

Andre Mägi

KEHTIVATE NÕUETE BAASIL – KRUUSLIIVAD EESTIS JA NENDE KASUTUSVÕIMALUS DREENKIHI EHITAMISEKS

LÕPUTÖÖ

Ehitusteaduskond
Teedehituse eriala

Tallinn 2015

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	8
1. DREENKIHT.....	10
1.1. Kehtivad nõuded.....	10
1.2. Proovivõtumeetodid.....	11
1.2.1. Proovide võtmine kuhilast.....	11
1.2.2. Proovide tähistamine, pakkimine ja transport.....	12
1.3. Filtratsioonimooduli määramine.....	12
1.3.1. Proovi ettevalmistamine.....	12
1.3.2. EVS-EN 13286-2 Proctor teim.....	13
1.3.3. Katsetamine.....	14
1.3.4. Arvutuskäik.....	17
2. KRUUSLIIVAD.....	19
2.1. Üldosa ja levik.....	19
2.2. Kruusliivade klassifikatsioon GOST 25100-95 ja EVS-EN ISO 14688 järgi.....	21
2.3. Tugevuskarakteristikud.....	24
3. KARJÄÄRID JA KATSETULEMUSED.....	25
3.1. Sissejuhatus.....	25
3.2. Tudulinna kruusakarjäär.....	25
3.2.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus.....	25
3.2.2. Tudulinna kruusakarjääri kruusliiva katsetamine.....	26
3.3. Kalda karjäär.....	27
3.3.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus.....	27
3.3.2. Kalda karjääri kruusliiva katsetamine.....	28
3.4. Kaiste kruusakarjäär.....	29
3.4.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus.....	29
3.4.2. Kaiste karjääri kruusliiva katsetamine.....	30
3.5. Pahuvere kruusakarjäär.....	31

3.5.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	31
3.5.2.	Pahuvete kruusakarjääri kruusliiva katsetamine	32
3.6.	Ruusamäe karjäär	33
3.6.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	33
3.6.2.	Ruusamäe karjääri kruusliiva katsetamine	34
3.7.	Vana-Kastre II kruusakarjäär	35
3.7.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	35
3.7.2.	Looduslik materjal	35
3.7.3.	Kruus	35
3.7.4.	Liiv	36
3.7.5.	Vana-Kastre II kruusakarjääri kruusliiva katsetamine	36
3.8.	Haava III kruusakarjäär	38
3.8.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	38
3.8.2.	Looduslik materjal	38
3.8.3.	Kruus	38
3.8.4.	Liiv	39
3.8.5.	Haava III kruusakarjääri kruusliiva katsetamine	39
3.9.	Keedika kruusakarjäär	41
3.9.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	41
3.9.2.	Keedika kruusakarjääri kruusliiva katsetamine	42
3.10.	Oorema karjäär	44
3.10.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	44
3.10.2.	Oorema karjääri kruusliiva katsetamine	44
3.11.	Kivi liiva-ja kruusakarjäär	46
3.11.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	46
3.11.2.	Kivi karjääri loodusliku kruusliiva katsetamine	47
3.11.3.	Kivi karjääri sõelutud kruusliiva katsetamine	48
3.12.	Kolleri II kruusakarjäär	50
3.12.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus	50
3.12.2.	Looduslik materjal	50
3.12.3.	Kruus	50
3.12.4.	Liiv	51
3.12.5.	Kolleri II kruusakarjääri kruusliiva katsetamine	51
3.13.	Kapasto IV kruusakarjäär	53

3.13.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus.....	53
3.13.2.	Kapasto IV kruusakarjääri kruusliiva katsetamine.....	54
3.14.	Kõltsi kruusakarjäär	56
3.14.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus.....	56
3.14.2.	Kõltsi kruusakarjääri kruusliiva katsetamine	57
3.15.	Künka kruusakarjäär	58
3.15.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus.....	58
3.15.2.	Künka kruusakarjääri kruusliiva katsetamine.....	58
3.16.	Siimusti liivakarjäär	60
3.16.1.	Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus.....	60
3.16.2.	Siimusti liivakarjääri kruusliiva katsetamine	60
4.	KATSETULEMUSTE ANALÜÜS	63
	KOKKUVÕTE.....	67
	SUMMARY	69
	VIIDATUD ALLIKAD.....	71
	Lisa 1. EVS-EN ISO alusel klassifitseeritud pinnaseproovide nimetused vastavalt GOST-ile.....	73

LÜHENDITE LOETELU

EVS	Eesti Vabariigi Standard.
GOST	Venemaa riiklik standard.
TTÜ	Tallinna Tehnikaülikool.
Optimaalne veesisaldus	Proctor-teimi kohaselt tihendatud täitematerjali proovi veesisalduse ja kuivtiheduse sõltuvuse graafikult määratud veesisaldus, mille juures on saavutatud vaadeldava proovi maksimaalne kuivtihedus [1].
Hüdrauliline gradient i	Veesamba kõrguste vahena väljendatud rõhkude vahe pikkusühiku kohta [1].
Filtratsioonimoodul K	Darcy seaduse kohaselt laminaarse voolamise puhul on veega küllastunud pinnase filtratsioonimoodul, K , vee äravoolukiiruse, v , ja hüdraulilise gradiendi, i , suhe [1].
Pinnase identifitseerimine	Pinnase määratlemine ja kirjeldamine terakoostise, materjalitüübi ning mineraalsete ja/või orgaaniliste koostisosade omaduste ja plastsuse põhjal [2].
Lõimis	Pinnaseosakeste suurus ja suurusjaotumus [2].
Fraktsioon	Kindla terasuuruse järgi eristatav pinnaseosa [2].
Partii	Toodangu hulk, tame, osa tarnest või kuhil, mis on toodetud samaaegselt ja eeldatavalt ühetaolistes tingimustes [3].
Üksikproov	Materjali kogus partiist, võetud proovivõtuseadme ühe võttega [3].
Koondproov	Üksikproovide kogum [3].
Esindatav proov	Koondproov, mille moodustavad proovivõtuplaani kohaselt võetud üksikproovid, mistõttu on tõenäoline, et proovi kvaliteet vastab partii kvaliteedile [3].
Osaproov	Proov, mis on saadud koondproovi jaotamise teel [3].
Laboratoorne proov	Koondproovist jaotuse teel saadud proov laboratoorseks analüüsiks [3].
Proovivõtja	Rutiinselt proovi võttev isik, isikute rühm või organisatsioon [3].

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö autori eesmärgiks oli Eesti kruusliivade omadusi analüüsida nende kasutusvõimalusi drenihi ehitamiseks, mis eeldab materjalilt suhteliselt head drenivust (filtratsiooni). Drenihi materjal ja materjali filtreerivad omadused on tänasel päeval teedehitusvaldkonnas äärmiselt aktuaalne teema, seoses vana, Sojuzdornii katsemetoodika asendamisega EVS 901-20:2013 standardile vastava katsemeetodiga.

Kruusliivade filtreerivate omaduste kirjeldamiseks on autor välja valinud 15 erinevat karjääri, kus pakutakse EVS-EN ISO 14688 standardi alusel klassifitseeritud kruusliiva. Katmaks kogu Eesti territooriumi, otsustas autor võtta igast Eesti maakonnast ühe karjääri. Seoses sellega, et proovivõtumeetod omab olulist rolli materjali katsetamise protsessis, kirjeldab autor proovivõtu viise ka veidi täpsemalt. Laborikatsed viidi läbi TTÜ Teede laboris. Kokku katsetati ligemale 1000 kg materjale ja maha tuli sõita ca 5000 kilomeetrit.

Lõputöös on allikatena kasutatud 3 erinevat standardit - kirjeldamaks katsemetoodikat proovide võtmiseks, filtratsioonimooduli määramiseks ja kruusliivade klassifitseerimisteks. TTÜ professori Andrus Aaviku ja tema meeskonna poolt koostatud teadustöö „Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile. Ühtlaseteralise liiva ($Cu < 3$) geotehnilisi omadusi mõjutavad tegurid“ on aluseks võrdlemaks kruusliivade klassifikatsiooni nii GOSTi kui EVS-EN ISO 14688 järgi. Praktiliseks tööks välja valitud karjäärade maavara iseloomustamiseks on kasutatud vastavate karjäärade seletuskirjasid.

Diplomitöö koosneb neljast suuremast peatükist. Esimene peatükk käsitleb drenihi olemust ja esitatavaid nõudeid. Seletab lahti filtratsioonimooduli määramise meetoodika, sealhulgas kirjeldab käesoleva diplomitöö tarbeks võetud proovide meetodid ja kirjeldab filtratsioonimooduli määramiseks tehtavat Proctor-teimi. Teises peatükis kirjeldab autor kruusliivade levikut Eestis ja klassifikatsiooni nii GOST 25100-95 kui ka EVS-EN ISO 14688 järgi. Lisaks on välja toodud kruusliivade tugevuskarakteristikud võrreldes teiste materjalidega. Kolmas ja neljas peatükk käsitleb diplomitöö praktilisemat poolt - karjääridest võetud kruusliivade filtratsioonimoodulid ja tulemuste analüüs, lisaks karjääride ja selles leiduvate materjalide üldiseloomustus.

Käesoleva töö raames esitabki autor küsimuse, kas Eestis leiduvad kruusliivad sobivad filtreerivate omaduste põhjal drenkihi ehitamiseks, vastavalt kehtivate nõuetele.

1. DREENKIHT

1.1. Kehtivad nõuded

Dreenkiht on katendi osa, mille ehitamiseks kasutatakse filtreerivaid materjale. Dreenkiht takistab kapilaartõusu ning juhib läbi katte ja aluse imbunud sadevee muldkeha nõlvadele. Levinumad materjalid dreenkihi ehitamiseks on liiv ja kruus.

Dreenkihi materjalile esitatavad nõuded puudutavad filtratsiooni (harva on nõutud ka peenosiste sisaldust, kuid need on omavahel seotud), kuid enamasti on heade filtreerivate omadustega materjal ühtlaseteraline ja seda on kehv tihendada (näitena võib tuua männiku liiva). Sellest tulenevalt on materjali kandevõime ka madal. Ühtlaseteralise materjaliga ehitamisega kaasnevat kandevõime puudujääki on võimalik kompenseerida aluse ja katte konstrueerimisel, kuid see viib ehituse maksumuse oluliselt kallimaks.

Maantee projekteerimisnormides on toodud välja, et aktiivtsooni ülemises meetris tuleb kasutada pinnaseid, mille filtratsioon EVS meetodil ja standardse Proctor-teimi maksimaaltihedusel on vähemalt 0,5 m ööpäevas ja alumises 0,5 meetri osas filtratsiooniga 0,2-0,5 m ööpäevas. Aktiivtsooni ülemises meetris võib kasutada ka pinnaseid filtratsiooniga 0,2 – 0,5 m ööpäevas, kuid sellisel juhul tuleb ette näha normide punkti 4.4 lõige 8 järgne dreenkiht. [4]

Filtratsioonimooduli määramise juhend on kinnitatud Maanteeameti peadirektori käskkirjaga nr 0069 (13.02.2013). Käskkiri sätestab, et filtratsioonimooduli määramine tuleb teostada maksimaalse tiheduse ja optimaalse niiskusesisalduse juures. Maksimaalse standardtiheduse leidmiseks tuleb teostada Proctor-teim EVS-EN 13286-2 standardi kohaselt. Filtratsioonimoodul tuleb määrata EVS 901-20:2013 standardi järgselt.

Ühtlasi on käskkirjas sätestatud nõutav filtratsioonimoodul dreenkihile:

- 1-2. niiskuspakkonnas vähemalt 1m/ööp, dreenkihi minimaalne paksus 20cm.
- 3. niiskuspakkonnas minimaalselt 2 m/ööp, dreenkihi minimaalne paksus 30cm.

1.2. Proovivõtumeetodid

Seoses sellega, et materjalid on äärmiselt ebaühtlased, mõjutab tulemit oluliselt proovivõtu meetod. Tihtipeale piirdub filtratsioonimooduli määramine üksikute proovidega. Proovivõtu eesmärgiks on saada partii keskmisi omadusi esindav koondproov. Proovide võtmist käsitleb EVS–EN 932-1:2000 Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine osa 1: Proovivõtumeetodid. [3]

Standardis EVS-EN 932-1:2000 väljatoodud meetodil baseeruvad käsitööl ja on mõeldud kasutamiseks ehitusala. Keelatud pole kasutada mehaanilisi ja automaatseid proovivõtumeetodeid. [3]

Proovide korrektne võtmine ja transport on äärmiselt oluline, saamaks usaldusväärset tulemust. Inimlik eksimus tuleb viia miinimumini. Partii heterogeensusest tulenevaid erinevusi saab vähendada vastuvõetava tasemeni, kui võtta piisavalt üksikproove. Kui täitematerjal ühtlustatakse valmistamise käigus, siis võib üks uur üksikproov olla partiid esindav proov. [3]

Esindava koondproovi koostamiseks võetakse üksikproovid juhuslikult partii igast osast. Täitematerjali, millest üksikproovide võtmine on raskendatud või võimatu (kuna sellele ei pääseta juurde või mõnel muul praktilisel põhjusel), ei saa käsitleda partii osana, mida koondproov esindab. Näiteks kui üksikproovid võetakse silost väljalastavast materjalist, esindab koondproov just väljalastud materjali, mitte vastupidi. [3]

Koondproovi suuruse arvutamisel tuleb arvestada katsete tehnoloogiat, katsete arvu ja täitematerjali terasuurst. Arvestada tuleb ka materjali tihedusega. Kui on vajadus katsetada üksikproovi, tuleb selle suurus arvutada, lähtudes samadest parameetritest. Üksikproovide arv, mis valitakse saamaks koondproovi, valitakse kogemuslikult. Kogemus peaks eeldatavasti põhinema varasemalt registreeritud katsetustel. [3]

1.2.1. Proovide võtmine kuhilast

„Ligikaudu võrdsete suurusega üksikproovid tuleb võtta üle kogu kuhila jaotatud erinevatest punktidest, erinevalt kõrguselt või sügavuselt. Üksikproovide võtmise koha ja arvu valikul tuleb arvesse võtta ladustamisviisi, kuhila kuju ja võimalikku segreerumist kuhila sees. Üksikproovi tuleb võtta süvendi sügavaimast punktist, kasutades kühvli, kühvellabidat või proovivõtjat“. [3]

Olgugi, et standard soovitatav võimaluse korral vältida kuhilast võtmise meetodid, kuna raske on täita põhimõtet, et üksikproovid tuleb võtta juhuslikult kõigist partii osadest nii, et segreerumine ei

põhjustaks väärtulemust, on käesoleva töö tarbeks laborisse viidud proovid just kuhila meetodil võetud. See oli tingitud sellest, et talvisel ajal olid enamuse karjäärid puhkusel. Lisaks ei määratle ära üksi redaktsioon, millisel meetodil tuleb proov võtta. On vaid ära toodud mahud, mille järel tuleb proov võtta.

