteaduskond

Geoloogia instituut

**VASALEMMA LUBJAKIVIKARJÄÄRI KAEVANDAMISJÄÄKIDE
KASUTUSVÕIMALUSED TEEDEEHITUSEL**

Bakalaureusetöö

Üliõpilane: Lauri Kütt

120639 AAGB

Juhendajad: Enn Lüütse PhD

Tennobert Haabu MSc Diplomeeritud Mäeinsener

Õppekava: AAGB

Tallinn
2018

Lühikokkuvõte

Käesoleva lõputöö raames uuriti Vasalemma karjääri pesemata paekivisõelmete lisamise mõju keskteralisele kvartsliidvale eesmärgiga hinnata saadud segu kasutusvõimalusi teede-ehituses. Autori hinnangul sobib Vasalemma karjääri sõelmeid kasutada teede-ehitusel vaid muldkeha alumises kihis alates meetri sügavusest ning segatult kvaliteetse liivaga suhtes 1:3 ehk kuni 25% ulatuses. Sõelmetel on omadus koormuse ja liigniiskuse toimetel laguneda, mistõttu võivad laboratoorsed filtratsioonikatsed näidata reaalsusest kõrgemaid tulemusi.

Abstract

The purpose of this research was to evaluate the effect of mixing limestone fine grade aggregates with sand in order to use the mixture in road construction. The results showed that untreated fine grade aggregates can only be used in the bottom layer of a road starting from 1 meter of depth and they must be mixed with coarse sand in relation no more than 1:3 (25%). The fine grades tend to disintegrate under dynamic load or excessive moisture. Hence, laboratory test may give higher readings on a filtration test.


[Document title]

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus ning kinnitan, et esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud. Kinnitan, et antud töö koostamisel olen kõikide teiste autorite seisukohtadele, probleemipüstitustele, kogutud arvandmetele jmt viidanud.


Lauri Kütt

(Töö autori nimi)

18.01.2018 
(allkiri ja kuupäev)

Juhendaja: Enn Lüttre

Töö vastab bakalaureusetööle/magistritööle esitatavatele nõuetele.

18.01.2018 
(allkiri ja kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....
(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

SISUKORD.....	4
1. SISSEJUHATUS.....	6
2. TEOREETILISED ALUSED.....	7
2.1. Erialaterminid.....	7
2.2. Teede-ehitusmaterjalidele esitatavad nõuded.....	8
2.3. Pinnaste klassifikatsioon	11
2.4. Filtratsioonimoodul (Darcy seadus).....	12
2.5. Muldkeha veerežiim.....	13
2.6. Külmarkerked	14
3. METOODIKA.....	16
3.1. Proovivõtumeetodid	16
3.2. Kvarteerimine.....	17
3.3. Terastikuline koostis ja peenosiste sisaldus	17
3.4. Filtratsioonimoodul – katsemeetodil EVS 901-20.....	20
4. TÖÖ KÄIK JA KATSETULEMUSED	23
4.1. Proovide võtmine	23
4.2. Proovipalade ettevalmistamine	23
4.3. Puistetihedus.....	24
4.4. Puistematerjalide sõelanalüüs.	25

4.5.	Arvutuslik meetod hindamaks segatud materjalide lõimist	26
4.6.	Puistematerjalide sõelanalüüs peale pesemist.	27
4.7.	Filtratsioonimoodul	28
5.	ANALÜÜS.....	29
5.1.	Filtratsioonimoodul ja peenosakeste sisaldus	29
6.	JÄRELDUSED.....	33
6.1.	Katsetamine	33
6.2.	Liiva ja sõelmete segu peentäitematerjalina.....	34
	Sõelmete pesemine.....	36
6.3.	Peensõelmete alternatiivsed kasutusvõimalused	36
7.	KOKKUVÕTE.....	38
8.	VIITED.....	39
9.	LISAD	41

1. SISSEJUHATUS

Karjäärides killustiku tootmisel on peenfraktsiooni teke vältimatu. Olenevalt kasutatava purusti valikust, lõhkamise laengujaotusest ja geoloogilistest tingimustest võib peenfraktsiooni osakaal olla 10% kuni lausa 40%. Selle materjali kasutusvõimalused on piiratud. Üldiselt arvestatakse see tootmiskadudena maavara müüdavast toodangust välja. Sellest tulenevalt jääb oluline osa kaevandatud maavarast väärindamata ning karjääridesse kogunevad sõelmekuhilad.

Samas on tee-ehitustööde mahtude suurenemise tõttu ka nõudlus täitematerjalidele kasvav. Lisaks on oodata täiendavat survet ehitusmaterjalivajadusele seoses Rail Baltic raudteetrassi ehitusega.

Üheks rakendatud võimaluseks on segada juba heade omadustega täiteliiva kaevandamisel üle jääva peenfraktsiooniga, et saada sobivate parameetritega märkimisväärselt odavam täitematerjal. Antud meetodika puhul on kõige problemaatilisem aspekt peamiselt sõelmete peenosistest tulenev filtratsioonimooduli langus.

Vasalemma karjääris on varasema tootmisprotsessi käigus toodetud sõelmeid fraktsiooniga 0/10, mille turustamine on sarnaselt fraktsiooni 0/4 peensõelmetega keeruline. Antud uurimustöö eesmärk on kontrollida filtratsioonimooduli alanemist paekivisõelmete segamisel keskteralise liivaga ning hinnata segu võimalikku kasutuskohiti teedehituses.

2. TEOREETILISED ALUSED

2.1. Erialaterminid

Alus - katendi ühe-või mitmekihiline osa, mis asub katte ja muldkeha vahel (v.a drenkiht) [13]

Drenkiht - aluse all asetsev filtreerivast materjalist või filtreerivast pinnasest kiht, mis juhib vee katendist välja ja takistab vee kapillaartõusu [13]

Fraktsioon – täitematerjali määratlus alumise sõela (d) ja ülemise sõela (D) avamõõtmete alusel (d/D) [4]

Jämetäitematerjal – täitematerjal terasuurusega $d \geq 1$ mm ja $D > 2$ mm. [4]

Katend - mitmekihiline konstruktsioon, mis võtab vastu transpordivahendite koormuse ja jaotab selle muldkeha pinnasele ning koosneb kattest, alusest ja vajadusel drenkihist (põhikihid) ning lisakihtidest. [9]

Leondumine – nähtus, kui kivimi veega niiskumise tulemusena kandevõime langeb oluliselt ning materjal laguneb.[15]

Muldkeha – tee-ehituseks vajalik pinnase konstruktsioon koos selle juurde kuuluvate veeviimaritega. [13]

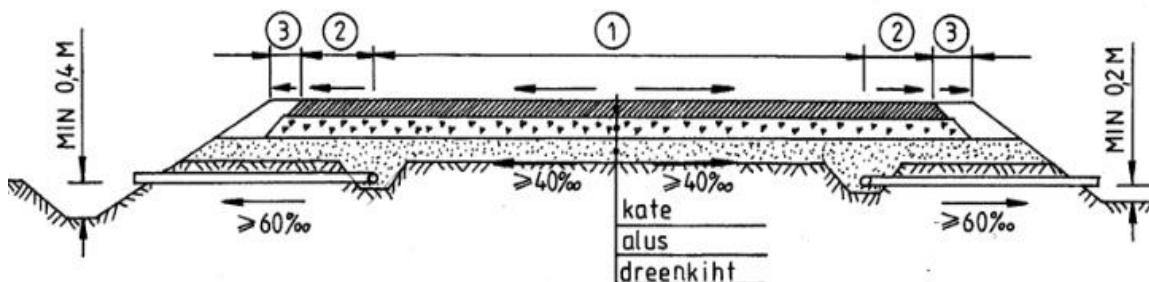
Peentäitematerjal – täitematerjal terasuurusega $d=0$ ja $D \leq 6,3$ mm. [4]

Peenosised – täitematerjalid, mille osakesed läbivad 0,063 mm avadega sõela. [4]

Partii – toodangu hulk, mis on toodetud sama-aegselt ja eeldatavalt ühetaolistes tingimustes.[9]

Sidumata segu - teraline materjal, tavaliselt kontrollitud terakoostisega, mida kasutatakse tavaliselt aluste ülemistes ja alumistes kihtides.[13]

Sõelmed - killustiku tootmisjäak fraktsiooniga 0 kuni 8 mm [13]



Joonis 1 Tee ristlambilõige – Katendi konstruktsioonielemendid: kate, alus, dreenkiht ning kõige all muldkeha [10]

2.2. Teede-ehitusmaterjalidele esitatavad nõuded

Nõuete määratlemisel on lähtutud eelkõige maanteeameti kodulehel välja toodud teede-ehitusega seonduvatest juhenditest ja Eesti seaduste ja määrustega kehtestatud teede ehitamise kvaliteedi nõuetest.

Teede-ehitusmaterjalide põhiomadused ja nende määramise meetodika on kehtestatud Majandus- ja taristuministri 2014. a määrusega nr 74 „Tee-ehitusmaterjalide ja -toodete esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord” [3]

Hetkel kehtiva määruse „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ kohaselt vastutab teetööde läbiviija tee konstruktsiooni pandavate materjalide kvaliteedi eest. Selleks peab ta vahetult enne materjalide paigaldamist enda kulul läbi viima nõuetes ettenähtud katsetused. Täitematerjali tootja peab omalt poolt toimivus- või vastavusdeklaratsiooniga kinnitama täitematerjali partii nõuetele vastavuse. Partii suuruseks loetakse peentäitematerjali puhul 6000 tonni. Kontrollima peab peentäitematerjali terastikulist koostist, peenosiste sisaldust ning muldkehas ja dreenikihis kasutatava materjali filtratsiooni. Nõuetele mittevastav materjali peab teetööde tegija eemaldama.[16]

Alused ehitatakse optimaalse terastikulise koostisega täitematerjalide segust, mustkillustikust, ridakillustikust või fraktsioneeritud täitematerjalidest kiilumismeetodil. Kasutatava materjali terakoostis peab lubjakivi korral vastama järgnevas tabelis (tabel 1) kehtestatud piiridele 2, 4 või 6.