1.2.2. Proovide tähistamine, pakkimine ja transport

Proovid või konteinerid tuleb märgistada korrektselt. Tähis peab sisaldama [3]:

- Ainulaadset koodi või;
- Laboratoorse proovi kirjeldust, proovivõtukohta, kuupäeva ja materjali märgistust.

„Laboratoorne proov peab olema pakitud ja transporditud nii, et proov säiliks samas seisundis, nagu ta oli proovi võtmisel, näiteks täitematerjali fraktsioonide segu peab olema pakitud puhtasse konteinerisse, mis välistab peenosiste kao transpordil. Kui näiteks on vaja säilitada laboratoorse proovi niiskust või lenduvate ainete sisaldust, tuleb konteinerid või muud proovivõttuanumad sulgeda õhukindlalt“. [3]

„Proovivõtja peab koostama proovivõttuprotokolli igast allikast võetud laboratoorse proovi või iga proovide grupi kohta. Proovivõttuprotokoll peab viitama käesolevale standardile ja sisaldama“ [3]:

- Proovivõttuprotokolli tunnust (seerianumbrit);
- Laboratoorse proovi tähist;
- Proovivõtmise kohta ja aega;
- Partii terastikulise koostise tüüpi ja terasuurst;
- Proovivõtu punkti või partii tunnust, millest proove võeti;
- Viidet vastavalt standardis ettenähtud proovivõttuplaanile;
- Proovivõtja(te) nime(sid).

1.3. Filtratsioonimooduli määramine

1.3.1. Proovi ettevalmistamine

Vastavalt katsestandardist EVS-EN 901-20:2013 toimub proovi ettevalmistamine järgnevalt: Laborisse toodud proov jagatakse 3 piisavalt suureks osaks, kuivatatakse 110 ± 5 °C juures konstantse massini ja sooritatakse järgnevad katsed [1]:

- Terastikuline koostis EVS-EN 933-1 järgi;
- Proctor-teim EVS-EN 13286-2 järgi;

- Filtratsioonimooduli määramine EVS-EN 901-20:2013 järgi.

Kui terastikulise koostise määramisel ilmneb asjaolu, et peenosiste sisaldus (materjal, mis läbib 0,063mm sõela) sisaldus on üle 8 %, siis võib edasise katsetamise katkestada ja lugeda proovi materjal mittefiltreeruvaks ja esitada protokollis filtratsioonimooduli tulemuseks $K < 0,1$ m/ööp. Kui peenosiste sisaldus jääb alla 8 %, siis sooritatakse teisele proovi osale Proctor-teim kasutades vormi A ja 2,5 kg haamrit. Proctor-teimi sooritamiseks fraktsioonile 0/4 mm, seega tuleb proov uuesti sõeluda läbi 4 mm ruutavadega katsesõela. Proctor-teimi tulemusena leitakse proovi 0/4 mm fraktsioonile optimaalne veesisaldus ja maksimaalne kuivtihedus. [1]

1.3.2. EVS-EN 13286-2 Proctor teim

Proctor-teim on katse, mille käigus pinnaseproov tihendatakse terasest vormi kasutades selleks spetsiaalset tihendamisenergiaga tihendushaamrit. Proctor-teim koosneb vähemalt viiest üksikust osaproovist erinevatel veesisaldustel ja eesmärgiks on määrata sõltuvus veesisalduse ja kuivtiheduse vahel. Katse tulemusena määratakse 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)“. [5]

Proctor-teimis (Foto 1) katsetatav materjali proov tuleb võtta vastavalt standardis EN 13286-1 kirjeldatud protseduuri järgi. Standardis EN 933-1 kirjeldatud sõelumisprotseduuri kohaselt määratakse terastikuline koostis (täpsusega $\pm 5\%$). Selleks hindamiseks kasutatud materjali ei tohi kasutada tihenduskatsel. Neid protsente kasutatakse proovi ettevalmistusmeetodil, et valida vajaminev minimaalne segu mass ja katsel kasutatava vormi valimiseks. [5] Käesoleva töö tarvis tehtud Proctor-teimi katsed tehti kõik vormi A-d kasutades.

Segud, fraktsiooniga 0/4 mm jagatakse viieks või enamaks esindusprooviks, vastavalt vormi A jaoks igaüks ligikaudu 2,5 kg. Iga proov segatakse korrektselt vastavalt erinevate veekogustega saavutamaks sobiv veesisaldus. Veesisaldused peavad olema valitud sellised, et vähemalt kaks väärtust jäävad kahele poole maksimaalse kuivtiheduse saavutamiseks vajalikku optimaalset veesisaldust. Katse alguses segusse segatava vee kogus sõltub katsetatava segu tüübist ja laborandi kogemusest. Üldiselt on liiva- ja kruusasegude korral sobiv 4 % kuni 6 % veesisaldus ja sobiv veesisalduse intervall 1 % kuni 2 %. Testi täpsuse suurendamiseks tuleb optimaalse veesisalduse läheduses valmistada segu veesisalduste väiksemate intervallidega. Optimaalse veesisalduse 0,8 kuni

1,2 kordsesse vahemikku peab jääma kolm või neli veesisaldust. Vett tuleb segada segusse põhjalikult ja piisavalt, vältimaks katsetamiste varieeruvust. [5]



Foto 1. Proctor seade (Autori foto)

1.3.3. Katsetamine

Kolmas proovi osa jagatakse veel omakorda kolmeks osaprooviks, mille igaühe mass on vähemalt 450g. Neile lisatakse juurde vett vastavalt Proctor-teimist saadud tulemusele, et saavutada optimaalne veesisaldus. Seejärel kaetakse osaproovid õhukindlalt, kasutades selleks kilet ja kummipaelasid ning hoitakse nii vähemalt pool tundi niiskuse ühtlustumiseks. [1]

Pärast niiskuse ühtlustumist alustatakse filtratsioonitorude täitmist. Selleks tuleb esimesena asetada perforeeritud põhjale 0,25mm sõel ja seejärel põhi kinnitada katsesilindri külge. Et toru tuleb täita materjaliga kolmes kihis, siis on mõistlik arvutada veesisalduse ja kuivtiheduse ning filtratsioonitorude mõõtmete järgi iga kihi jaoks vajalik materjali kogus. Filtratsioonitorusse (Foto 2) asetatud iga kiht tihendatakse 40 tihendushaamri löögiga. Enne igat uue kihi lisamist tuleb materjal kobestada 1-2 mm sügavuselt. Et materjali kõrgus torus peab olema vähemalt 10 cm, siis viimase kihi tihendamisel ei tohi korraga 40 lööki ära sooritada, vaid vahepeal tuleb mõõta materjalikihi paksust ja vastavalt sellele tuleb kas materjali juurde lisada või eemaldada katsetorust ning seejärel tuleb puudu jäänud löögid sooritada. Täitmise lõppedes mõõdetakse materjali kaugust filtratsioonitoru

ülemisest servast ja kirjutatakse see töölehele. Materjali jäägi, mida filtratsioonitorusse ei pandud, abil määratakse proovi veesisaldus, kaaludes seda enne ja pärast kuivatamist. Need kaks massi ja kasutatud taara mass tuleb töölehele kirja panna. [1]



Foto 2. Filtratsioonimooduli katsetorud (Autori foto)

Tihendatud torud asetatakse veeämbrisse (Foto 3), mis täidetakse veega ning lastakse proovidel veega küllastuda. Filtratsioonitoru tuleks ämbrisse paigutada kerge raputava liigutusega, et vältida õhumulli jäämist toru põhja alla, kuna see aeglustab veega küllastumise kiirust märgatavalt. [1]

Kui proov on veega küllastunud, tõstetakse toru kas veeanumale või veealusele. Kui gradiendi 1 (veeanum) korral kestab läbijooks 0 kuni 5 cm-ni kauem kui 10 minutit, siis võib kasutada gradienti 2 (veealus). Seejärel täidetakse filtratsioonitoru veega üle piesomeetri skaala viimase mõõtejoone, lastakse veel hakata langema ning käivitatakse stopper (Foto 4), kui veepiir on langenud uuesti skaala ülemise mõõtejooneni. Stopper peatatakse, kui veepiir on langenud 5 cm ja kulunud aeg registreeritakse töölehel. Seejärel sooritatakse eelnev protsess kolmel osaproovil korraga. Läbijooksude ajal tuleb mõõta ka katses kasutatava vee temperatuur ja see töölehel registreerida. Osaproovide läbijooksu aeg ei tohi erineda rohkem kui 10 %. Vastasel juhul tuleb sooritada kordusmäärang uue osaprooviga. Kui ühe osaproovi keskmine läbijooksu aeg erineb osaproovide üldkeskmisest üle 20 %, siis tuleb märkida katseprotokolli määrangute minimaalne ja maksimaalne väärtus. [1]

Lubatud erinevus Proctor-teimiga määratud ja filtratsioonitorus saavutatud kuivtiheduste vahel võib olla $\pm 0,03 \text{ Mg/m}^3$. Saavutatud tihendustegur peab olema vähemalt 0,98. Suurema erinevuse korral tuleb võimalusel katse kas osaliselt või täielikult korrata. [1]

Katseprotokoll peab sisaldama järgmist teavet [1]:

- Viited standardile (tähis);
- Proovi tellijapoolne tähistus (number, päritolu, proovivõtu koht või muu kirjeldus);
- Proovi registreerimise number katselaboris;
- Proovi terastikulise koostise kirjeldus tabelina ja/või graafiliselt;
- Maksimaalne kuivtihedus, megagrammides kuupmeetri kohta (Mg/m^3), täpsusega 0,01 Mg/m^3 ;
- Optimaalne veesisaldus, täpsusega 0,1 %
- Filtratsioonimoodul (m/ööp), täpsusega 0,1m ööp;
- Katseproovi tihendustegur (saavutatud kuivtiheduse võrrelduna Proctori kuivtihedusega).

Vajadusel peab katseprotokoll sisaldama ka järgmist valikulist teavet [1]:

- 16 mm, 31,5 mm või 63 mm katsesõelale jäänud terade kogus protsentides kuivmassist 1 % täpsusega;
- Proctor-teimi katsepunktid ja läbi nende joonistatud sujuv kõver, mis näitab veesisalduse ja kuivtiheduse vahelist seost.



Foto 3. Katsetorud ämbris (Autori foto)



Foto 4. Stopperiga aja võtmine (Autori foto)

1.3.4. Arvutuskäik

Katsesilindris oleva materjali kuivtihedus ρ_{di} leitakse valemiga (1) [1]:

$$\rho = \frac{100m_1}{V * (100 + w_x)}, \quad (1)$$

kus	ρ_{di}	-materjali kuivtihedus g/cm ³ ;
	m_1	-proovi mass filtratsioonitorus g;
	V	-proovi ruumala katsesilindris cm ³ ;
	w_x	-proovi valmistamisel kasutatud veesisaldus %.

Osaproovi filtratsioonimoodul K^{10} leiame valemist (2) [1]:

$$K^{10} = \frac{h}{t} * \Phi \left(\frac{S}{H^0} \right) * \frac{864}{T}, \quad (2)$$

kus	K_{10}	filtratsioonimoodul taandatuna vee temperatuurile 10° C m/ööp;
	h	materjali kõrgus katsesilindris cm;
	S	piesomeetri lugem katse lõpus (1;2;3;4;5) cm;

H_0	filtratsioonitorus katse alguses oleva veepiiri ja veealuse/veeanuma veepiiri kõrguste erinevus (gradient 1 puhul 10 cm; gradient 2 puhul 20 cm) cm;
Φ	koefitsient, mis määratakse standardi EVS 901-20 lisa A tabeli 1 järgi t – veetaseme langemise aeg s;
T	temperatuuri parandustegur, mis arvutatakse $T = 0,7 + 0,03 * T_f$, kus T_f on katses kasutatava vee temperatuur.

Katseprotokoll peab sisaldama järgmist teavet [1]:

- Viited standardile (tähis);
- Proovi tellijapoolne tähistus (number, päritolu, proovivõtu koht või muu kirjeldus);
- Proovi registreerimise number katselaboris;
- Proovi terastikulise koostise kirjeldus tabelina ja/või graafiliselt;
- Maksimaalne kuivtihedus, megagrammides kuupmeetri kohta (Mg/m^3), täpsusega 0,01 Mg/m^3 ;
- Optimaalne veesisaldus, täpsusega 0,1 %
- Filtratsioonimoodul (m/ööp), täpsusega 0,1 m ööp;
- Katseproovi tihedustegur (saavutatud kuivtiheduse võrrelduna Proctori kuivtihedusega)

Vajadusel peab katseprotokoll sisaldama ka järgmist valikulist teavet [1]:

- 16 mm, 31,5 mm või 63 mm katsesõelale jäänud terade kogus protsentides kuivmassist 1 % täpsusega;
- Proctor-teimi katsepunktid ja läbi nende joonistatud sujuv kõver, mis näitab veesisalduse ja kuivtiheduse vahelist seost.