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

Tabel 1 Nõuded alustes kasutatava sidumata segude terastikulisele koostisele [16 lisa 10]

Kui tee liiklussagedus on madal, ehk alla 200 auto ööpäevas on lubatud kasutada materjale, mille osakeste suurim nimimõõde D on 16 (üldjuhul on nõudeks D 31,5). Lisaks on soovitatav terakoostise kategooria valida vastavalt standardile EVS-EN 13285 kas GA, GB, GC, GO, GP või GE, seejuures peab peenosiste sisaldus olema alla 7%. [10]

Ilma tellijapoolse nõusolekuta on *alustes* erineva petrograafilise päritoluga täitematerjalide kooskasutamine keelatud (välja arvatud looduslikest kruusadest valmistatud täitematerjalide korral). [12]

Kehtiva määruse kohaselt drenkihi täitematerjali terastikulist koostist kontrollitakse mitte harvem kui üks kord iga 3000 m³ paigaldatud täitematerjali kohta ning filtratsiooni kontrollitakse mitte harvem kui üks kord iga 1000 m³ paigaldatud täitematerjali kohta. Drenkihi filtratsioonimoodul peab olema vähemalt 0,5 meetrit ööpäevas [16]. Samas paekivisõelmeid kasutades on minimaalne filtratsioonimoodul maanteeameti juhendi kohaselt antud 2 m/ööp [11].

Maanteeameti muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise kohaselt peab vältima vee filtreerumist muldkehasse kasutades selleks vett mitteläbilaskvat kihti, drenivat geokomposiiti ning tagama vee väljajuhtimine muldkeha külgedelt just nagu drenikihi puhul [11]. Drenikihi eesmärk on seega tagada katendi veerežiim nii, et tee konstruktsioon püsiks võimalikult kuiv.

Drenikihis ei ole lubatud kasutada >70% karbonaatset settekivimit sisaldavat täitematerjali. Küll aga on lubatud kasutada sellist materjalina segatuna kuni 50% ulatuses. [11]

Kehtivate kvaliteedinõuete kohaselt peab filtratsioonimooduli ja terastikuise koostise määrama vähemalt korra iga 3000 m³ muldkehasse paigaldatud pinnase kohta. Seejuures peab töökihis kasutatava materjali filtratsioonimoodul olema minimaalselt 0,2 m/ööp [16]. Samas Maanteeameti muldkehade remondi projekteerimise juhise kohaselt on soovitatud aktiivtsooni ülemises osas kasutada pinnast, mille filtratsiooni minimaalne väärtus on 0,5 m/ööp [10]. Paekiviliiva kasutamise puhul peab olema muldkeha töökihis ehk kuni sügavuseni 1 meeter olema tagatud filtratsioonimoodul vähemalt 2m/ööp. Muldkeha töötsooni alumises kihis, ehk 1,0 kuni 1,5 meetri sügavusel peab filtratsioonimoodul olema vähemalt 1m/ööp [11].

2.3. Pinnaste klassifikatsioon

Vastavalt standardile EVS-EN ISO 14688-1:2002 jaotuvad osakesed terasuuruse järgi vastavalt allolevale tabelile (tabel 2).

Fraktsioon	Alafraktsioon	Osakeste suurus, mm
Rahnud		>200
Veerised		60...200
Kruusaterad	Kruusa jämeterad	20...60
	Kruusa keskterad	6...20
	Kruusa peenterad	2...6
Liivaterad	Liiva jämeterad	0,6...2
	Liiva keskterad	0,2...0,6
	Liiva peenterad	0,06...0,2
Mölliosakesed	Mölli jämeosakesed	0,02...0,06
	Mölli jämeosakesed	0,006...0,02
	Mölli jämeosakesed	0,002...0,006
Saviosakesed		≤0,002

Tabel 2 Fraktsioonide nimetused vastavalt terasuurusele [10]

Üldiselt koosnevad pinnased erinevate terasuuruste kombinatsioonist. Valdavas enamuses põhifraktsioon tähistatakse nimisõnaga ning teisejärguline omadussõnaga. Ligikaudu võrdsete osakaalude puhul tähistatakse need kaldkriipsuga eraldatult. Pinnased, milles on veeriseid ja rahne alla 40% jagunevad vastavalt järgnevale tabelile (tabel 3).

Rühm	Liik	Alaliik	Peeneosisisaldus <0,06 mm, %	Sauesisisaldus peenosises <0,002/ <0,06 mm, %
Jämedateraline pinnas (jäme pinnas) <0,06 mm ≤40%	Kruuspinnas 2–60 mm >50%	Kruus	<5	
		Möllikas kruus	5–15	<20
		Savikas kruus		≥20
		Mölline kruus	>15–40	<20
		Savine kruus		≥20
	Liivpinnas 0,06–2 mm >50%	Liiv	<5	
		Möllikas liiv	5–15	<20
		Savikas liiv		≥20
		Mölline liiv	>15–40	<20
		Savine liiv		≥20
Peeneteraline pinnas (peen pinnas) <0,06 mm >40%	Möllpinnas <0,002/<0,06 mm ≤20%	Möll		<10
		Savimöll		10–20
	Savipinnas <0,002/<0,06 mm >20%	Möllsavi		>20–40
		Savi	>40	>40

Tabel 3 Pinnaste klassifikatsioon valdava terasuuruse järgi [10]

2.4. Filtratsioonimoodul (Darcy seadus)

Definitsiooni järgi on filtratsioonimoodul veejuhtivust iseloomustav suurus, mis iseloomustab pinnase ja kivimite omadust lasta vett läbi sisemiste pooride või lõhede. Tähisteks on K ning ühikuks meetrit ööpäevas. [2]

On olemas kaks üldist kategooriat veejuhtivuse määramiseks:

- empiiriline lähenemine, mille järgi veejuhtivus on korrelatsioonis pinnase omadustega, nagu poori suuruse ja terasuuruse jagunemine ning lõimimine,
- eksperimentaalne lähenemine, mille järgi veejuhtivus määratakse katsete abil, lähtudes Darcy seadusest. [2]

Filtratsiooni põhiseadus ehk Darcy seadus on eksperimentaalselt tuletatud võrrand, mis kirjeldab vedelike voolamist läbi poorse keskkonna. Seadust kirjeldas prantsuse insener Henry Darcy juba 19. sajandil ning seda kasutatakse peamiselt põhjavee liikumise uurimisel ja kirjeldamisel. [1]

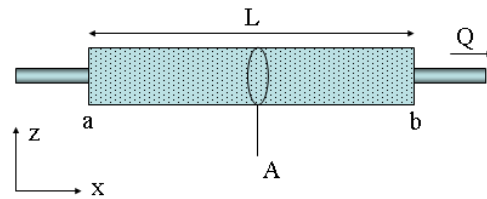
Darcy uuringud põhinevad katsetel, kus vaadeldi vedelike liikumist liivaga täidetud filtreerimistorudes. Vaatluste tulemused näitasid, et toru ristlõiget läbiv vee kogus on võrdeline toru otspunktide kõrguste vahega (veetasemete erinevus) ning pöördvõrdeline otspunktide vahelise kaugusega.

Samuti selgus, et vooluhulka mõjutab toru läbimõõt ning toru täitva liiva omadused. Erinevat tüüpi liivade mõju kirjeldamiseks lõi ta koefitsiendi K , mis iseloomustab materjali hüdraulilist läbitavust. Tulemuseks on allolev valem, mida tuntakse Darcy seadusena. [1]

$$Q = -KA \frac{(h_a - h_b)}{L}$$

,kus

- Q - kihti läbiv vooluhulk ajaühikus
- L - tähistab toru otspunktide vahelist kaugus
- A - ristlõike pindala
- $(h_A - h_B)$ - otspunktide kõrguste vahet
- K – filtratsioonimoodu (ehk materjali läbitavuse koefitsient)



Joonis 2 Darcy katse skeem [1]

Valemi paremal poolel olev märk „-“ näitab, et põhjavee vool kulgeb vee rõhu kahanemise suunal. Erinevate materjalide puhul on voolukiirus erinev, isegi kui rõhu gradiendid on samad. [1]

Ehk lahti kirjutatult on põhjavee kogus (Q), mis läbib ajaühikus kivimit, võrdeline rõhu langusega (Δh) ning veevoolu ristlõike pindalaga (A) ja pöördvõrdeline vee liikumise tee pikkusega (L).

2.5. Muldkeha veerežiim

Muldkeha niiskuse hulk on muutlik. Veesisaldust suurendavad tegurid on muldkehale langev sademete hulk, ümbritsevast loodusest juurdevoolava vee imbumine muldkehasse (eelkõige sulavee korral) ning veeaur, seotud vesi ning niiskus pinnasevee kapillaartõusust. Muldkeha veesisaldust vähendavad tegurid on vee äravool muldkehast, vee aurustumine muldkehast ning vee imbumine muldkehast alumistesse kihtidesse. [10]

Lisaks sademetele mõjutavad muldkeha veerežiimi märkimisväärselt veel aastaringsed temperatuurimuutused, millede tulemusena muldkehas sisalduv niiskus on pidevas liikumises soojemast kihist külmemasse kihti. Talvisel ajal sulab lumi esmalt pinnalähedasest kihist. Sulavesi liigub raskusjõu toimele allapoole drenikihi pooridesse. Idee kohaselt peaks drenikiht sulavee välja juhtima, kuid külma tõttu võib äravool olla jäätunud. Sellest tulenevalt võib tee katendi veesisaldusoluliselt tõusta. [10] Teatavasti vesi

jäätumisel paisub ligikaudu 9%. Kui drenkihis pole enam piisavalt poore, et mahutada vett ja külmutatavaid jääs, tekkivad külmakerked ning tee laguneb oluliselt kiiremini.