2. KRUUSLIIVAD

2.1. Üldosa ja levik

Eesti territooriumil leiduvad liivad ja kruusad on tekkinud looduslike kivide murenemise ja mannerjää kulutamistöö tagajärjel. Murenemisel tekkinud teravakandilisi mäeliivasid ja –kruusaid leidub meil vähesel määral. Suurem osa Eesti liivadest ja kruusadest on tekkinud mannerjää kulutamistöö tulemusena ja sellest tulenevalt on ka võrdlemisi isomeetrilised, ehk ümarateralised. [6]

Vastavalt tekketingimustele jagunevad Eesti liivad ja kruusad [6]:

- Mandrijää tagasinihkumisel mahajäänud sortimata moreenliivad ja –kruusad;
- Sorditud jääveeliivad ja –kruusad;
- Praeguste ja endiste veekogude (merede) rannikutel levinud rannakruusad ja –liivad.

Eestis liivade ja kruusade lähtematerjaliks on lubjakivid, dolomiidid ning tardkivimid mandrijää poolt Eesti territooriumile kantud rändrahnude näol. Kui liivade puhul on ülekaalus tardkivimitest tekkinud räniliivad, mis on suuremas osas väga puhtad, siis Eesti kruusadele on iseloomulik lubjakivimunakate rohkus. See tuleneb sellest, et mandrijää, liikudes üle Põhja-Eesti laialdase paekiviala, kündis sealt suure osa kivimaterjali üles ja segas seda muude jää poolt kantud kivide, kruusa ja teiste moreenmaterjalidega. Mida rohkem põhja poole, seda suurem on raudkivide osakaal nii moreenis kui ka jääveekruusades. [6]

Maapõueseaduse järgi on liiv ja kruus mitmekomponendilised purdsetted, kus liivas on üle 5 mm läbimõõduga osakesi alla 35% ja kruusas samu osakesi rohkem kui 35%. Oma tekkelt on nad purdsetendid, mis on setitatud tuule, mandrijää, merevee või vooluvee poolt. Purdseteid leidub igas geoloogilise ajastu settes. Kasutamiskõlblik on küll ainult pinnakattes leiduv kruusa- ja liivamaterjal, sest vanemates kivimikompleksides leiduv liiv on liiga peeneteraline ega rahulda ehitustegevuseks nõutavaid terasuursusi. Et liiv ja kruus on omavahel tihedalt seotud, esinedes samades settetüüpides, moodustuvad nad tihti kompleksmaardlad. [6]

Enim on Eestis liiva ja kruusa vahelisi üleminekuvorme - kruusliiva ja liivkruusa. Kruusliivad on enamasti Eestis seotud liustiku sulavete voolude kuhjetega - oosid, liustikujõgede deltakuhjatised ja sandurid, nn Kalevipoja künnivaod. [7] „Looduslikus liivas ja kruusas leidub tavaliselt savi- ja tolmuosakesi. Kruusa hulka arvatakse ka tinglikult veerised, munakad ja rahnud. Liiv on peenepurruline sete, mis koosneb põhiliselt mineraalide (kvarts, päevakivi, vilk, glaukoniit jne) osakestest, kruus on aga jämepurruline sete, mis koosneb kulutatud tard-, moonde- ja settekivimite veeristest ning munakatest ja ümardunud mineraalide osakestest. Maapõueseaduse järgi jaotatakse liiv: tehnoloogiliseks liivaks, mille kasutusala lähtub selle keemilisest koostisest, ehitusliivaks ja puiste- ning täitematerjaliks, mida kasutatakse lõimisest või nii lõimisest kui koostisest lähtuvalt. Kruus aga ehituskruusaks ja täitematerjalina kasutatavaks kruusaks, mida kasutatakse lõimisest ja tugevuslikest omadustest lähtuvalt“. [7]

Eestis on kruusliivad laialt levinud eriti kirde-, kesk- ja lõunaosas. Oluliselt vähem esineb neid Eesti lääneosas ja saartel. Hästi on säilinud jääajal tekkinud liustikulised jääjõgede ja jääpaisjärvede reljeefid. Neist võiks välja tuua Haanja ja Otepää kõrgustikele ja vähemal määral ka Karula kõrgustikule iseloomulikke künklikke moreenset reljeefi. Selles piirkonnas leidub rohkesti kruusliiva karjääre. [6]

Künklik moreenne pinnavorm esineb ka Sakala kõrgustiku lõunaosas, Peipsi ja Pihkva järve läänepoolsel madalikul ja Pandivere kõrgustiku loodenõlval, kuid nendes piirkondades haarab see pinnavorm suuresti vaid piiratud maa-alasid. [6]

Mandrijää taandumisel tekitatud piklikest lamedate nõlvadega kõrgustikest, ehk voorestikkudest on kõige tüüpilisem Saadjärve, mis asub Pandivere kõrgustiku kaguosas. [6]

Voorestikke leidub veel Türi piirkonnas, Sakala kõrgustiku serval ja Võrtsjärve madalikul. Liustikujää edasiliikumisel tekkinud paismoreenides esineb suuri vanemate kivimite pangaseid ehk rändpangaseid, mis näitavad mandrijää purustavat ja transportivat jõudu. Tüüpilisemateks paismoreenideks Eestis loetakse Vaivara Sinimägesid, mis koosnevad suurtest kambriumi liivakivide ja savide ning ordoviitsiumi lubjakivide rändpangastest. [6]

Eesti põhja- ja kirdeosas on laialt levinud pikad kitsad, sageli kõrge raudteetammi sarnased ning mandrijää liikumise suunalised, või sellega risti paiknevad seljakud, mida nimetatakse vallseljakuteks ehk oosideks. Eriti on oosid levinud Pandivere kõrgustiku kirde-, põhja- ja loodeosas. Veel suurema ulatusega on ooside süsteem Lääne-Virumaal, mis algab Rõmedast ja läbib Vatu, Kadrina, Porkuni, Ebavere, Nõmme, Vägeva, Vaimastvere kuni Oonurmeni. Küllaltki suure ulatusega on ka Raplamaa

kandis asuv ooside süsteem, kus paiknevad näiteks Seli karjäär. Jääsulavete setete hulka loetakse veel liustiku sulamisveest settinud liiva ja kruusliiva piirkonnad, ehk sandurid, mis asuvad enamasti põhjarannikul Kunda ja Tallinna vahel. [6]

2.2. Kruusliivade klassifikatsioon GOST 25100-95 ja EVS-EN ISO 14688 järgi

Kruusliiva mõiste maavaarana oli kasutusel nõukogude ajal. Tänapäeval on kruusliiva varud ümber hinnatud kruusaks ja liivaks.

„Eestis kasutusel olev Elastsete teekatendite projekteerimise juhend 2001-52 baseerub NSVL Transpordiehituse Ministeeriumi ametkondlikul juhendil BCH 46-83. Mõlemas juhendis kasutatakse pinnaste klassifitseerimisel standardit GOST 25100-82. Viimast asendab Vene Föderatsioonis praegu GOST 25100-95, mis erineb vähe 1982.a standardist. Liivad ja kruusad liigitatakse terakoostise järgi ja seotud pinnased terakoostise ja plastsusarvu järgi“. [8]

Euroopa Liiduga liitumisel tuli Eestis seadusandluse kooskõlastada. Teede projekteerimine on veel viimaseid valdkondi kus kasutatakse vene normatiividel põhinevaid süsteeme. [8]

„Teede- ja sideministri 28.09.1999.a. määruses nr 55 Tee projekteerimise normid ja nõuded (RTL 2000, 23, 303; 2004, 65, 1088) on pinnaseliigituse aluseks võetud EPN-ENV 7.1 LISA 9. 2005.aastal korrigeeritud Tee projekteerimise normide ja nõuete pinnaseliigituse aluseks olnud euronormid EN ISO 14688-1:2002 ja prEN ISO 14688-2 on tänapäeval kehtestatud Eesti standarditena EVS-EN ISO 14688-1:2003 Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 1: Identifitseerimine ja kirjeldamine ja EVS-EN ISO 14688-2:2004 Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 2: Liigituspõhimõtted“. [8]

Eesti projekteerimisnormides toimub pinnaste klassifitseerimine lähtudes terakoostisest vastavalt EVS-EN ISO 14688 standarditele. Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis klassifitseeritakse pinnaseid lähtudes terakoostisest vastavalt GOST 25100-95 juhendile. Lisa 1 on välja toodud EVS-EN ISO alusel klassifitseeritud pinnaste vasted GOST 25100-95 standardis.

Käesoleva töö koostamise hetkel on kasutusel veel GOSTi põhine jaotus. 2015. a jooksul annab Maanteamet välja uue elastsete teekatendite projekteerimise juhise, mille järgi kasutatakse pinnaste klassifitseerimisel juba EVS-EN ISO 14688 standardit (esialgse info kohaselt pidi see toimuma esimese kvartali jooksul, kuid tõenäoliselt jõutakse muudatused fikseerida sügiseks).

Vastavalt GOST 25100-95-le jaotatakse liivad ja kruusad terakoostise järgi (Tabel 1). [8]

Tabel 1

Kruusade ja liiva jaotus GOST 25100-95 järgi [8]

Liik	Terade sisaldus, % kuiva pinnase üldmassist
Rahnuline pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – munakivine)	Üle 200 mm kivide mass on üle 50 %
Rähane pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – klibune)	Üle 10 mm terade mass on üle 50 %
MüGINE pinnas (ümardunud kivide ülekaalu korral – kruusane)	Üle 2 mm terade mass on üle 50 %
Kruusliiv	Üle 2 mm terade mass on üle 25 %
Jämeliiv	Üle 0,5 mm terade mass on üle 50 %
Keskliiv	Üle 0,25 mm terade mass on üle 50 %
Peenliiv	Üle 0,1 mm terade mass on üle 75 %

Standardis EVS-EN ISO 14688-1:2003 on pinnase klassifitseerimise alusena esitatud pinnasekolmnurk (Joonis 1), kus on kõikvõimalike pinnasekombinatsioonide nimetused. Selles on arvestatud terakoostist, kuid mitte omadusi. Lähtudes nimetatud kolmnurkdiagrammist saab EVS-EN ISO 14688-1 ja EVS-EN ISO 14688-2 põhjal terakoostisele tuginedes kombineerida 32 erinevat pinnasetüübi lahtrit. [8]



Kerge liivsavi

Tolmne kerge liivsavi

Tolmne raske liivsavi

Kruusliiv

Kruus

Tolmne savi

1 – Kruus
2 – Liiv
3 – Mõll/Savi

Joonis 2. Pinnasekolmnurk [8]

2.3. Tugevuskarakteristikud

Kruusliiv liigitatakse EVS-EN ISO 14688 standardi alusel jämepinnaseks ja lähtudes üleminekust EVS-EN pinnasteklassifikatsioonile, tuleb määrata EVS-EN ISO 14688 jämepinnastele arvutusparameetrid (elastsusmoodul, nidusus ja sisehõõrdenurk) asendamaks 2001-52 juhendi tabelis L2.T2 esitatud GOST 25100-95 jämepinnaseid. Sideainega töötlemata materjalide arvutuslikud tugevuskarakteristikud on välja toodud (Tabel 2). [8]

Tabel 2

Sideainetega töötlemata materjalide korrigeeritud arvutuslikud tugevuskarakteristikud [8]

Jrk. nr.	Materjali nimetus		E- moodul, MPa	Sisehõõrde nurk φ, °	Nidusus C, MPa
1	Tardkivikillustik		280	-	-
2	Lubjakivikillustik		240		
3	Optimaalse terastikuga kruusliiv		180	45	0,03
4	Killustikusegu (<0,63 mm fr <15%)		200	45	0,04
5	Kruusa- või killustikusegu (>6,3 mm fr >20%; <0,63 mm fr <40%; W _{LR} ≤26 ehk I _{PV} ≤7) vastavalt graafikule	E*	160	41	0,03
6		F*	110	36	0,02
7		G*	60	31	0,01
8	CSa (jämeliiv) (valdav fr 0,63-2 mm)		130	42	0,007
9	MSa (keskliiv) (valdav fr 0,2-0,63 mm)		120	40	0,006
10	FSa (peenliiv) (valdav fr 0,063-0,2 mm)		100	38	0,005
11*	CSa (jämeliiv) (valdav fr 0,63-2 mm), Cu<3		115	40	0,007
12*	MSa (keskliiv) (valdav fr 0,2-0,63 mm), Cu<3		105	38	0,006
13*	FSa (peenliiv) (valdav fr 0,063-0,2 mm), Cu<3		90	36	0,005
14	Paetuhk		120	30	0,01
15	Tuhkbetooni freespuru		150	40	0,01
16	Munakivi-, parkettkivi sillutis		500	-	-

3. KARJÄÄRID JA KATSETULEMUSED

3.1. Sissejuhatus

Selgitamaks välja Eestis karjäärides pakutavate kruusliivade filtreerivaid omadusi, valisin välja 15 karjääri, mis oleksid võimalikult laiali hajutatud Eesti territooriumil. Proovide võtmisel lähtusin standardist, mis käsitleb proovide võtmist kuhila meetodil.

3.2. Tudulinna kruusakarjäär

3.2.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Tudulinna kruusakarjäär asub Ida-Virumaal Tudulinna vallas, Tudulinna alevikust vahetult läänes, riigimaantee R200 Rakvere-Rannapungerja ja Tudulinna-Sahargu vahelisel alal.

Tudulinna karjääri põhja materjal koosneb munakaterikkast ja veeriselisest kruusast, kus osakesi läbimõõduga üle 5 mm on vahemikus 40-70 %. Karjääri lõunanõlva kasuliku kihi moodustab pruunikas kruus, vähese saviga, mis koosneb keskmisest päevakivikvarts liivast, kruusateradest ja veeristest ning karbonaatse kivimite munakatest läbimõõduga kuni 20 cm. Kruus on sobilik peale purustamist peamiselt kruusateede katendite ja aluste ehitamiseks. Looduslikust kruusast väljasõelatud kruus on jäme ja sisaldab 18 % munakaid veeriseid läbimõõduga üle 70 mm. Kruusas esineb kõige rohkem, 34,7 % fraktsiooni 70 mm ja kõige vähem, 8,2 % fraktsiooni 5 mm. Kruusaterad on põhiliselt karbonaatsete kivimite purdosakesed, enamasti isomeetrilised ja keskmiselt kulutatud. Kruus sobib peale purustamist peamiselt kruusateede katendite ja aluste ehitamiseks. Liiv ja kruusast väljasõelatud liiv on ülipeene kuni keskmiseteraline, peensusmooduliga vahemikus 0,8 - 2,4. savi- ja tolmuosakeste sisaldus liivas on vahemikus 6,8 - 13,8 %. Liiv sobib kasutamiseks valikuliselt kruusasegude koostamiseks kruusateede katendite ehitamisel ja asfaltbetooni ja ehitusbetooni kruusasegude valmistamiseks. [9]

3.2.2. Tudulinna kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 3

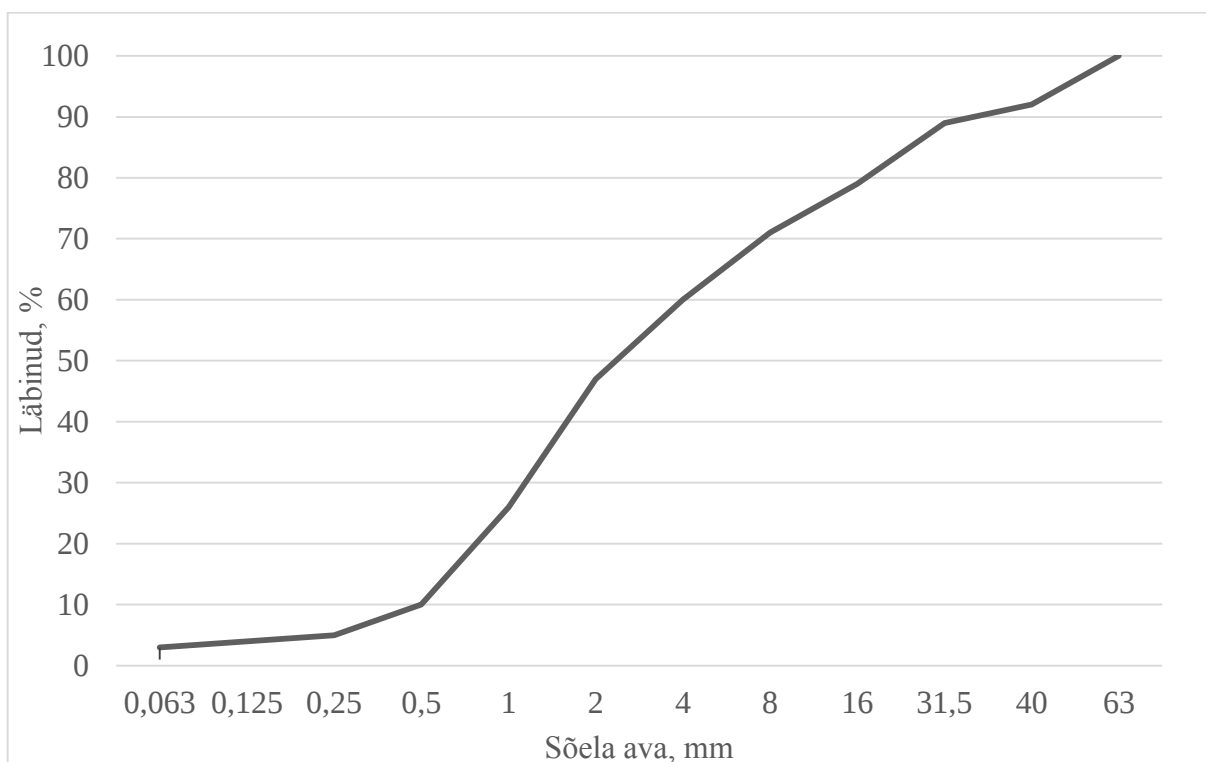
Filtratsioonimoodul EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
21	0/4	0,98	3,7 m/ööp.

Tabel 4

Tudulinna kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivi materjali massist												
Katseline	3	4	5	10	26	47	60	71	79	89	92	100



Joonis 3. Tudulinna kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 92
2. 20,0mm sõela läbinud materjali % 83
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 76

4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 68

5. Peenosiste sisaldus, f, % 3,0

Tabel 5

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
21	0/4	9,3	1,76	12,4	1,81
		11	1,76		
		12	1,79		
		12,4	1,81		
		12,8	1,8		

3.3. Kalda karjäär

3.3.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Kalda mäeeraldis asub Harjumaal Nissi vallas Ellamaa külas, Haapsalu-Ääsmäe mnt. ääres Kalda kruusakarjääri maaüksusel.

Kalda mäeeraldisel moodustab kasuliku kihi karjääri põhjas lasuv kruus ja osaliselt ka liiv. Liiv on piiratud levikuga ja esineb enamasti veealuses osas läätsedena, mille paksus jääb suuresti alla 1 meetri. Kruusa sisaldus jääb valdavalt üle 70%. Kruusas on kõige rohkem osakesi fraktsiooniga 20–70 mm. Jäme purd on valdavalt karbonaatse koostisega ning hästi kulutatud, isomeetiline. Mäeeraldisel tervikuna leiduv materjal vastab ehituskruusa tingimustele ning on purustatult ja fraktsioneeritult kasutatav teedehituses ja ehitussegudes, liivaosa sõelutult ehitussegudes. Üle 5 mm osakeste keskmine sisaldus on setetes ligemale 60–70 %, millest veeriste hulk on läbilõike ülemises osas 30%. [10]

3.3.2. Kalda karjääri kruusliiva katsetamine

Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi. Tulemused on esitatud järgnevas tabelis:

Tabel 6

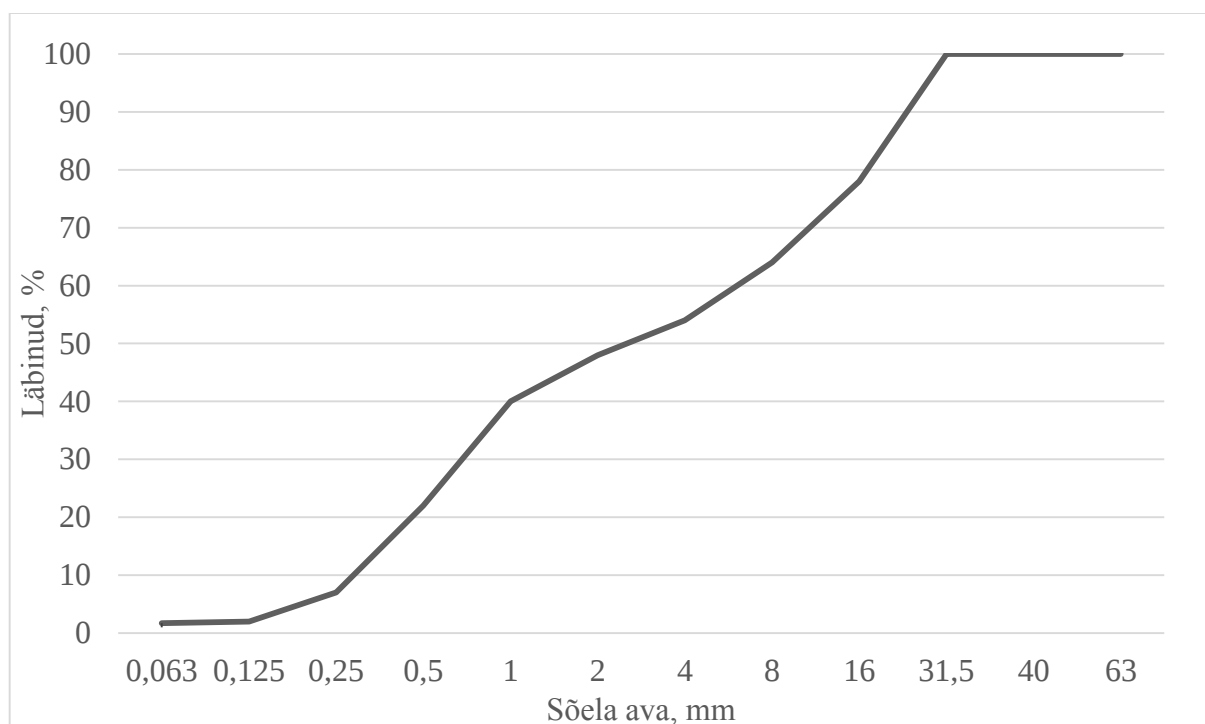
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
19	0/4	1,00	2,4 m/ööp

Tabel 7

Kalda kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivimaterjali massist												
Katseline	1,7	2	7	22	40	48	54	64	78	100	100	100



Joonis 4. Kalda kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused: 1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100

2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 84
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 72
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 60
5. Peenosiste sisaldus, f, % 1,7

Tabel 8

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
19	0/4	10,5	1,79	13,1	1,81
		12,1	1,79		
		12,7	1,79		
		13,2	1,81		
		13,4	1,79		

3.4. Kaiste kruusakarjäär

3.4.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiseloostus

Kaiste kruusamaardla asub Pärnumaal Varbla vallas. Kaiste kruusamaardla on ca 3 km pikkune ja 100–300 m laiune jääjõelise tekkega oos. Karjääris leidub kruus- ja liivpinna, nende lamamiseks on liivsavimoreen. Kruusas on karbonaatse koostisega jämepeurru sisaldus 69,6 %. Kruusas leiduvate fraktsioonide osakaal on järgmine: üle 70 mm osakesi keskmiselt 17,5%, 70–40 mm osakesi 15,6%, 40–20 mm osakesi 28,5 %; 20–10 mm osakesi 24,6 % ja 10–5 mm osakesi 13,8 %. Karjääri kruus vastab ehituskruusa tingimustele ja sobib kasutamiseks peale purustamist ja fraktsioneerimist ehituskruusana ja teedehituses. Kruusaliivaosa on keskmiseteraline, peensusmooduliga 2,28 ja sisaldab savi- ja tolmuosakesi 8,24%. Liiv kruusa lamamiseks on väga peeneteraline, kvarts-päevakivi koostisega, ja sisaldab kruusaosakesi keskmiselt 9,8%. Liiv sisaldab savi- ja tolmuosakesi 9,9 %. [11]

3.4.2. Kaiste karjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 9

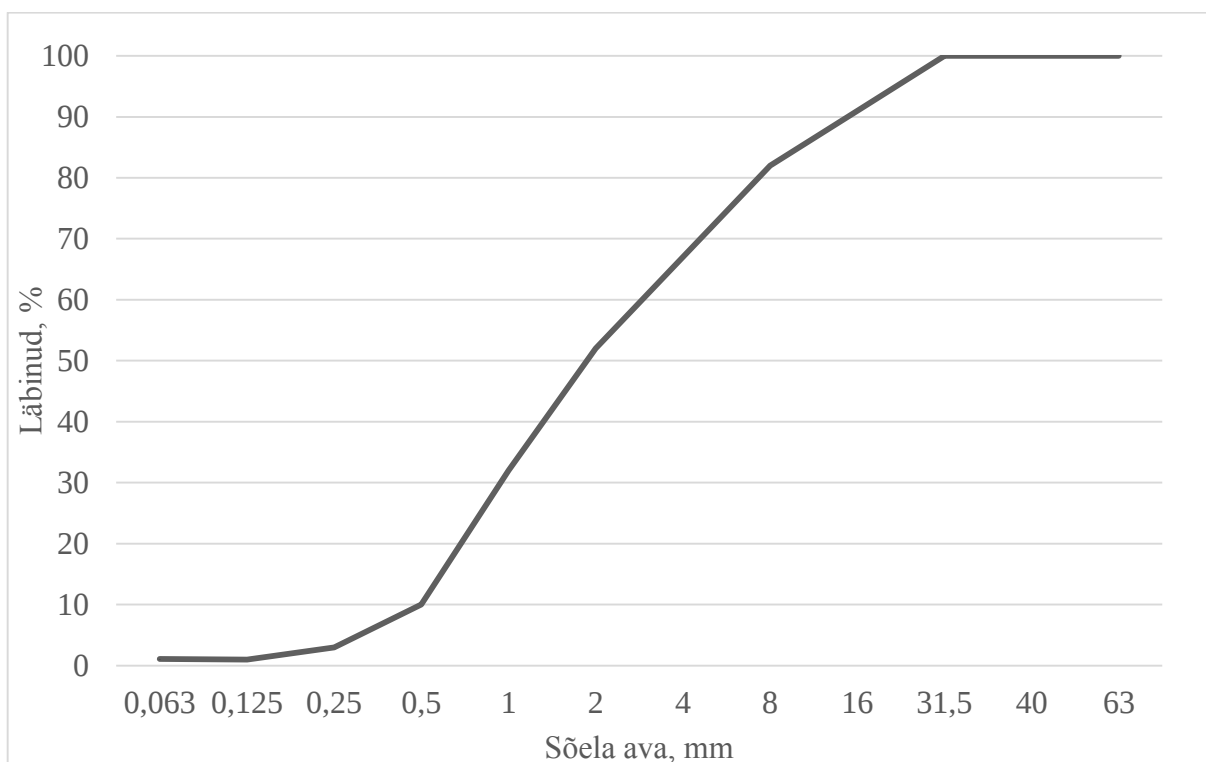
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
18	0/4	0,99	22,9 m/ööp

Tabel 10

Kaiste kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivitmaterjali massist												
Katseline	1,1	1	3	10	32	52	67	82	91	100	100	100



Joonis 5. Kaiste kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 94
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 88

4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 77

5. Peenosiste sisaldus, f, % 1,1

Tabel 11

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
18	0/4	10,3	1,76	12,5	1,78
		11,4	1,75		
		12,2	1,77		
		12,5	1,78		
		12,8	1,77		

3.5. Pahuvere kruusakarjäär

3.5.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiseloostus

Pahuvere liivamaardla asub Viljandimaal Tarvastu vallas Pahuvere külas. Liivamaarda kasulik kiht on oma tekkelt liustikulise jõe sete. [12]