Eesti tingimustes on kõige suurema tähtsusega sademed, sulavesi ning pinnasevee kapillaartõus. Lisaks veele on pinnase poorides ka vee aur, mis liigub raskusjõust sõltumatult. Veeauru liikumine ja selle mõju veerežiimile on pigem teisejärguline.

2.6. Külmakerked

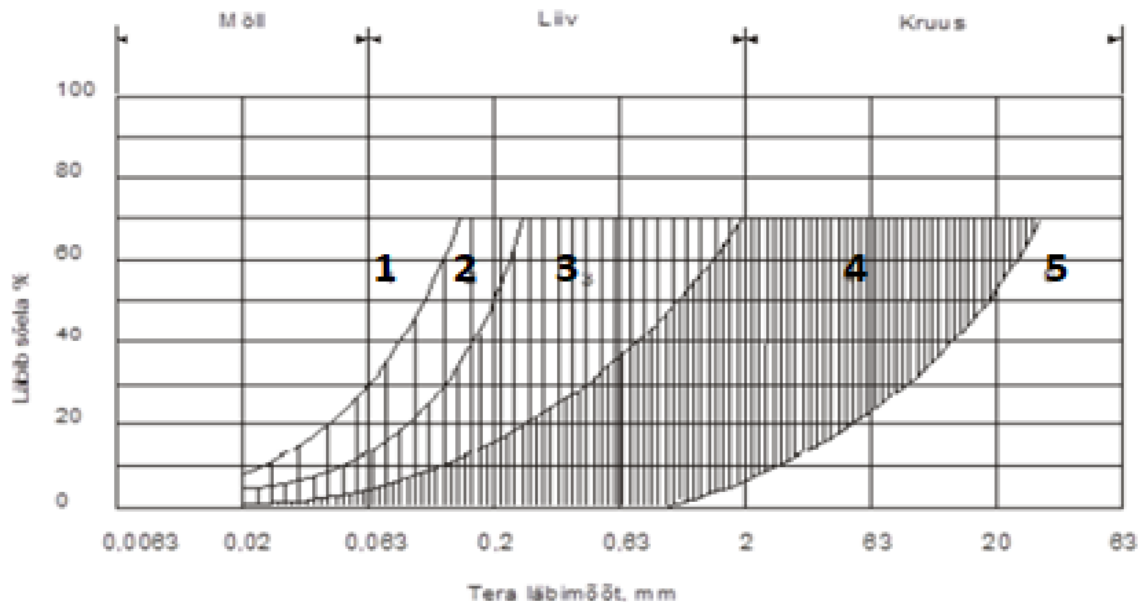
Vee tõus pinnases suureneb, kui tera läbimõõt on alla 0,125 mm. Mida peenem on pinnas, seda suurem on vee tõus pinnases. Ühtlasi väheneb ka pooride läbimõõt, millega suureneb vee liikumistakistus ja vee tõus aeglustub. Seepärast on väga peened savipinnased vähem külmaohtlikud võrreldes möllpinnastega. Pinnased, milles pole alla 0,125 mm teri on hea filtratsiooni tõttu täiesti külmakindlad. Neis olev vesi külmub umbes 0 C juures täies ulatuses ja maht suureneb ligikaudu 9%. Ühendatud pooride tõttu surutakse paisunud jää ja vesi mulde ja liikluse koormusel allapoole ja pinnase paisumist pole. Külmakeerge võib esineda vaid survevees. [10]

Vee külmumise mõju võib jagada kaheks - esmane on vee paisumine poorides, teine sekundaarne, mis seisneb täiendavas vee juurdevoolus külmumispiirkonda ja jäälaasude tekkimises. Tee ehituse seisukohalt on oluline just viimane.

Külma mõju sõltub pinnase teramõõdust, poorsusest, vee olemasolust ja temperatuuri muutusest. Temperatuur muutub põhimõtteliselt jäätumisel ühte moodi. Esmalt langeb vee temperatuur alla külmumispunkti ilma jää tekkimiseta. Jääkristallide tekkimisel vabaneb soojus ja temperatuur tõuseb jäme pinnasel 0 kraadini, seotud pinnastel jääb mõnevõrra madalamaks. Edaspidi hakkab jää temperatuur langema. [10]

Vee lisandumine külmumispiirkonda on intensiivne 0...-3 kraadi juures. Kiirel külmumisel ja madalamal temperatuuril teradel olev veekile külmub, poorid sulguvad ja

intensiivne vee liikumine lõpeb. Vett koguneb seda rohkem, mida pikemat aega püsib selline nulli-lähedane temperatuur mingis pinnasekihis. Tee mulde ja katendi omakaalust tekitatud surve poorides olevale veele püüab vett välja tõrjuda, mille tulemusel vee liikumine külmumispiirkonda väheneb. See on põhjuseks, miks sügavamal vee kristalle tekib vähem, kuigi nullilähedane temperatuur on just sügavamal muldes. Teatud külmumissügavuses vee kogunemine lõpeb. Peentel liivadel on see umbes 80 cm, savisel liival kuni 160 cm. Soodsates oludes külmumise tulemusel pinnas paisub 2...3% külmumissügavusest, eriti halvades 15...20%. [10]



Graafik 1 Töökihis kasutatavate pinnaste külmakerkelisuse liigitus sõltuvalt pinnase terastikulisest koostisest.[10]

Pinnas, mille sõelkõver jääb graafikul (graafik 1) alale 1, on külmakerkeohtlik. Pinnas, mille sõelkõver sattub joonise alale 2, 3 või 4 ei ole külmakerkeohtlik, kui sõelkõvera alumine ots jääb kogu ulatuses piirkonna ülemisest joonest allapoole. Pinnase külmakerkelisuse hindamiseks tuleb teha täiendavaid uuringuid. Alasse 5 jääv pinnas pole külmakerkeohtlik. [10]

3. METOODIKA

3.1. Proovivõtumeetodid

*Märkus: Käesolev peatükk kirjeldab Proovivõtumeetodi standardi EVS-EN 932-1 meetodikat. [9]

Proovide õige ja hoolikas võtmine ning transport on usaldusväärsete analüüsitulemuste saamise eelduseks. Partii heterogeensusest tulenevat varieeruvust saab vähendada vastuvõetava tasemini, võttes piisaval arvul üksikproove. Esindava koondproovi saamiseks valitakse üksikproovid juhuslikult partii kõigist osadest.

Täitematerjali proove on soovitatav võtta kas seisvalt transportööriinilt või materjalivoost. Üksikproovid tuleks võtta kindlate ajavahemike järel kogu partii liikumise aja vältel. Proovide võtmisel kuhilast on raske täita põhimõtet, et üksikproovid tuleb võtta juhuslikult kõigist partii osadest nii, et segregerumine ei põhjustaks väärtulemust. Sellepärast tuleks seda meetodit võimaluse korral vältida.

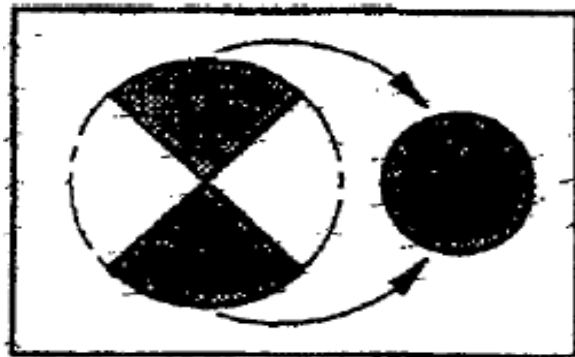
Üksikproovi võtmisel tuleb tõmmata proovianum ühtlase liigutusega läbi materjalivoo, jälgides seejuures, et proov hõlmaks kogu materjali voogu. Sama meetod kehtib ka sõelalt tuleva materjali proovi võtmise puhul.

Ligikaudu võrdsete suurusega üksikproovid tuleb võtta üle kogu kuhila jaotatud erinevatest punktidest, erinevatelt kõrgustelt ja sügavuselt. Üksikproovide võtmise koha ja arvu valikul tuleb arvesse võtta ladustamisviisi, kuhila kuju ja võimalikku segregerumist kuhila sees.

Vajaduse korral tuleb koondproov viia sellisesse seisu, et ta voolaks vabalt, kuid ei oleks nii kuiv, et peenosis läheks kaotsi või osakesed kleepuksid. Vähendamise meetoditest on eelistatuim kasutada jaotuskasti, kuid selle puudumisel võib kasutada kvarteerimist või kühvliga jaotamist. Lubatud on ka võtete kombineerimine.

3.2. Kvarteerimine

Koondproov asetatakse tööpinnaile ja segatakse koonusesse kuhjates põhjalikult läbi. Seejärel moodustatakse seda kühvliga ringi pöörates uus koonus. Seda operatsiooni korratakse kolm korda. Koonust moodustades asetatakse iga kühvlitäis uue koonuse tipule, et täitematerjal valguks alla kogu külgpinnale ja jaotuks ühtlaselt ning erineva suurusega osakesed oleksid hästi segunenud. Kolmas koonus tasandatakse, vajutades kühvlit korduvalt läbi tipu koonusesse, moodustades nii lameda, ühtlase paksuse ja läbimõõduga kuhila. Lame kuhil jaotatakse piki ristuvaid diagonaale neljaks osaks. Üks vastakuti paiknev neljandike paar eemaldatakse ja jääk kühveldatakse kuhilasse. Segamist ja kvarteerimist korratakse, kuni on saadud nõutava suurusega laboratoorne proov.



Joonis 3 Kvarteerimise skeem [9]

3.3. Terastikuline koostis ja peenosiste sisaldus

*Märkus: Käesolev peatükk kirjeldab Täitematerjalide geomeetriliste omaduste katsetamise standardi EVS-EN 933-1 meetodikat. [5]

Katse seisneb materjali jaotamises sõeltekomplekti abil mitmeks vähenevate mõõtetega fraktsiooniks. Sõelavade mõõtmed ja sõelte arv valitakse lähtudes proovi olemusest ja nõutud täpsusest.

Igale sõelale jäänud osakeste massi võrreldakse almassiga. Iga sõela läbinud materjali mass protsentides (läbind) esitatakse numbriliselt ja vajaduse korral ka graafiliselt.

Täitematerjalide 90 mm väiksemate fraktsioonide puhul võib katseproovi minimaalse suuruse määrata valemiga

$$M = \left(\frac{D}{10}\right)^2$$

M Katseproovi minimaalne mass (kg)

D Täitematerjali terasuurus

Katseproov asetatakse anumasse ja lisatakse nii palju vett, et materjal oleks kaetud. Peenosiste täieliku eraldumise ja hõljuvuse saavutamiseks segatakse proovi intensiivselt. Ainult sellel katsel kasutatava 0,063 mm avadega katsesõela mõlemad küljed niisutatakse ja selle peale asetatakse kaitsesõel (1mm või 2mm avadaega). Sõelad asetatakse selliselt, et neid läbinud hõljum saaks voolata kanalisatsiooni. Pesemist jätkatakse, kuni 0,063mm avadega sõela läbinud vesi muutub selgeks.

Sõelale jäänud materjal kuivatatakse temperatuuril (110 ± 5) °C konstantse massini, lastakse jahtuda, kaalutakse ja registreeritakse kui mass M_2 .

Pestud ja kuivatatud materjal (või kuivisõelumise puhul pesemata kuiv proov) kallatakse sõeltekomplekti. Sõeltekomplekti raputatakse käsitsi või mehaaniliselt. Seejärel eraldatakse sõelad ükshaaval, alustades suurimate avadega sõelast. Iga sõela raputatakse käsitsi, vältides hoolikalt materjali kadu, kasutades näiteks põhja ja kaant.

Kogu sõela läbinud materjal kantakse üle komplekti järgmisele sõelale enne selle sõelaga sõelumise jätkamist. Sõela ülekoormamist tuleb vältida.

Sõelte ülekoormamise vältimiseks ei tohiks sõelumise lõpuks igale sõelale jäänud tavalise tihedusega täitematerjali fraktsioon (väljendatud grammides) olla suurem kui maksimaalne sõela koormuspiir Q , mis arvutatakse järgneva valemiga.

$$Q = A * \frac{\sqrt{d}}{200}$$

,kus

Q Maksimaalne lubatav koormus sõelal [g]

A sõela pindala [mm²]

d Sõela ava nimimõõt [mm]

Sõelumine tuleb lugeda lõppenuks alles siis, kui täiendav sõelumine ühe minuti jooksul ei muuda sõelajäägi massi mis tahes sõelal üle 1 massiprotsendi.

Suurimate avadega sõelale jäänud materjal kaalutakse ja registreeritakse kui mass R₁. Sama korratakse järgmise, tema all olnud sõelaga ja registreeritakse kui mass R₂. Samuti talitatakse kõikide komplektis olevate sõeltega ning registreeritakse jäägid sõeltel kui massid R_n, Kaalutakse ka põhjale jäänud materjal ja registreeritakse kui mass P.

Erinevate fraktsioonide massid kantakse katsetulemuste registreerimislehele. Arvutatakse igale sõelale jäänud fraktsiooni massiprotsent katseproovi algsuivmassist M₁. Arvutatakse kõikide sõelte läbind kuni 0,063 mm avadega sõela, valemiga:

$$f = \frac{(M1 - M2) + P}{M1} * 100$$

,kus

M1 katseproovi kuivmass kg

M2 0,063 mm avadega sõelale jäänud materjali kuivmass kg

P Põhjale jäänud materjali mass kg

Kuivsõelumiseks $f = \frac{100P}{M1}$

3.4. Filtratsioonimoodul – katsemeetodil EVS 901-20

*Märkus: Käesolev peatükk kirjeldab filtratsioonimooduli määramise standardi EVS-EN 901-20 meetodikat. [8]

Esmane proov jagatakse kaheks esindusprooviks, millest ühele määratakse terastikuline koostis. Teine esindusproov sõelutakse läbi 4 mm avadega katsesõela ja sõela läbinud osa jagatakse seejärel omakorda kaheks piisavalt suureks prooviks. Filtratsioonimooduli katseks vajalike lähteandmete saamiseks teostatakse ühele ettevalmistatud proovile maksimaalse kuivtiheduse määramise katse, ehk Proctor-teim. Teine ettevalmistatud proov jagatakse kolmeks või enamaks osaprooviks ja nendega teostatakse filtratsioonimooduli määramise katse, kus osaproovid tihendatakse katsesilindritesse Proctor-teimiga määratud optimaalse veesisalduse juures maksimaalse kuivtiheduseni.

Enne katse sooritamist kuivatatakse proov ahjus konstantse massini temperatuuril 110 ± 5 °C. Katse sooritamiseks peab proov jahtuma toatemperatuurini. Ettevalmistatud proov jagatakse kolmeks osaprooviks nii, et igaüks oleks massiga vähemalt 450g. Osaproovidele lisatakse mõõtesilindriga vesi ja niisutatakse optimaalse veesisalduseni ning segatakse ühtlaselt läbi. Osaproovid suletakse seejärel õhukindlalt ja hoitakse ühtlase niiskuse tagamiseks vähemalt 0,5 tundi.

Selleks, et viia osaproovid optimaalse veesisalduse juurde, määratakse vajalik veehulk Q järgneva valemiga:

$$Q = \frac{m(W_o - W_i)}{\rho_w(100 + W_i)}$$

,kus

Q pinnase optimaalse niiskuse juurde viimiseks vajaminev veehulk [cm^3]

m Katsetatava proovi mass [g]

W_o Optimaalne veesisaldus [%]

Wi Veesisaldus pärast proovi ettevalmistamist [%]

ρ_w Vee mahumass sõltuvalt vee temperatuurist [g/cm³]

Katsesilindrisse tihendamiseks vajalik materjali kogus, massiga m_1 , määratakse järgneva valemiga

$$m_1 = V * \rho(\max) * \frac{100 + W_o}{100}$$

,kus

m_1 Vajalik proovi mass g

V proovi ruumala katsesilindris (määratakse iga konkreetse kasutatava silindri siseläbimõõdu alusel) [cm³/ml]

W_o Optimaalne veesisaldus, määratuna EN 13286-2 kohaselt [%]

$\rho(\max)$ Materjali maksimaalne kuivtihedus määratuna EN13286-2 kohaselt [g/cm³]

Tihendatud prooviga silindrid tõstetakse veega osaliselt täidetud ämbrisse, mida järkjärgult veega täidetakse, kuni veetase ämbris on katsesilindris oleva materjali kõrgusest 1..2 cm kõrgemal. Katsesilinder tuleb ämbrisse asetada raputava liigutusega, et vähendada proovi pooridesse jääva õhu osa. Proovil lastakse veega küllastuda. Pärast vee ilmumist katsetatava proovi pinnale, valatakse katsesilindrisse vett, kuni see täidab katsesilindri ülemise osa (proovi peale jääv vaba maht) umbes 1/3 ulatuses. Katsesilinder eemaldatakse ämbrist ja asetatakse veega täidetud veealusesse või -anumatesse. Ühe osaproovi puhul korratakse läbijooksude protseduuri kaks korda, paralleelsete osaproovide tulemusi peab olema vähemalt kolm. Katse esinduslikuks tulemuseks võetakse osaproovide määrangute keskmine väärtus. Pärast veealustesse– või -anumatesse asetamist täidetakse katsesilinder veega nii, et veetase ületaks piesomeetri nulltasest vähemalt 5 mm ulatuses. Veel lastakse

vabalt voolata ja fikseeritakse piesomeetri mõõteskaalalt veetaseme langus valitud vahemikus (võimaluses 0 mm kuni 50 mm) ja määratakse stopperiga veetaseme languse kiirus. Katset korratakse samale proovile uuesti vett peale valades ja veel välja voolata lastes mitte vähem kui 2 korda. Katseseeria jooksul ei tohi veetase alaneda alla proovi pealmise pinna katsesilindris.

Filtratsioonimooduli tulemus antakse kümnendiku täpsusega ja arvutatakse järgneva valemiga:

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

- K_{10} filtratsioonimoodul taandatuna vee temperatuurile 10 °C [m/ööp]
- h materjali kõrgus katsesilindris
- S Piesomeetri skaalalugem mõõtmise algusest (pieosmeetri 0-st),
Võimalusel 5 cm
- H_0 Veetaseme kõrgus mõõdetuna piesomeetri 0-st veeanuma servani (veepiirini) cm
- φ Ühikuta koefitsient, mis tuleneb hindamistabelist (standardi lisa A)
- t veetaseme alanemise aeg piesomeetris [s]
- T temperatuuri parandustegur, mis arvutatakse järgmiselt:

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

,kus T_f on katses kasutatava vee temperatuur

4. TÖÖ KÄIK JA KATSETULEMUSED

4.1. Proovide võtmine

Välitöödel proovi võtmisel on eesmärgiks saada katseteks piisav kogus materjali, mis usaldusväärsel määral iseloomustaks kogu toodangu parameetreid.

Sõelmete proovid on võetud Nordkalk AS Vasalemma karjäärast 31. novembril. 2017. Fraktsioon 0/4 oli võimalik võtta otse tootmisliinilt, mis on eelistatuim proovivõtu viis. Proovivõtukast paigutati sõela konveierlindilt tuleva sõelmete joa alla ning kast täitus otse liinilt tuleva materjaliga. Ilm oli tuulevaikne ning proovivõtukast oli lindile lähedal, seega proovi võtmisel olid peenosiste lendumine minimaalne.