Ehitusliivas on kruusafraktsiooni sisaldus keskmiselt 27,1 % ja savi- ja tolmuosakeste sisaldus 5,5 %. Sõelutud liiv on keskmiseteraline, peensusmooduliga 2,3. Kruusasisaldus on suhteliselt ühtlane. Esineb üksikuid karbonaatseid ja kristallinseid munakaid osakesi. Täiteliiva peensusmoodul on vahemikus 0,3 – 1,1, ehk üli- ja väga peeneteraline. Savi- ja tolmuosakeste sisaldus on vahemikus 4,4–26,5 %. [12]

Looduslikul kujul ei sobi ehitusliiv lubatust suuremate kruusaterade ja veeriste tõttu ehitussegude valmistamiseks. Kui sõeluda kruus välja, siis kruusateede aluste ehituseks sobib liiv peensusmooduliga üle 2,2. Looduslikul kujul sobib ehitusliiv teede ehitusel aluskihi ja teepeenarde rajamiseks, samuti täitematerjalina. Väga peeneteralist ja ülipeeneteralist liiva saab kasutada vaid täitematerjalina. [12]

3.5.2. Pahuvere kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 12

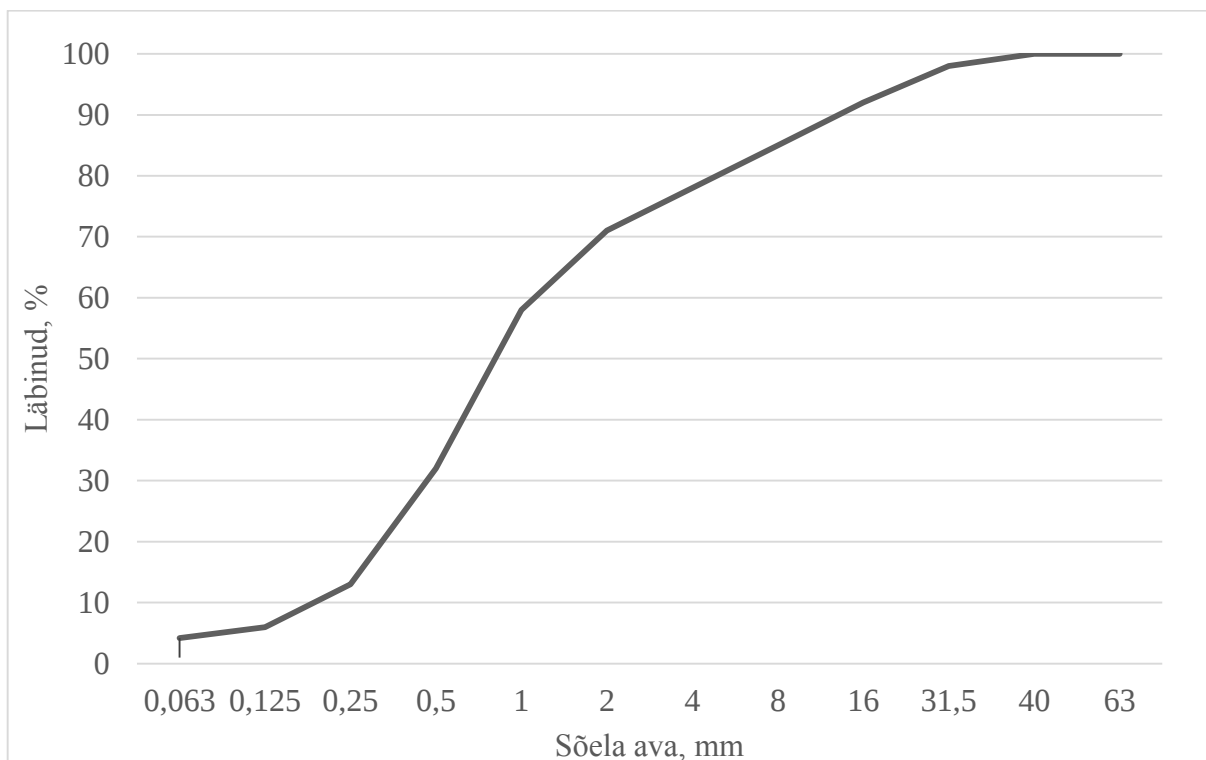
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K_{10}
16	0/4	1,01	0,4 m/ööp.

Tabel 13

Pahuvere kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivismaterjali massist												
Katseline	4,2	6	13	32	58	71	78	85	92	98	100	100



Joonis 6. Pahuvere kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 93
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 90

4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 83

5. Peenosiste sisaldus, f. % 4,2

Tabel 14

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
16	0/4	7,9	1,82	11,1	1,86
		9,0	1,83		
		10,4	1,84		
		11,2	1,85		
		11,2	1,85		

3.6. Ruusamäe karjäär

3.6.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Ruusamäe karjäär asub Helmi-Aakre liivamaardlal, Valgmaal Puka vallas. Mäeeraldis asub liustikujõelise tekkega seljandikul. Karjääri kasulikuks kihiks 4,8–8,8 m paksune põimjaskihiline, kohati kruusaka liiva lade, milles esineb kruusaläätsi. Looduslik materjal koosneb põimjaskihilisest peene- kuni jämedateralisest, valdavalt keskmiseteralisest, peensusmooduliga 2,2, liivast, milles sisaldub üle 5 mm läbimõõduga fraktsiooni keskmiselt 22,6 %. Läätsedena esineb ka kruusa. Jämepeurrus on valdavaks kruusafraktsioon suurusega 5-10 mm, mille sisaldus on keskmiselt 34 %. Osakesi läbimõõduga 10–20 ja 20–40 mm sisaldub vastavalt 27 % ja 25 %. Savi- ja tolmuosakeste sisaldus on keskmiselt 8,5 %. Looduslikult on liiv sobilik teekatete rajamiseks. [13]

3.6.2. Ruusamäe karjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 15

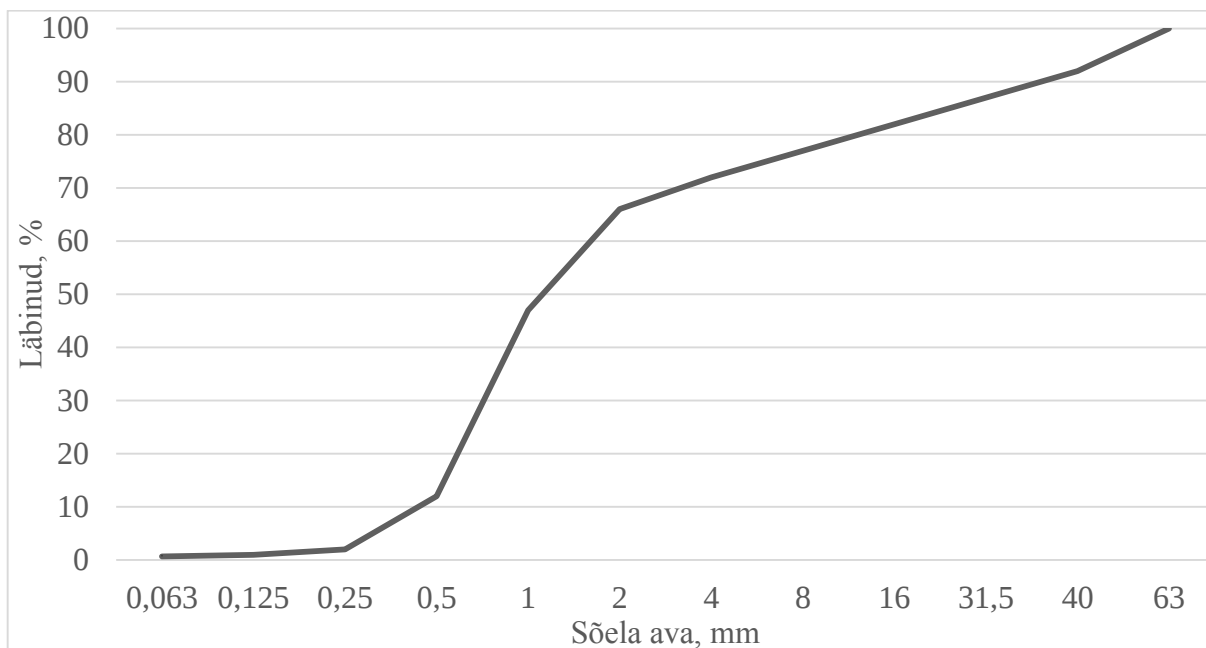
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K_{10}
17	0/4	0,99	26,6 m/ööp

Tabel 16

Ruusamäe kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivimaterjali massist												
Katseline	0,7	1	2	12	47	66	72	77	82	87	92	100



Joonis 7. Ruusamäe kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 84
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 81
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 75
5. Peenosiste sisaldus, f, % 0,7

Tabel 17

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 metoodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
17	0/4	7,0	1,67	14,5	1,71
		11,1	1,69		
		12,7	1,67		
		13,9	1,68		
		14,4	1,71		
		15,6	1,71		
		15,2	1,73		

3.7. Vana-Kastre II kruusakarjäär

3.7.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Vana-Kastre II kruusakarjäär asub Tartu maakonna Mäksa vallas. Tartu-Räpina-Värska ja Vana-Kastre–Kastre–Võnnu riigimaantee ristumiskohast 900 m kirde pool. Vana-Kastre II karjääri kasuliku kihi moodustavad fluvioglatsiaalse tekkega kruus ja kruusakas liiv ning ülipeeneteraline liiv. [14]

3.7.2. Looduslik materjal

Looduslikus kruusas on kruusa sisaldus keskmiselt 51,7 %. Savi ja tolmuosakeste sisaldus on keskmiselt 6,8 %. Looduslikus liivas on kruusa fraktsiooni sisaldus keskmiselt 20,9 % ja savi- ning tolmuosakeste sisaldus keskmiselt 6,2 %. Ülipeene- ja peeneteralise savika liiva kruusa sisaldus on keskmiselt 11,3% ning savi- ja tolmuosakeste sisaldus on keskmiselt 13,1 %. [14]

3.7.3. Kruus

Kruusaterade läbimõõt on kuni 12 cm. Kruusas leiduvate erinevate fraktsioonide küllalt ühtlane – keskmiselt 25%. Liivas kruusaterad on enamasti vaid peenete fraktsioonidena, 5-20 mm. Kruusaterad on esindatud 50-70% ulatuses karbonaatsete kivimite purdosakestena. Kristalliinsete kivimite osakesi

leidub jämedamates fraktsioonides 20-30% ja peenemates kuni 50%. Kruusaterad on kulutatud, enamasti isomeetrilised. [14]

3.7.4. Liiv

Liiva sisaldus kruusas on keskmiselt 48,3 %. Savi- ja tolmuosakesi on liivas keskmiselt 13,9 %. Liiva terasuurus on stabiilne, peensusmooduliga keskmiselt 2,5. Liiva sisaldus liivas on keskmiselt 79,1 %. Savi- ja tolmuosakeste sisaldus liivas on keskmiselt 7,9 %. Liiva terasuurus on enamasti peene- ja keskmiseteraline, peensusmooduliga 1,4-2,6. [14]

3.7.5. Vana-Kastre II kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 18

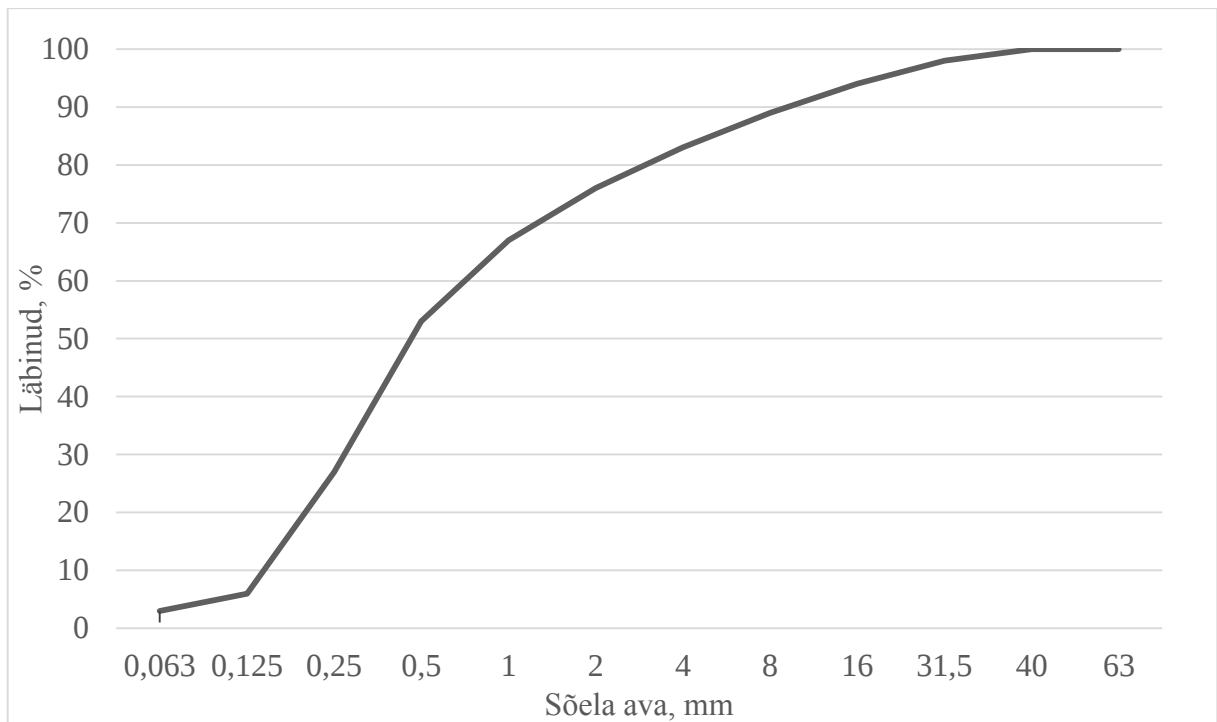
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
14	0/4	0,98	0,02 m/ööp.

Tabel 19

Vana-Kastre II kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivimaterjali massist												
Katseline	3	6	27	53	67	76	83	89	94	98	100	100



Joonis 8. Vana-Kastre II kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

- Märkused:
1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
 2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 96
 3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 92
 4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 87
 5. Peenosiste sisaldus, f, % 3,0

Tabel 20

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
14	0/4	9,4	1,89	11,0	1,89
		10,7	1,89		
		11,5	1,89		
		12,3	1,86		

3.8. Haava III kruusakarjäär

3.8.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiseloostus

Haava 3 kruusakarjääri mäeeraldis asub Lääne-Virumaal Vinni vallas Vana-Vinni külas. Karjäär on üpris piklik, pikkusega 400 m ja laius 100 m.

3.8.2. Looduslik materjal

Kasuliku kihi materjal looduslikul kujul on esindatud kruusaga. Kruusa sisaldus on 46,3-78%. Savi- ja tolmuosakeste sisaldus on 0,7-12,3%. [15]

3.8.3. Kruus

Kruusaterade läbimõõt on enamasti kuni 20 cm, on ka üksikuid munakaid veeriseid mõõtmatega kuni 40 - 50 cm. Kruusaterad on enamasti karbonaatsete kivimite purdosakesed, suuremas osas keskmiselt kulutatud, isomeetrilised. Purustatud kruusast saadud kruuskillustik vastab kruuskillustik purunemiskindluse järgi killustiku III klassi nõuetele ja külmakindluse järgi I klassi nõuetele. Sellest tulenevalt on kruusa fraktsioon füüsikalise-mehaaniliste omaduste järgi hea kvaliteediga. Kruus sobib peale purustamist ja fraktsioneerimist kasutamiseks ehitussegudes ja teede kruusakatete ehitamiseks. [15]

3.8.4. Liiv

Kruusast väljasõelutud liiv on eriteraline, sisaldades peene- kuni ülijämedateralist liiva peensusmooduliga 1,8-4, savi- ja tolmuosakesi 2,6-32,2 %. Liiva saab kasutada valikuliselt kruusasegude koostamiseks kruusateede katendite ehitamiseks. [15]

3.8.5. Haava III kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 21

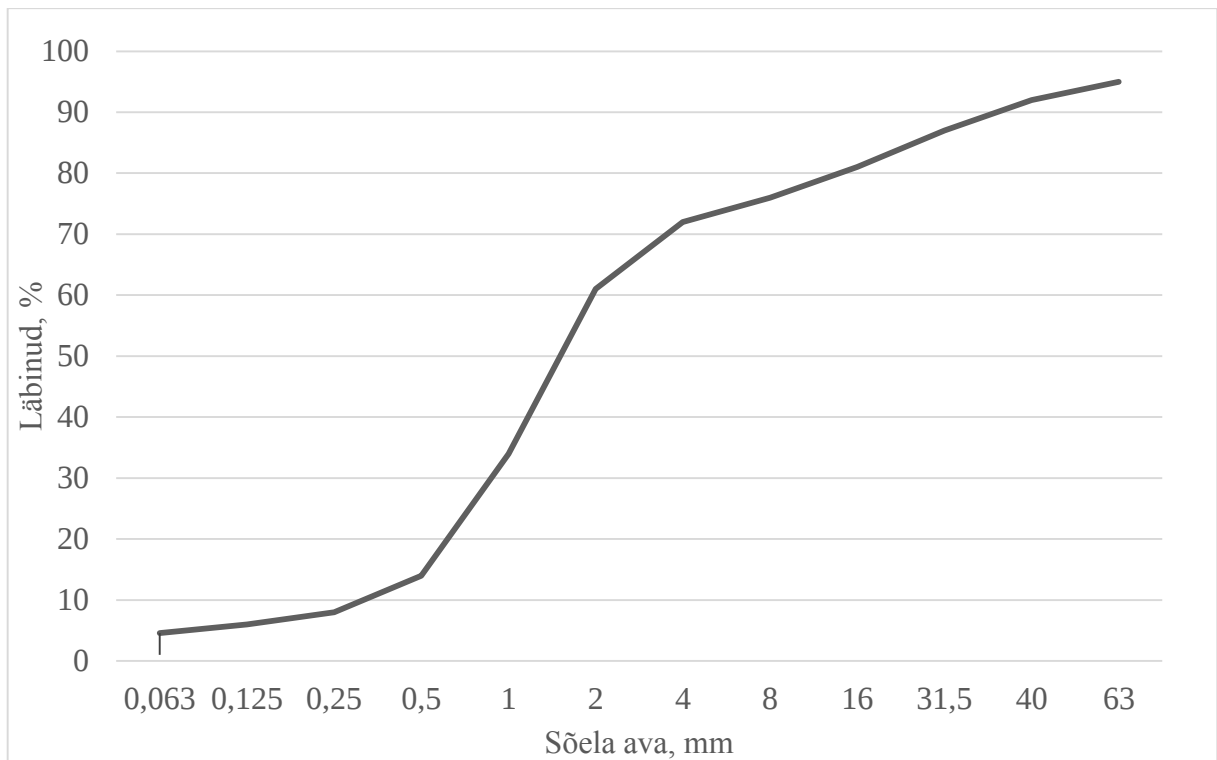
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
20	0/4	0,98	0,8 m/ööp

Tabel 22

Haava III kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivismaterjali massist												
Katseline	4,6	6	8	14	34	61	72	76	81	87	92	95



Joonis 9. Haava III kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 91,8
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 83
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 80
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 75
5. Peenosiste sisaldus, f, % 4,6

Tabel 23

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
20	0/4	11,8	1,76	13,4	1,79
		12,9	1,75		
		13,2	1,76		
		13,4	1,79		
		14,1	1,77		

3.9. Keedika kruusakarjäär

3.9.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Karjäär asub Paliverest 9 km põhja poole jääval, liustiku pikilõhes jämeda purdmaterjali sissekande tulemusena tekkinud kirde–edelasuunalisel oossüsteemil, kus on suhteliste kõrguste vahe jalamilt harjani ligemale 10 meetrit. Vallseljaku moodustavad läbisegi kruus ja eriteraline liiv. Erinevatel aegadel tehtud uuringutega on kindlaks tehtud, et kasuliku kihi moodustas veeriseline ja rahnuderikas karbonaatse koostisega hästiümarunud kruus, kasuliku kihi keskmise osa veeristesaldus on väiksem ning alumises osas seguneb ülipeeneteraline- kuni keskmiseteraline liiv savika kruusaga. Kasuliku kihi lõunaosa on liivakam. Materjali savisisaldus on kõrgem mäeeraldise idaosas ning piirkonnas, kuhu on ettenähtud Haapsalu–Keila maantee õgvendus. Keedika kruusakarjääri mäeeraldise materjal on esindatud kruusaga, mille läbilõike ülemises osas leiduvad karbonaatse koostisega veerised. 1980. aastal tehtud uuringu andmeil on kruusa mark purunemisel 12–16, kulutamisel 2–3 ja külmakindlus 25 tsüklit. Kruusa täiteks on peene- ja keskmiseteraline liiv.

Tabel 24

Materjali kvaliteedinäitajad

	Alates	Kuni	Keskmine
>5 mm osakesi (kruus)	22,2	68,2	40,5
5–0,05 mm osakesed (liiv)	31,8	77,8	50,8
<0,05 mm osakesi (savi ja tolmu)	2,6	22,6	8,7

Keedika kruusakarjääri mäeeraldise kruus on purustatult ja fraktsioneeritult kasutatav teede ehituses. Väljasõelutud liiv on sobilik kasutamiseks teedehituses ja ehitussegude valmistamiseks. [16]

3.9.2. Keedika kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 25

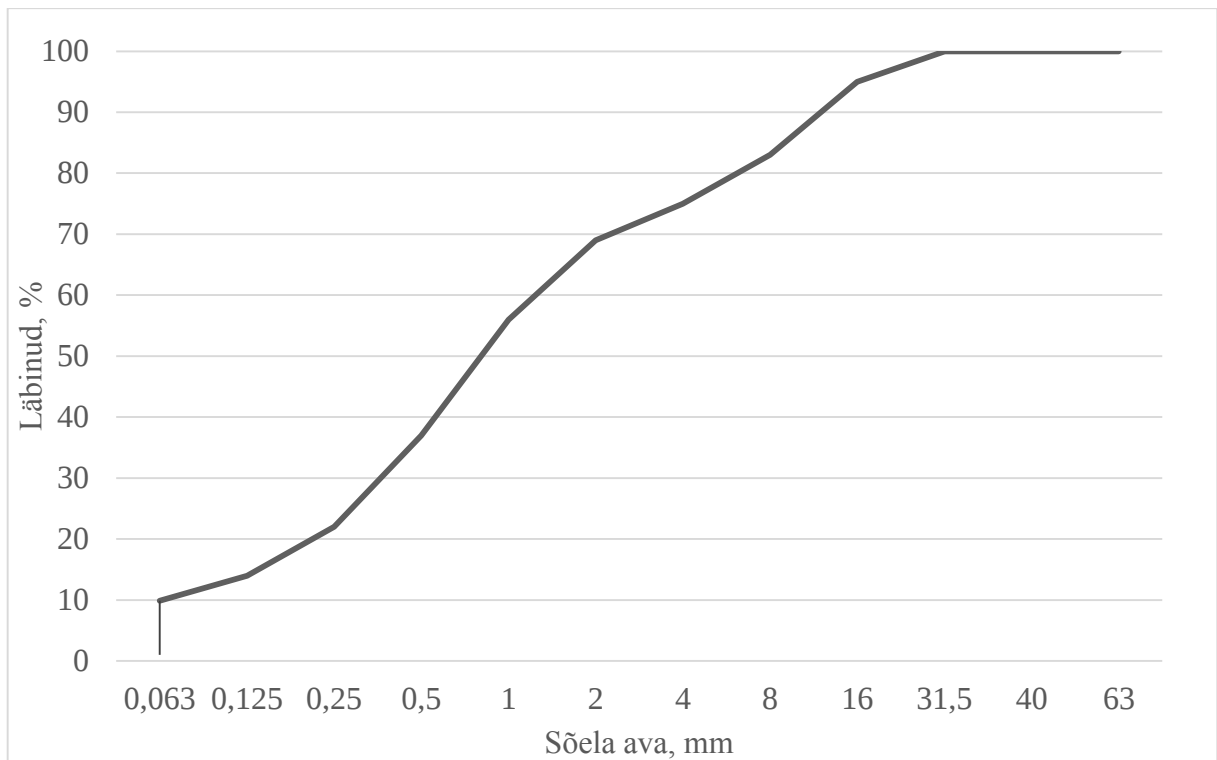
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
22	0/4	0,99	0,05 m/ööp.

Tabel 26

Keedika kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivi- ja liivmaterjali massist												
Katseline	9,9	14	22	37	56	69	75	83	95	100	100	100



Joonis 10. Keedika kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 98
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 90
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 80
5. Peenosiste sisaldus, f, % 9,9

Tabel 27

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, g/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
22	0/4	8,0	2,00	8,0	2,00
		8,8	2,00		
		9,9	1,99		
		10,8	1,96		
		11,7	1,93		

3.10. Oorema karjäär

3.10.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Oorema kruusakarjäär paikneb Saaremaal Kärla vallas Nõmpa külas Ooremaa kruusamaardlas.

Kasuliku kihi paksus varieerub 1,5 - 12 m vahemikus. Kasulikuks kihiks on keskmiselt ümardunud peen kuni jäme veeriseline kruus, milles kruusaterakeste sisaldus on keskmiselt 63,1 % ja liiva sisaldus 33,5%. Savi- ja tolmuosakesi on keskmiselt 3,4 %. Materjal on sobilik peale purustamist kasutamiseks üld- ning teedehituses. [17]

3.10.2. Oorema karjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 28

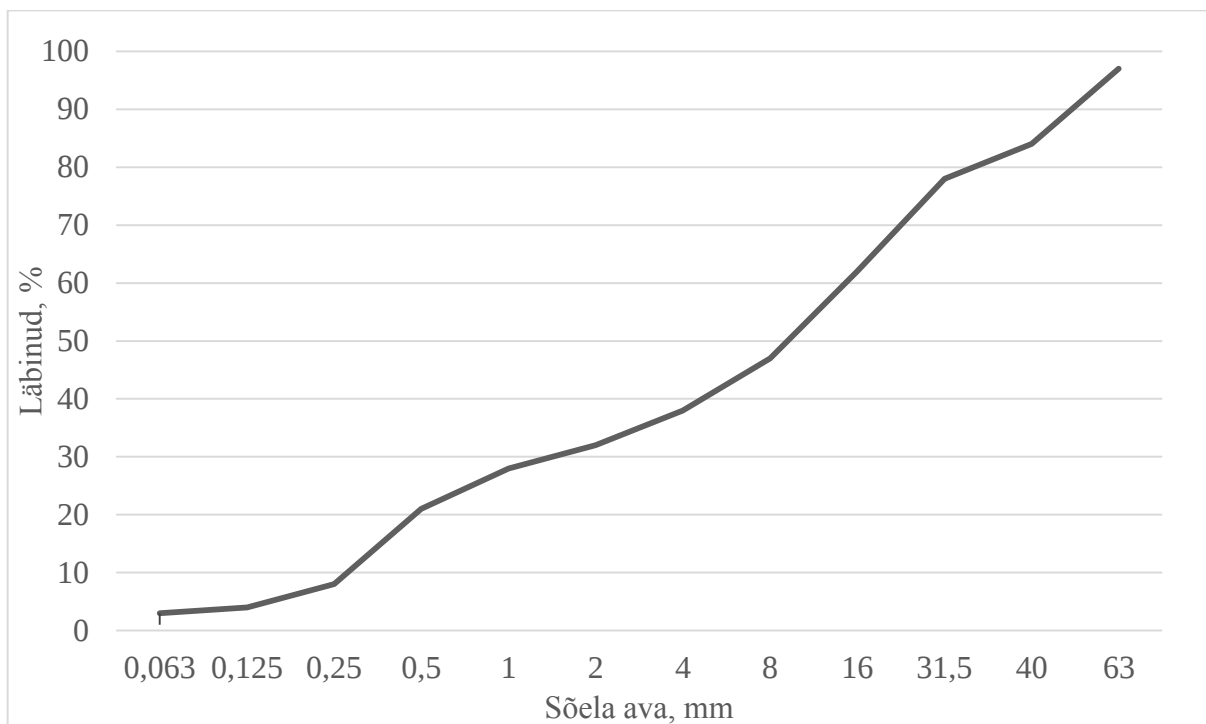
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
23	0/4	1,00	0,2 m/ööp