Fraktsioon 0/10 oli toodetud varasemal hooajal, mistõttu on proov võetud kuhilast. Puistangust proovi võtmisel on oluline silmas pidada võimalikku osakeste segregatsiooni ning ilmastikutingimuste mõju. Eelnevast tuleneva vea vältimiseks eemaldati proovivõtukohtadest vihmavee poolt pestud kiht kuni poole meetri ulatuses ning proovipartiid kühveldati kuhila mitmest osast koondproovikastidesse. Kuna puistangust oli hiljuti materjali väljatud, oli võimalik võtta osaproove ka kuhila keskosast. Liiva on võetud AS Talter Männiku liivakarjäärast analoogselt 0-10 sõelmete võtmise meetodikale.

4.2. Proovipalade ettevalmistamine

Koondproovid transpordit TTÜ Mäenduslaborisse. Et saavutada homogeensus segati koondproovid põhjalikult läbi ning vähendati proove esialgu jaotava kühveldamise meetodiga osaproovideks, mis hiljem omakorda kvarteerimise meetodil laboratoorseteks proovideks.

Seejärel paigutati osaproovid metallvormidesse ning panin nad 24ks tunniks ventileeritavasse ahju 105 kraadi juures kuivama.

4.3. Puistetihedus

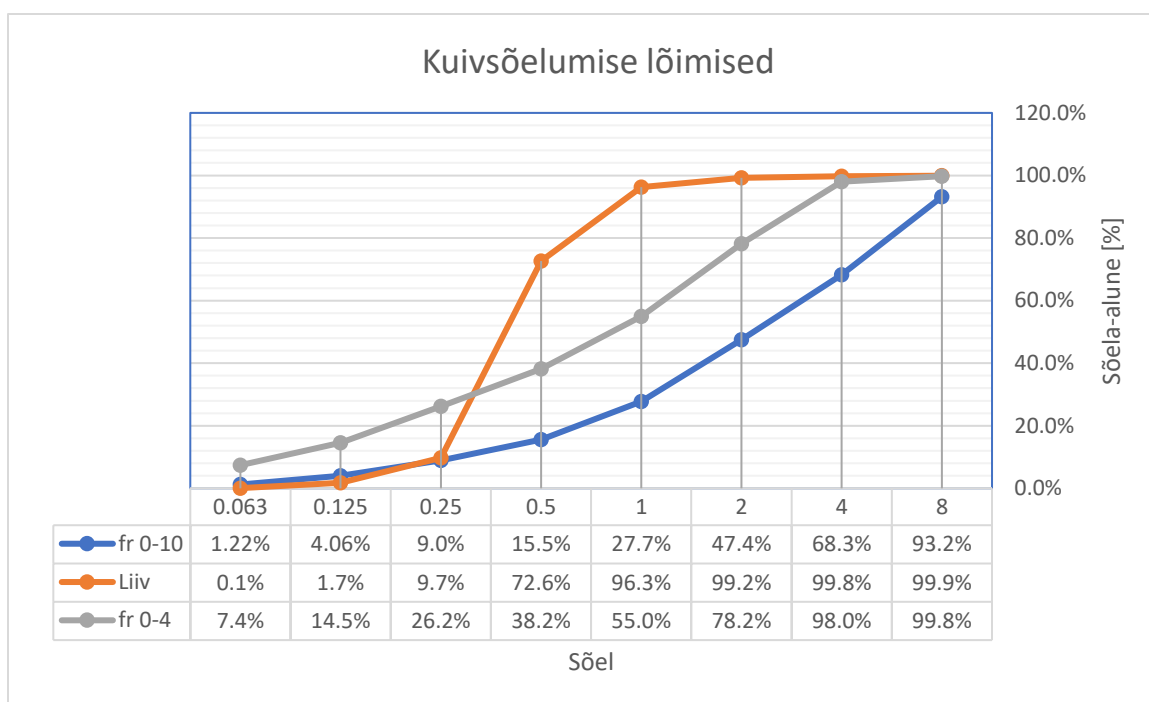
Puistetiheduse määramiseks võttis töö autor eelnevalt määratud ruumala ja massiga sirge äärega metallist anum. Anum täideti ühtlaselt kühvliga ääre kõrguselt puistates kerge kuhjaga. Kuhi eemaldati kaabitsaga paralleelselt äärega. Seejärel kaaluti anum koos materjaliga ning registreeriti mass. Katset korrati iga materjaliga kolmel korral tulemused on esitatud järgnevas tabelis (tabel 5).

	Mass koos nõuga [g]	Netomass [g]	Puistetihedus [g/dm ³]
0/4	11935	8255	1.5909
	11950	8270	1.5938
	11920	8240	1.5880
		Keskmine:	1.591
0/10	10740	7060	1.3606
	11125	7445	1.4348
	10875	7195	1.3866
		Keskmine:	1.394
Liiv	11675	7995	1.5408
	11710	8030	1.5475
	11670	7990	1.5398
		Keskmine:	1.543
*Möötenõu mass:	3680	g	
*Möötenõu maht:	5189	dm ³	

Tabel 4 Puistetiheduse katsetulemused

4.4. Puistematerjalide sõelanalüüs.

Materjalile teostati lõimise analüüsi esmalt vaid kuivatatult. Kasutati ruudukujuliste avaustega standardseid sõelasid. Sõelumise kestvus oli 10 minutit. Sõelumist korrati iga materjaliga viie erineva osaprooviga. Andmete töötlemise hõlbustamiseks on koostatud sõelanalüüsi vormi. [Excel_lisa 1]. Kõiki üksikproove sisaldav raport on vaadeldav lõputöö lisas [Excel_lisa 3]. Koondatud kuivisõelumise tulemused on esitatud järgnevas graafikus (graafik 3).



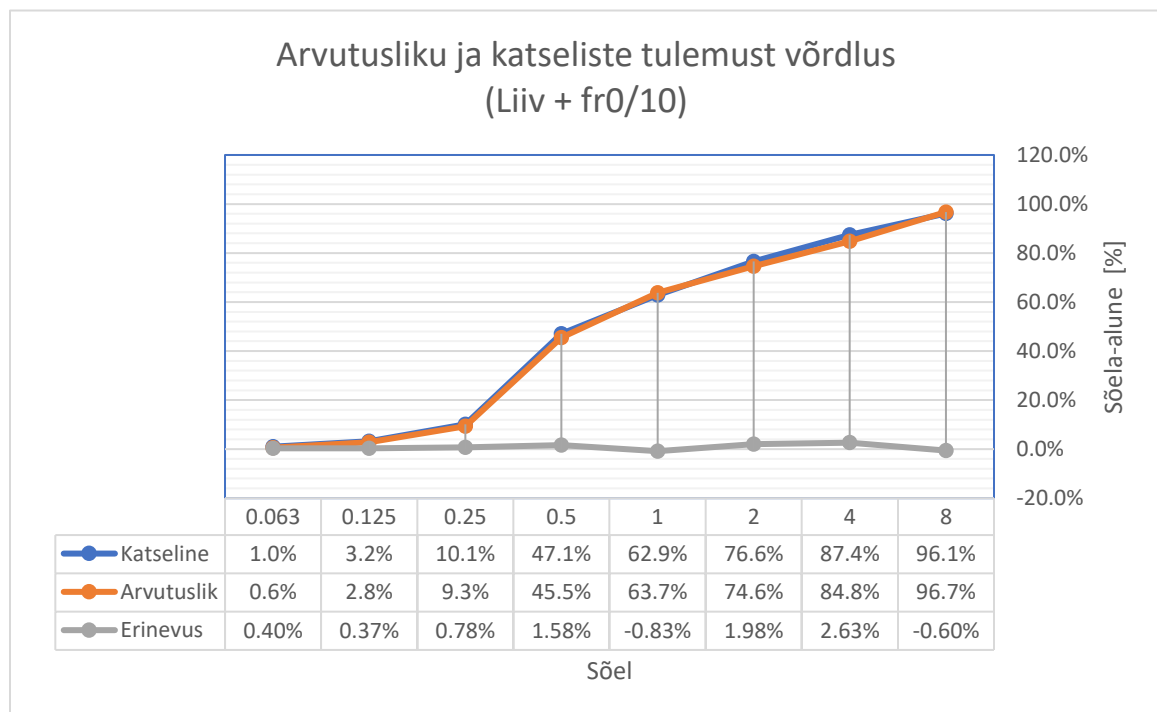
Graafik 2 Kuivisõelumise tulemused.

Siinkohal on oluline välja tuua peenosiste sisaldus, mis on põhiline filtratsioonimooduli mõjutav tegur. Liiva puhul oli peenosiste sisaldus peaaegu olematu (0,1%), fraktsiooni 0/10 puhul 1,22% ning fraktsiooni 0/4 puhul juba 7,4%.

4.5. Arvutuslik meetod hindamaks segatud materjalide lõimist

Teades lähtematerjalide puistetihedust ja nende lõimiseid on võimalik välja arvutada materjalide segamisel saadav lõimis. Selleks koostas autor Excelis vastava kalkulaatori, millega on võimalik lihtsasti määrata kahe fraktsiooni segamisel saadava materjali lõimis (Excel_Lisa 2). Segamist arvestatakse mahu järgi, sest üldiselt käib materjali platsil segamine ilma kaalumiseteta – st. loetakse laaduri kopatäisi. Sarnaste puistetihedustega materjalide puhul on erinevus marginaalne.

Arvutusliku meetodi kehtivuses veendumiseks segati 0/10 fraktsiooni liivaga suhtes 1:1 ning sooritati segudega kuivalt kontrollsõelumised, et võrrelda lõimiseid „segamise kalkulaatoriga“ saadud arvutuslike tulemustega. Nagu allolevatest graafikult (graafik 4) näha, on erinevused marginaalsed ja tulenevad vaid valimi mittemõjutatavast ebahühtlusest.