Tabel 29

Oorema kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kiviainet												
Katseline	3	4	8	21	28	32	38	47	62	78	84	97



Joonis 11. Oorema kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 67
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 55
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 43
5. Peenosiste sisaldus, f, % 3,0

Tabel 30

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
23	0/4	8,9	1,82	11,7	1,84
		10,4	1,83		
		11,2	1,84		
		11,9	1,84		
		12,6	1,81		

3.11. Kivi liiva-ja kruusakarjäär

3.11.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiseloostus

Kivi liiva- ja kruusakarjäär paikneb Jaani kruusamaardlas, Võrumaal Võru vallas Palometsa ja Umbsaare külas. Jaani maardla paikneb laialdasel sanduritasandikul, kus levivad liustikujõelised setted – veeriseline kruus, kruusakas liiv ja maardla lõunaosas asuva mõhna piires väga peeneteraline liiv. [18]

Liiv on enamasti peene- ja keskmiseteraline. Kruusasisaldus on vahemikus 11,7–26,6 % , sisaldades savi- ja tolmuosakeste sisaldus 3,5-8,1 %. Liiva peensusmoodul jääb vahemikku 1,8–2,2 . Liiv on sobilik kasutamiseks kruusasegude koostamiseks, mida saab kasutada kruusateede katendite ehitamiseks. [18]

Kruusasisaldus looduslikus materjalis on vahemikus 36–44, savi- ja tolmuosakeste sisaldus 2,7–3,6 %. Liiva peensusmoodul jääb vahemikku 2,0–2,3. Kruusas on enim osakesi fraktsiooniga 10–5 mm ja 20–10 mm. Kruusas esinevad veerised on valdavalt karbonaatse koostisega ning isomeetrilised, ehk hästi kulutatud. Külmakindluse mark kõikidel fraktsioonidel on F-25. Füüsikalise-mehaanilistelt omadustelt on kruus kvaliteetne ja saab kasutada kruusateede ehitamisel. [18]

3.11.2. Kivi karjääri loodusliku kruusliiva katsetamine

Tabel 31

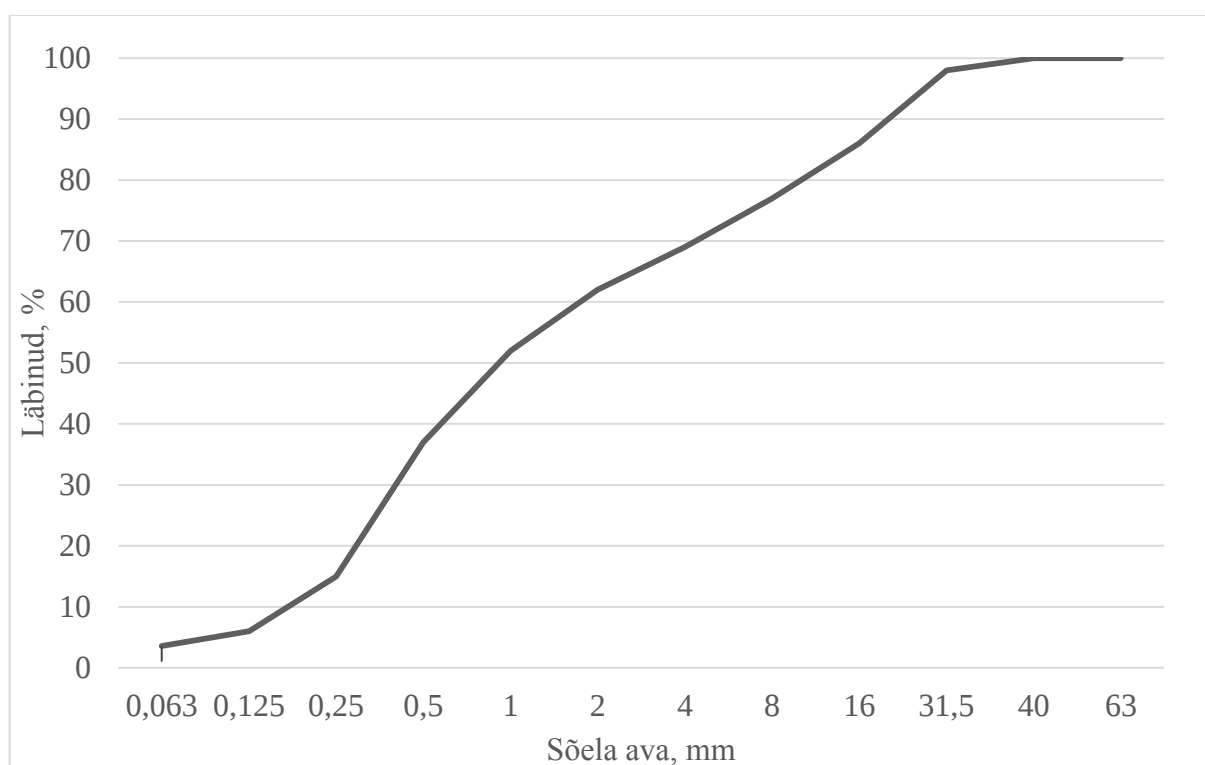
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K_{10}
28	0/4	1,00	0,2 m/ööp

Tabel 32

Kivi liiva -ja kruusakarjääri loodusliku kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivimaterjali massist												
Katseline	3,6	6	15	37	52	62	69	77	86	98	100	100



Joonis 12. Kivi liiva -ja kruusakarjääri loodusliku kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused: 1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100

2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 91
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 83
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 74
5. Peenosiste sisaldus, f, % 3,6

Tabel 33

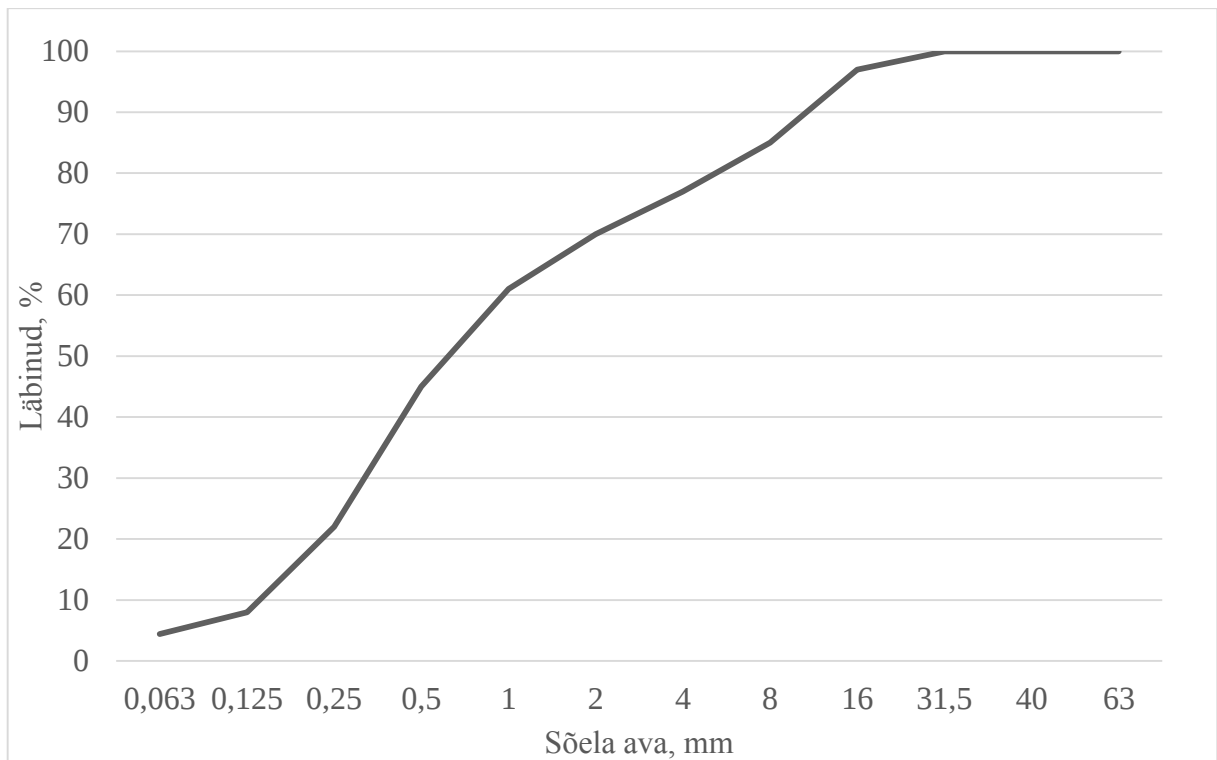
Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
28	0/4	8,5	1,82	11,4	1,86
		10,1	1,84		
		11,0	1,85		
		11,5	1,85		
		12,0	1,84		

3.11.3. Kivi karjääri sõelutud kruusliiva katsetamine

Kivi liiva-ja kruusakarjääri sõelutud kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivimaterjali massist												
Katseline	4,4	8	22	45	61	70	77	85	97	100	100	100



Joonis 13. Kivi liiva-ja kruusakarjääri sõelutud kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

- Märkused:
1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
 2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 100
 3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 92
 4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 82
 5. Peenosiste sisaldus, f, % 4,4

Tabel 34

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
29	0/4	10,1	1,84	11	1,86
		10,9	1,86		
		11,4	1,85		
		12,0	1,83		
		12,3	1,84		

3.12. Kolleri II kruusakarjäär

3.12.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Kolleri 2 kruusakarjääri mäeeraldis asub Põlvamaal Valgjärve vallas Saverna külas, Tallinn-Tartu-Luhamaa maantee 220,9 km kohalt 0,1 km vasakule. Kolleri 2 karjäär paikneb Otepää kõrgustiku idaserva mõhnastiku mõhnal ja mäeeraldisel materjal on esindatud fluvioglatsiaalsete setetega.. Kasulik kiht sisaldab veeriselist kruusa. Jämeperd materjal on enamasti karbonaatne, kuid tardkivimite osakaal on suhteliselt suur, 20-30. Kruusaterad on isomeetrilised, st. enamasti hästi kulutatud. Kruus sisaldab põhiliselt keskmist ja jämedateralist liiva, peensusmooduliga 2,3-2,9. Savi- ja tolmuosakeste sisaldus sõelutud liivas on vahemikus 1,3-16,3 %, looduslikus materjalis 1,3...6,1 %. [19]

3.12.2. Looduslik materjal

Looduslikus materjalis kruusa sisaldus on vahemikus 10,5-70,2 % , sealhulgas 0-21,2 % kruusa fraktsiooniga üle 70 mm. Savi- ja tolmuosakeste sisaldus kõigub vahemikus 1,3-7,9. [19]

3.12.3. Kruus

Looduslikust materjalist väljasõelutud kruusas on kõige vähem osakesi terasuurusega üle 70 mm. Teised fraktsioonid jagunevad enam-vähem võrdselt. Kruusaterad sisaldavad palju tardkivimite teri,

mistõttu on suurendab kruusa purunemiskindlust. Kruusaosakesed on enamjaolt isomeetrilised, hästi kulutatud. [19]

3.12.4. Liiv

Liiva sisaldus looduslikus materjalis kõigub vahemikus 29,8 - 89,5 %. Väljasõelutud liivas on savi- ja tolmuosakeste osakaal vahemikus 1,3-16,3 %. Liiva granulomeetiline koostis on väga ühtlane – põhiliselt keskmiseteraline ja jämedateraline. Liiva saab kasutada kruusasegude koostamiseks kruusateede ehitamisel. [19]

3.12.5. Kolleri II kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 35

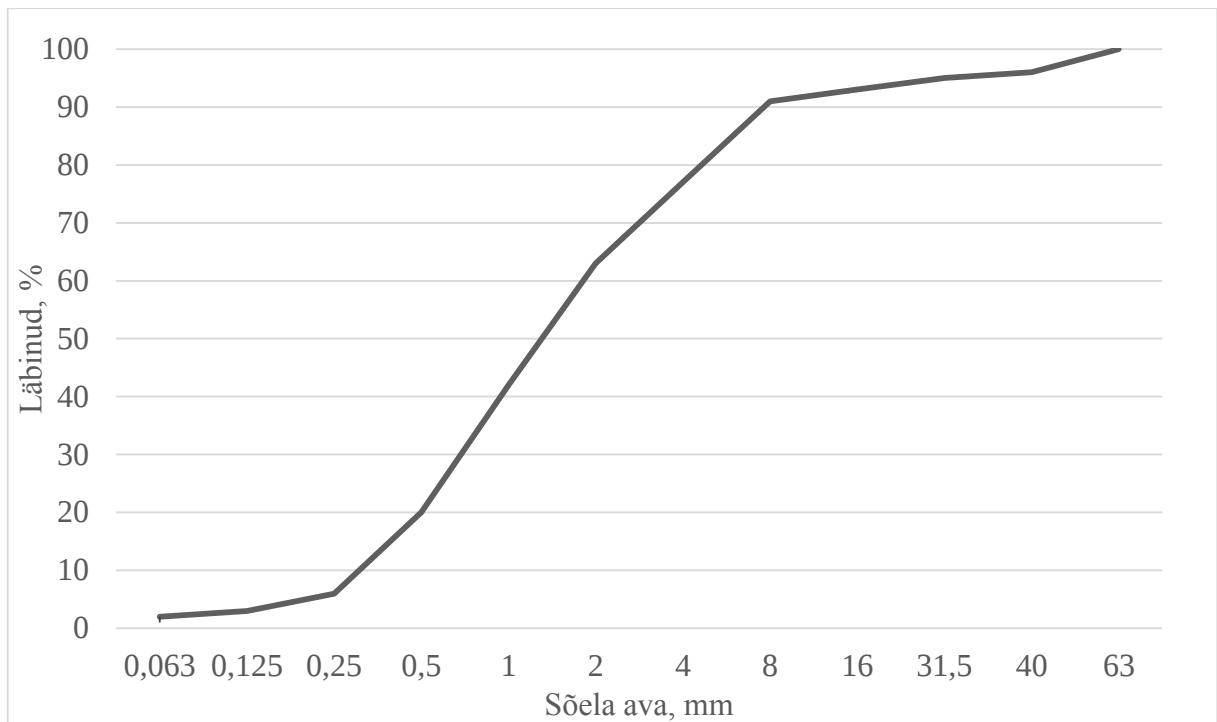
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K₁₀
27	0/4	0,99	3,7 m/ööp.