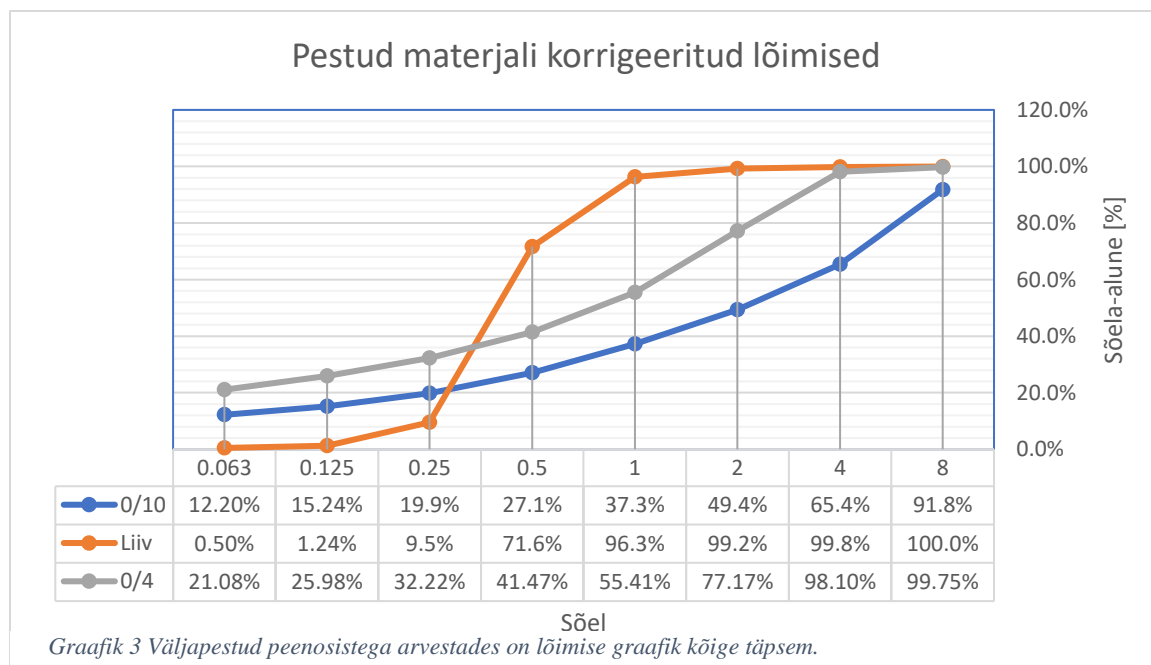
4.6. Puistematerjalide sõelanalüüs peale pesemist.

Eraldi laboratoorseste proovidega Sooritati iga materjaliga 3 katset. Ahjus kuivatatud ning kaalutud materjalid loputati intensiivselt ämbris, et eraldada klombistunud osakesed ning kasutades 0,063mm ja 1mm avadega kaitsesõela pesti proovid voolava vee all. Seeläbi oli võimalik vabaneda osakestele kinnitunud peenosistest. Seejärel kuivatati ja kaaluti materjalid veelkord. Masside vahet saadi väljapestud peenosiste massi. Katsetulemused on esitatud järgnevas tabelis.

	Esiagne summaarne mass [g]	Mass peale pesemist[g]	vahe [g]	% esiaglastest
Liiv	3227.2	3212	15.2	0.5%
0/10	3462.8	3047.6	415.2	12.0%
0/4	3090	2483.8	606.2	19.6%

Tabel 5 Massikadu peenosiste väljapesemisel

Pestud ja kuivatatud proovidele tehti veelkord sõelanalüüs. Lisades sõelanalüüsi tulemustele väljapestud peenosised saame materjali tegelikku lõimist kõige paremini kirjeldava korrigeeritud graafiku.



4.7. Filtratsioonimoodul

Filtratsioonimooduli määramine tehti koostöös Tallinna Tehnikaülikooli teedehituse akrediteeritud laboriga. Määrati filtratsioon esialgu vaid kehtiva standardi EVS 901- 20 järgi. Segatud materjalidele sooritati võrdlusmomendiks katsed ka varasemalt kasutusel olnud Sojuz-Dornii meetodil, et võrrelda tihendamise mõju filtratsiooniomadustele. Esmalt katsetati lähtematerjale. Seejärel segati mahu järgi allolevas tabelis esinevad segud. Filtratsioonikatsete tulemused on esitatud järgnevates tabelites (tabel 6 ja 7).

Materjal	0/10 Sõelmed	EVS 901-20 [m/ööp]	Sojuzdornii, [m/ööp]	Peenosiste sisaldus (arvutuslik)
Liiv	0%	14.1	Ei mõõdetud	0.5%
Liiv+25% 0/10	25%	4.0	7,2	5.1%
Liiv+50% 0/10	50%	0.8	5,6	9.7%
Liiv+75% 0/10	75%	0.2	3,7	14.2%
Sõelmed 0/10	100%	0.0	Ei mõõdetud	18.6%

Tabel 6 Filtratsioonikatsete tulemused fr0/10 puhul

Materjal	0/4 Sõelmed	EVS 901-20 [m/ööp]	Sojuzdornii, [m/ööp]	Peenosiste sisaldus (arvutuslik)
Liiv	0%	14.1	Ei mõõdetud	0.5%
Liiv+25% 0/4	25%	1.2	4.0	5.9%
Liiv+50% 0/4	50%	0.1	2,7	11.2%
Sõelmed 0/4	100%	0.0	-	21.5%

Tabel 7 Filtratsioonikatsete tulemused fr0/4 puhul

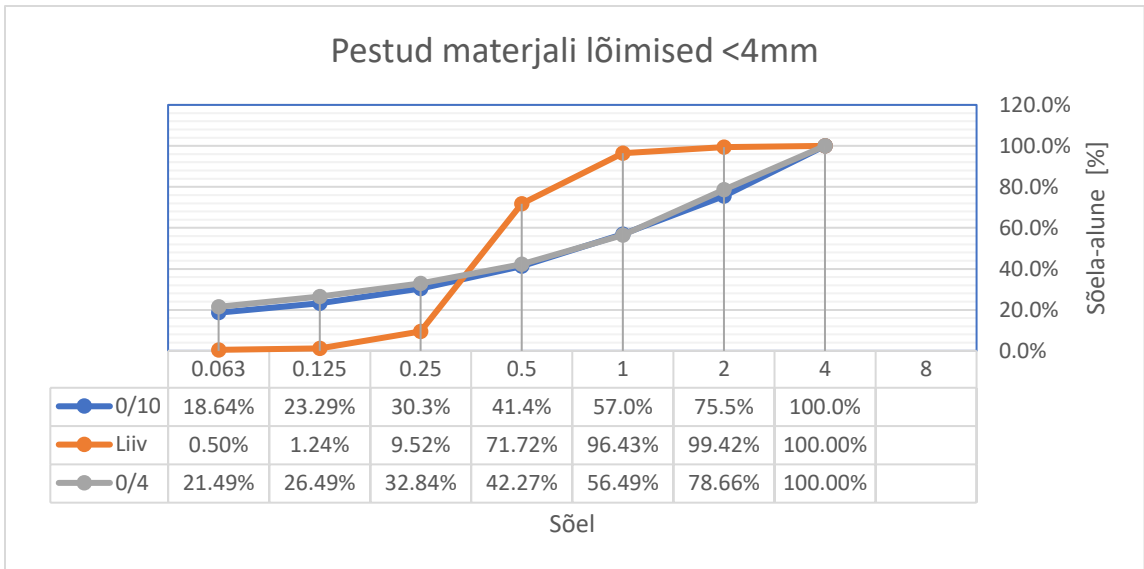
5. ANALÜÜS

5.1. Filtratsioonimoodul ja peenosakeste sisaldus

Esiteks on märgata olulist erinevust pestud ja pesemata materjalide lõimiste vahel. Lihtsalt kuivalt sõelutud materjali puhul on peenosiste sisaldus oluliselt madalam. Lubjakivi peenosised haakuvad teineteise külge ning ei eraldu sõelumisel täielikult. Fraktsiooni 0/10 puhul esines tsementeerumist, mille võisid põhjustada kipsi ja saviosakesed. Peale vees pesemist oli materjal ühtlane

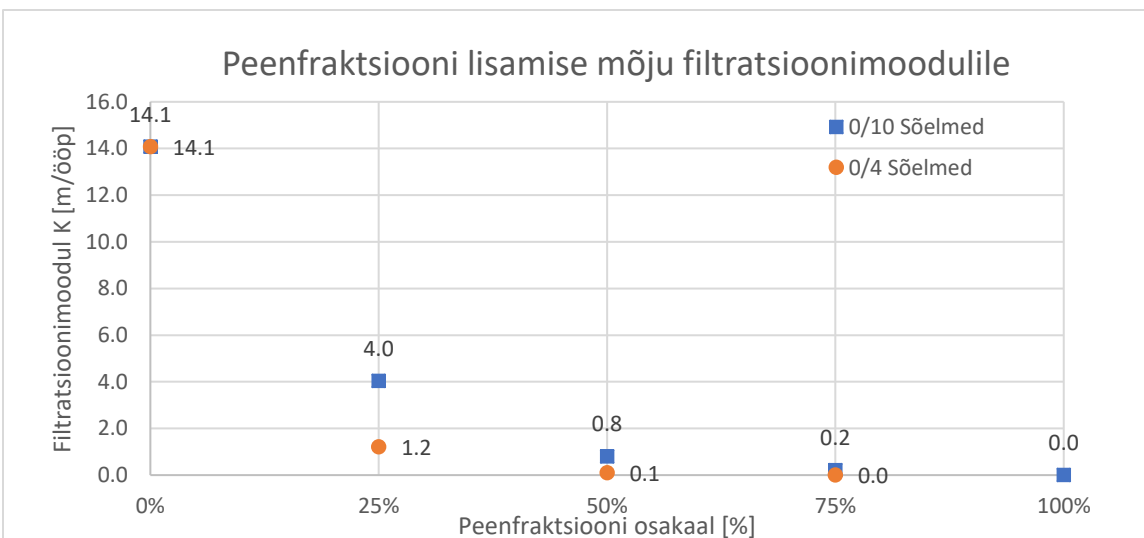
Sojuz-Dornii meetodil ei katsetata materjali optimaalse veesisalduse juures vaid vahemikus 5-6%. Samuti tihendatakse materjali oluliselt vähem. Sellest tulenevalt on saadud filtratsioonimoodul standardkatsest märkimisväärselt kõrgem (mida autor soovis taotuslikult tõestada). Massiivis võivad materjali omadused varieeruda sõltuvalt niiskuse sisaldusest ja tihendamise astmest, ent insener-tehniliste lahenduste puhul tuleb lähtuda põhimõttest *worst-case-scenario* ehk madalaimast tulemusest. Sojuz-Dornii meetod ei anna usaldusväärset tulemust ning käsitletud on vaid standardiseeritud katsete tulemusi.

Autor soovis oma töös võrrelda fraktsioonide 0/10 ja 0/4 segamisel liivaga saadava materjali filtratsioonimooduleid. Siinkohal tuleb aga rõhutada, et filtratsiooni määramisel hetkel kehtiva standardkatse järgi katsetatakse vaid 4 mm avaga sõela läbinud materjali. Ehk sisuliselt muudeti ka fraktsioon 0/10 madalamale astmele fraktsiooniks 0/4. Sellegipoolest olid saadud tulemused oluliselt erinevad. Järgevalt on vaadeldud eelmainitud kahe katsetatud materjalide lõimiseid (graafik 8), peale 4mm avaga sõela läbimist.



Graafik 6 Pestud materjalide lõimiste võrdlusgraafikud peale 4 mm sõela läbimist

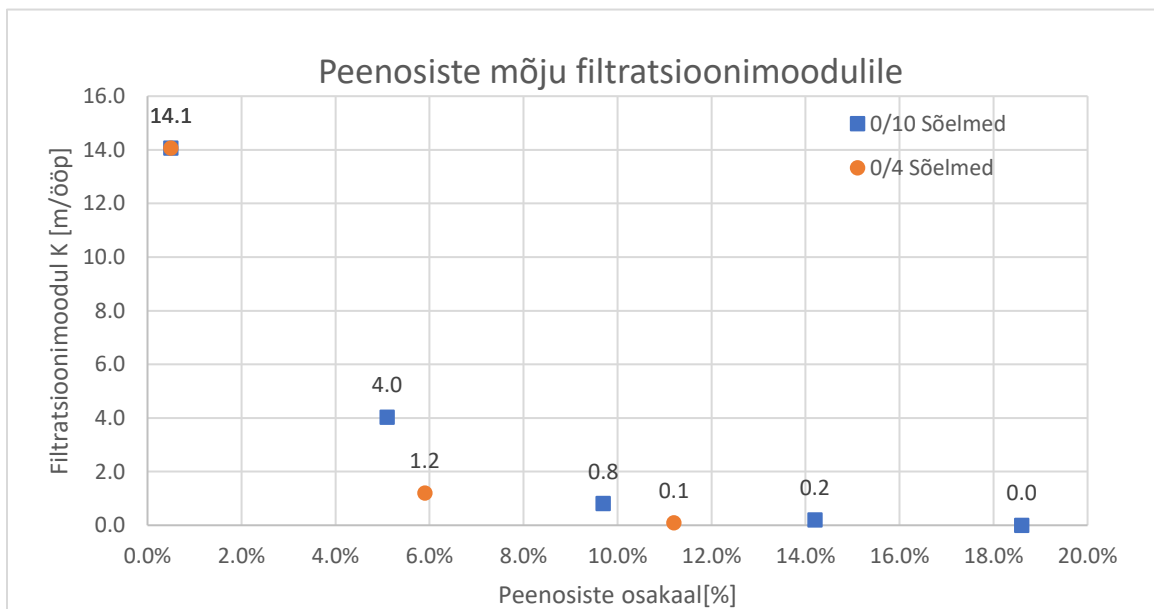
Ilmneb, et peale 4 mm suuremate osakeste eemaldamist on sõelmed väga sarnase profiiliga, mida oligi oodata. Peenosiste sisaldus erineb vaid 2,85 protsendipunkti võrra. Sellest olenemata on alloleval graafikul näha, et „0/10“ segud näitasid märkimisväärselt kõrgemat filtratsioonimoodulit.



Graafik 5 Peenosise osakaalu ja filtratsioonimooduli seos

Erinevuse kõige olulisemaks põhjuseks peab autor asjaolu, et fr 0/10 puhul oli märgata osakeste tsementeerumist. Asjaolu, et kuivsoelumise ja pestud materjali soelumisel oli peenosiste osakaalu erinevus 11,2 protsendipunkti kinnitab hüpoteesi, et tsementeerunud soelmed leonduvad. Filtratsioonikatse sooritati pesemata materjaliga, mis oli eelnevalt vaid kuivatatud. Sellest tulenevalt esines tõenäoliselt veel olulisel määral teineteisega seotud osakesi, mis kuivsoelumisel ei eraldunud. Kui korraldada katse pestud materjalidega, oleks autori hinnangul fraktsiooni 0/10 filtratsioonimoodul oluliselt madalam. Kuna nagu eelnevalt vaadeldud pestud ja soelutud materjalide võrdlusgraafikus (Graafik 8) näha, on lõimised tegelikult väga sarnased, mistõttu peaksid filtratsioonimoodulidki olema ligilähedased. Seega on segu hindamisel otstarbekas kasutada fraktsiooni 0/4 põhjal saadud tulemusi, sest selle puhul on veaohut madalam.

Segu puhul langeb filtratsioonimoodul peenfraktsiooni lisamisel eksponentsiaalselt. Saadud tulemust on sobilikum esitada peenosiste arvutusliku sisalduse alusel, mida iseloomustab allolev graafik (graafik 9).



Graafik 7 Peenosiste osakaalu suurenedes filtratsioonimoodul langeb

Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismeetodite teaduslikus võrdlusuuringus tuuakse välja, et filtratsioonimoodul langeb liivpinnasse puhul tõenäoliselt alla 0,5 m/ööp juba 3% peenosiste sisalduse juures, kuid lisades seejuures, et arvestama peaks ka peenosistest suuremaid osakesi ja kogu lõimist tervikuna. [14]

Antud juhul näitavad katsetulemused oluliselt paremaid filtratsioonimoduleid kõrgemate peenosiste sisalduse juures. Siinkohal võib olulist rolli mängida kasutatud liiva ebäühtlane terakoostis. Katsete vähesusest tulenevalt on veaohht kõrge ning autor ise suhtub tulemustesse skeptiliselt. Et seost täpsustada ja kindlaid järeldusi teha oleks vajalik teha mahukalt täiendavaid katsetusi. Käesoleva lõputöö raames puudus selleks vajalik ressurss (laborikasutuse aeg).

6. JÄRELDUSED

6.1. Katsetamine

Sõelmete katsetamine näitas, et pikemat aega seisnud sõelmetel on omadus tsementeeruda, mistõttu kuivisõelumise teel pole võimalik hinnata materjali tegelikku lõimist. Asjaolust, et vee toimel tsementeerunud osakesed lagunevad, võib järeldada, et pikema aja jooksul tõuseb massiivis selle tõttu peenosiste sisaldus, mis langetab ka filtratsioonimoodulit laborikatselisest tulemusest madalamale (kui laborikatses on katsetatud eelneval töötlemata/loputamata materjale). Seetõttu on fraktsiooni 0/10ga sooritatud filtratsioonikatsed tõenäoliselt eksliku tulemusega. Värskest toodetud ja kuivas keskkonnas hoitud sõelmete puhul tsementeerumist ei täheldatud.

Filtratsioonikatsete tulemuste erinevust võrdsetes segudes seletab eelmainitud tsementeerumine. Kuna katsestandard näeb ette, et katsetatakse vaid 4 mm väiksemaid osakesi, on raske hinnata fraktsiooni 0/10 tegelikku filtratsioonivõimet massiivis. Tõenäoliselt on materjalil pikas perspektiivs fraktsiooni 0/4-ga sarnased omadused. Hinnangu andmisel on lähtutud 0/4 segude katsetulemustest kuna autor ei pea 0/10-ga saadud tulemusi usaldusväärseteks.

Tallinna Tehnikakõrgkooli 2016. aasta uuringus modifitseeriti Proctor'i teimi nii, et oleks võimalik katsetada ka suurema diameetriga materjale. Järeldusena toodi välja, et veeriste ja kruusa lisamisel osakeste vaheline vaba ruum ruumiühiku kohta väheneb, mistõttu filtratsiooniomadused hoopis langevad. [6]

6.2. Liiva ja sõelmete segu peentäitematerjalina

Siinkohal tasuks toonitada, et saadud tulemused kirjeldavad vaid katsetatud materjalide segude omadusi. Peenema terakoostisega liiva, teisiti töödeldud või teistsuguste geoloogiliste tingimuste juures saadud sõelmete puhul tulemused tõenäoliselt erinevad.

Maanteeameti muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise kohaselt tuleb paekivisõelmeid kasutades muldkeha alumises töökihis (1-1,5m sügavusel) kasutada materjali, mille filtratsioonimoodul on tihendatult vähemalt 1 meeter ööpäevas ning kuni meetri sügavusel vähemalt 2 meetrit ööpäevas. [11] Saadud katsetulemuste põhjal ei sobi mitte üheski vahekorras segu drenkihti, kuna filtratsioonimoodul jääb alla kahe meetri ööpäevas. Kasutades segu, milles on 25% sõelmeid on võimalik materjali kasutada muldkeha alumises kihis ehk alates 1 meetri sügavusel.

Tellinna Tehnikakõrgkooli 2014. aasta Kaevandamise jääkmaterjalide kasutusvõimaluste uuringus on hinnatud mõningate teede seisukorda, mille ehitamisel on kasutatud paekivisõelmeid. Ühe eduka näitena võib välja tuua Kumna-Vääna kõrvalmaantee, mille muldkehas on alates 70 cm sügavuselt kasutatud killustikku, kuhu on segatud 40% ulatuses sõelmeid. Vaadeldes teedelt puuritud proovide sõelkõveraid ja võrreldes neid ehitusprojekti väärtustega on märgata, et sõelmed on ajaga märkimisväärselt purunenud. Ainuüksi 0,1 mm avaga sõela läbinud materjali osakaal on tõusnud vahemikust 18,3%...22,6% vahemikku 43,9%...69,1%. Sellest olenemata on tee seiskord üsna hea – puuduvad külmakerked ja vajumisilmingud. Tee säilimise põhjuseks peetakse raskeliikluse puudumist ja veerežiimi, mille puhul sõelmed ei ole veeküllastunud olekus. [15]

Kontrastne näide on Tallinnas asuv Suur-Sõjamäe tänav, mille seisukord on väga halb. Esinevad vajumid, praod ja roopad. Tee muldkehas on samuti kasutatud paekivisõelmeid. Puurimise tulemusel on tuvastatud, et 1,25 m paksune sõelmetest muldkeha algab kohati juba 25 cm sügavuselt. Samuti esinevad sõelmed niiskes või märjas olekus. Liikluskoormus vastab I või II klassi maanteele ning esineb ka raskeliiklust, millest tulenevalt on muutuv koormus kõrge. [15]

Autorile teadaolevalt pole võrdlusandmeid kvaliteetse liiva ja sõelmete segust valmistatud muldkehaga teede kohta. Küll on aga Tallinna Tehnikakõrgkooli teekonstruktsioonide laboris katsetatud sõelmete ja kvartslüüva segu laboratoorselt. Uuringu olulise järeldusena võib välja tuua, et segu puhul peenosiste suurenemist ei täheldatud ning vajumine toimus enamjaolt killustikaluse purunemise arvelt. Lisaks märgati, et sulavee korral veega küllastunud olekus kaotavad paekivisõelmetest ja nende segust tehtud kihid kandevõime, mistõttu esines sealgi deformatsioone. [15 lisa 3]

Sõelmetega saab tõsta halvasti tihendatavate materjalide tihedusastet. Kõrgema tihedusastme korral on ka pinnase kandevõime kõrgem. Jämedateralise liiva segamisel sõelmetega väheneb poorsus ja sellest tulenevalt ka vee läbilaskevõime ehk teisisõnu filtratsioonimoodul langeb. Seejuures käesoleva töö katsetes oli märgata, et langus on eksponentsiaalses sõltuvuses peenosiste sisaldusest.

Laboratoorsed filtratsiooni eelkatsed võivad erineda massiivis esinevast tihendamisjärgsest ja kõrge dünaamilise koormuse (raskeveokiliikluse) ning leostumise mõjul peenenenud materjali filtratsioonikatsete tulemustest. Nende tegurite hindamiseks oleks vaja koguda proove tee konstruktsioonist peale valmimist ja iga-aastaselt pikema perioodi jooksul. Siinkohal võime järeldada, et sõelmete segamisel liivaga tuleb valida selline suhe, mille juures filtratsioonimoodul on soovitud oluliselt kõrgem. Ehk senikaua tuleb paekivisõelmete kasutusel lähtuda maanteeameti juhendis välja toodud varuteguriga filtratsioonimoodulite väärtustest. Tihendamisel tuleb eelistada mittedünaamilisi meetmeid. Segu kasutamiseks on vajalikud eeltingimused madala niiskusastmega veerežiim ning dünaamilise koormuse puudumine.

6.3. Sõelmete pesemine

Pesemata sõelmeid on võimalik kasutada vaid madalas kontsentratsiooni kõrgemargilise liivaga, mille peenosiste sisaldus on madal. Et kasutada sõelmeid maksimaalses lubatud osakaalus (50%) või teistlaadi liivaga on vajalik sõelmete pesemine.

Eestis on Vao karjääris tegutsev Paekivitoodete Tehas sõelmete pesemisega tegelenud praeguseks ligemale 10 aastat. Nende kogemusel on pesemisega võimalik viia peenosiste sisaldust alla 4% ning saadud paeliiva on oluliselt kergem turustada. Samuti on võimalik pesuliiniga vähendada ka teiste fraktsioonide peenosiste sisaldust. Aastal 2015 moodustas pestud fraktsioonide müügitulu 21,6% Paekivitoodete Tehase kogukasumist, millest valdav enamus tulenes paekiviliiva müügist. [7]

Pesemiskompleksi kasutuselevõtt eeldaks mahukaid investeeringuid, mis õigustaksid end vaid suurte müügiimahtude korral. Vasalemma karjääris on tootmine hooajapõhine ning siiski kasutatakse tootmiseks alltöövõttu. Ehk teisisõnu on müügiimahud suhteliselt madalad. Esialgsel hinnangul ei ole ümbritseva piirkonna nõudlus piisav.

Samuti esineb paekiviliiva kasutusel veel lahendamata probleeme ja ebaselgust, mis takistavad selle laiapõhjalist kasutamist teede-ehituses. Olulisemad neist on varemgi välja toodud leondumine ja täienev purunemine tihendamisel.

6.4. Peensõelmete alternatiivsed kasutusvõimalused

Nagu varasemalt mainitud, saab peensõelmeid kasutada oludes, kus puudub dünaamiline koormus ja ümbritsev pinnas on aastaringselt suhteliselt kuiv. Seega on võimalik kasutada peensõelmeid näiteks kergliiklusteede, trasside ja rajatiste aluste ehitamisel. Kaaluda tuleks ka tehisliku drenaaži (drenaažitorude) kasutamist. Samuti sobivad lubjakivi tootmisjäägid veepuhastusjaamadesse happelisuse vähendamiseks ja setitamisprotsesside kiirendamiseks.

Üldjoones on eelmainitud kasutusvõimaluste mahud suhteliselt väikesed, mis vähendab sõelmemägesid karjääris vaid marginaalselt. Allesjäänud materjal leiab siis kasutust kaevandatud alade korrastamisel.

7. KOKKUVÕTE

Saadud katsetulemuste põhjal on keeruline hinnata materjalida filtratsioonimadusi teekonstruktsioonis pikema perioodi jooksul. Võttes arvesse maanteeameti juhendites paekivisõelmetele kohaldatud varuteguriga filtratsioonimoduleid, võib hinnata 25% sõelmete sisaldusega liiva-sõelmete segu sobivaks kasutada vaid muldkeha alumises kihis alates ühe meetri sügavuselt. Tihendamisel tuleb vältida dünaamilisi meetodeid ning samuti on oluline eeldus et projekteerimisega on välistatud muldkeha liigniiske olekusse sattumine.

Kuna pesemata paekivisõelmetel on omadus niiskuse mõjul tsementeeruda ja liigniiskuse mõjul jällegi leonduda, tuleks sõelmeid enne katsetamist vees segada. Seejuures peab vältima peenosiste kadu vabanedes veest mitte kurnamise vaid ainult kuivatamise teel.

8. VIITED

- [1] Darcy seadus https://et.wikipedia.org/wiki/Filtratsiooni_p%C3%B5hiseadus#cite_ref-Fetter_1-1 [WWW] (15.11.2017)
- [2] Veejuhtivus <https://et.wikipedia.org/wiki/Veejuhtivus> [WWW] (15.11.2017)
- [3] Tee-ehitusmaterjalidele ja -toodetele esitatavad nõuded ja nende nõuetele vastavuse tõendamise kord <https://www.riigiteataja.ee/akt/108042016005?leiaKehtiv>
- [4] Standard EVS-EN 13242. „Ehitustöödel ja tee-ehituses kasutatavad sidumata ja hüdrauliselt seotud täitematerjalid“
- [5] Täitematerjalide geomeetriliste omaduste katsetamine EVS-EN 933-1;
Osa 1: Terastikulise koostise määramine. Sõelumismeetod.
- [6] „Muldkehades ja drenkihtides kasutatavate mineraalmaterjalide veejuhtivus- ja tugevusomadused seotuna terastikulise koostisega,,
https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/filtratsioonimooduli_ja_dreenkihi_uuring_us.pdf
- [7] „Tootmisjääkide kasutamine uute toodetena lubjakivi kaevandamisel Vão karjääri näitel“ Daniel Libman'i 2017. a. bakalaureusetöö
- [8] Standard Tee-ehitus EVS 901-20
Osa 20: Filtratsioonimooduli määramine
- [9] Standard Tee-ehitus EVS 932-1
Osa 1: Proovivõtumeetodid
- [10] Maanteeameti muldkeha remondi projekteerimise juhis

https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/projekteerimine/muldkeha_remondi_projekteerimise_juhis.pdf

[11] Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise

https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/ehitus/muldkeha_ja_drenkihi_juhis_05_01_16.pdf

[12] Maanteeameti killustikust katendikihtide ehitamise juhise

https://www.mnt.ee/sites/default/files/content-editors/Failid/Juhendid/ehitus/killustikust_katendikihtide_ehitamise_juhis.pdf#%5B%7B%22num%22%3A45%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C88%2C650%2C0%5D

[13] Maanteede projekteerimisnormid

https://www.riigiteataja.ee/akti/1070/8201/5014/MKM_m106_lisa.pdf

[14] Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismeetodite teaduslik võrdlusuuring.

https://www.mnt.ee/sites/default/files/survey/lep12071_filtratsioonimooduli_lopparuanne.pdf

[15] Kaevandamise jääkmaterjalide kasutusvõimaluste uuring

https://energiatalgud.ee/img_auth.php/d/d2/Keskkonnainvesteeringute_Keskus_Kaevandamise_j%C3%A4%C3%A4kmaterjalide_kasutusv%C3%B5imaluste_uuring_2014.pdf

[16] Tee ehitamise kvaliteedi nõuded

<https://www.riigiteataja.ee/akt/107082015001?leiaKehtiv#para9>

9. LISAD

Järgnevad lisad on esitatud Excel failidena.

Lisa 1 Sõelanalüüsi kalkulaator

Lisa 2 Segamise kalkulaator

Lisa 3 Tulemused