Tabel 36

Kolleri II kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivismaterjali massist												
Katseline	2	3	6	20	42	63	77	91	93	95	96	100



Joonis 14. Koller II kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

- Märkused:
1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 95,8
 2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 94
 3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 93
 4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 86
 5. Peenosiste sisaldus, f, % 2,0

Tabel 37

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
27	0/4	12,3	1,79	13,3	1,84
		13,0	1,8		
		13,3	1,82		
		13,3	1,84		
		13,8	1,81		

3.13. Kapasto IV kruusakarjäär

3.13.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Kapasto IV kruusakarjäär paikneb Hiiumaal, Pühalepa valla Nõmba külas, Kärblast ca 10 km lõuna pool. Karjääri kasulik kiht, keskmise paksusega 14 m, koosneb neljast üksteisel lasuval litoloogiliselt koostiselt erinevast kihist, milledest eriteraline liiv ja valdav osa kruusliivast asuvad pealpool veetaset ning kruusakas liiv, osa kruusliivast ja väga peeneteraline liiv allpool veetaset.

Tabel 38

Liiva üldkoostis

	Keskmine	Alates	Kuni
>5 mm osakesi (kruus)	0,30	6,80	3,50
5–0,05 mm osakesi (liiv)	92,00	98,90	95,50
<0,05 mm osakesi (savi ja tolmu)	0,68	1,26	1,00

Liiv on peene kuni keskmiseteraline, peensusmooduliga 1,4–2,4, kvarts-päevakivi koostisega, sisaldab hajusat, valdavalt tardkivimilist kruusa keskmiselt alla 5 %, savi- ja tolmuosakesi 0,7–1,3 %. Liiva täisjääk sõelal 0,63 mm on 32,2 % ja osakesi < 0,16 mm on 2,5 %. Liivas ei ole savitükke ning

orgaanilised lisandid puuduvad. Eriteralist liiva saab pärast kruusaosakeste väljasõelumist kasutada teedeehituses ja ehitusliivana. Liiva üldkoostis on toodud Tabel 38.

Tabel 39

Kruusa üldkoostis

	Keskmine	Alates	Kuni
>5 mm osakesi (kruus)	29,80	53,00	41,00
5–0,05 mm osakesi (liiv)	45,30	68,50	57,00
<0,05 mm osakesi (savi ja tolmu)	0,40	2,90	2,00

Kruusa jämepurd on peen kuni keskmine, enamasti ümardunud, külmakindlusega 25 tsükli. Kruusa liivakoostis on peene- kuni keskmiseteraline, peensusmoodul on 1,4–2,7, savi- ja tolmuosakeste sisaldus on vahemikus 0,8–5,0 %, täisjäak sõelal 063 mm on vahemikus 14,74–59,16. Kruus on sobilik peale purustamist ja fraktsioneerimist kasutamiseks ehitussegudes ja teedeehituses. Kruusas sisalduv liiv sobib lõimise ja peensusmooduli näitaja poolest kasutamiseks ehitusliivana. Mäeeraldisest sügavamal allpool veepiiri, kruusakihi all asetseb kruusa sisaldav liivakiht paksusega 2,5–7,8 m. Liiv on peene kuni väga peeneteraline, peensusmooduliga vahemikus 1,2–2,3. Mainitud kihis leidub kruus on ümar-lapik, enamasti tardkivimiline. Kruusa sisaldus on keskmiselt 13%, savi- ja tolmuosakeste sisaldus 2,4%. Liiva täisjäak sõelal 0,63 mm on 23,99% ja osakesi <0,16 mm on 10,62%. Kruusa üldkoostis on toodud **Tõrge! Ei leia viiteallikat..** [20]

3.13.2. Kapasto IV kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 40

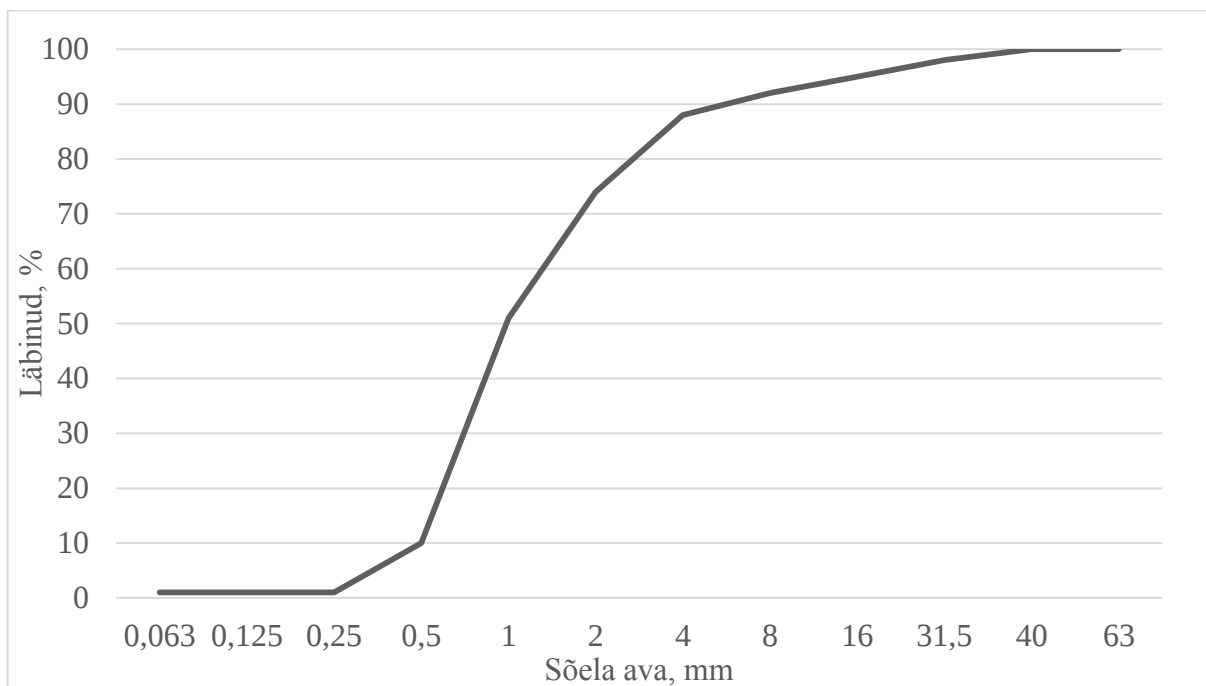
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
82	0/4	1,00	2,1 m/ööp.

Tabel 41

Kapasto IV kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivitmaterjali massist												
Katseline	1	1	1	10	51	74	88	92	95	98	100	100



Joonis 15. Kapasto IV kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 97
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 93
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 91
5. Peenosiste sisaldus, f, % 1,0

Tabel 42

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
82	0/4	9,4	1,78	12,0	1,78
		11,1	1,77		
		12,1	1,78		
		11,9	1,78		
		12,8	1,77		

3.14. Kõltsi kruusakarjäär

3.14.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiseloostus

Kõltsi karjäär asub Järvamaal, Türi vallas, asub Kolu külas maaüksusel Kõltsi karjäär Tallinn – Türi – Arkma maantee 100,5 km kohalt 2,0 km lõunas. Kõltsi maardla on radiaalne oos, mis koosneb glatsifluviaalsetest setetest – kruusast ja liivast. Kõltsi maardla glatsifluviaalsed setted on väga muutlikud. Eriti hästi väljendub see maardla edelaosa, kus on näha nii keskmise ja jämedateraline munakaid sisaldav kruus kui ka peene- ja keskmise- kuni jämedateraline liiv. Kruusa leidub seljaku keskosas, äärealad koosnevad keskmise kuni jämedateralisest, kohati tolmjaid fraktsioone sisaldavatest liivadest. Enamasti on seljaku kirdepoolses osas leiduv kruus jämedateralisem. Kõltsi karjääri materjal koosneb glatsiaalsetest kruusadest ja liivadest, sekka ka paeplaate, mis teevad kaevandamise raskemaks. Karjääri määraldise piires levivad liivad ja moreense tekkega kruus. Kõltsi karjääri piires olev kruus on jäme, mis on peale purustamist sobilik teede kruusaalusteks ja –kateteks ning kohalike teede korrastamiseks ja teehoiuks. Kruus on enamasti ümardunud, 70-80 % ulatuses karbonaatne, sisaldades osakesi üle 5 mm keskmiselt 70%. [21]

3.14.2. Kõltsi kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 43

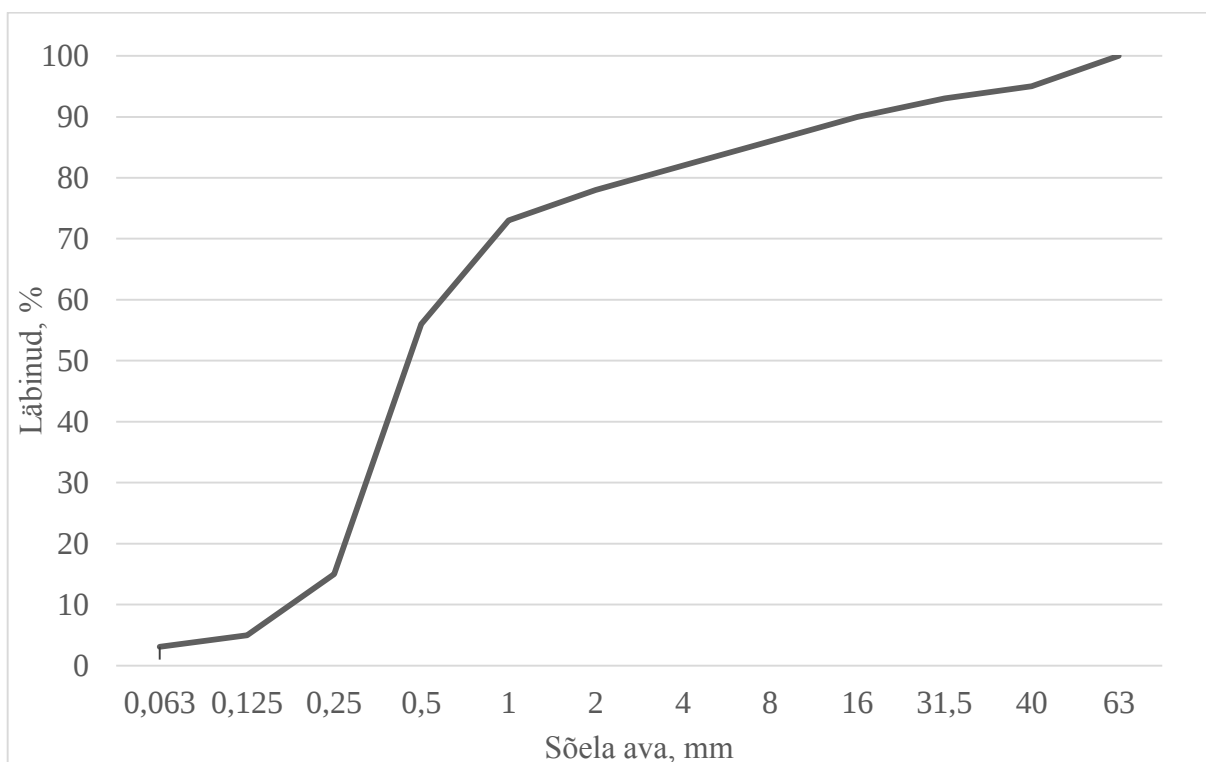
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
25	0/4	1,00	2,6 m/ööp

Tabel 44

Kõltsi kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivi materjali massist												
Katseline	3,1	5	15	56	73	78	82	86	90	93	95	100



Joonis 16. Kõltsi kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 95,4
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 91
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 89

4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 84

5. Peenosiste sisaldus, f, % 3,1

Tabel 45

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
25	0/4	12,1	1,71	14,3	1,72
		13,2	1,69		
		14,2	1,71		
		14,3	1,72		
		14,8	1,71		

3.15. Künka kruusakarjäär

3.15.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiiseloostus

Künka kruusakarjäär asub Rapla maakonnas Rapla vallas Seli külas kohaliku tähtsusega Künka kruusamaardlas. Maardla kasuliku kihi moodustavad fluvioglatsiaalne kruus ja erineva terasuurusega fluvioglatsiaalne ja limnoglatsiaalne liiv. Kruusamaardla idapoolsel ala seljandiku nõlval esineb kruus. Põhjapoolsel alal esineb peene- ja keskmiseteraline liiv, ülejäänud alal põhiliselt väga peene- ja ülipeeneteraline liiv, mille paksus väheneb lääne suunas. Kruusa sisaldus on keskmiselt 22,9%. Savi- ja tolmusisaldus on keskmiselt 8,3%. Liiva peensusmoodul on vahemikus 0,4-3,2. Keskmiste näitajate poolest sobib liiv kasutamiseks ehitusliivana. [22]

3.15.2. Künka kruusakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 46

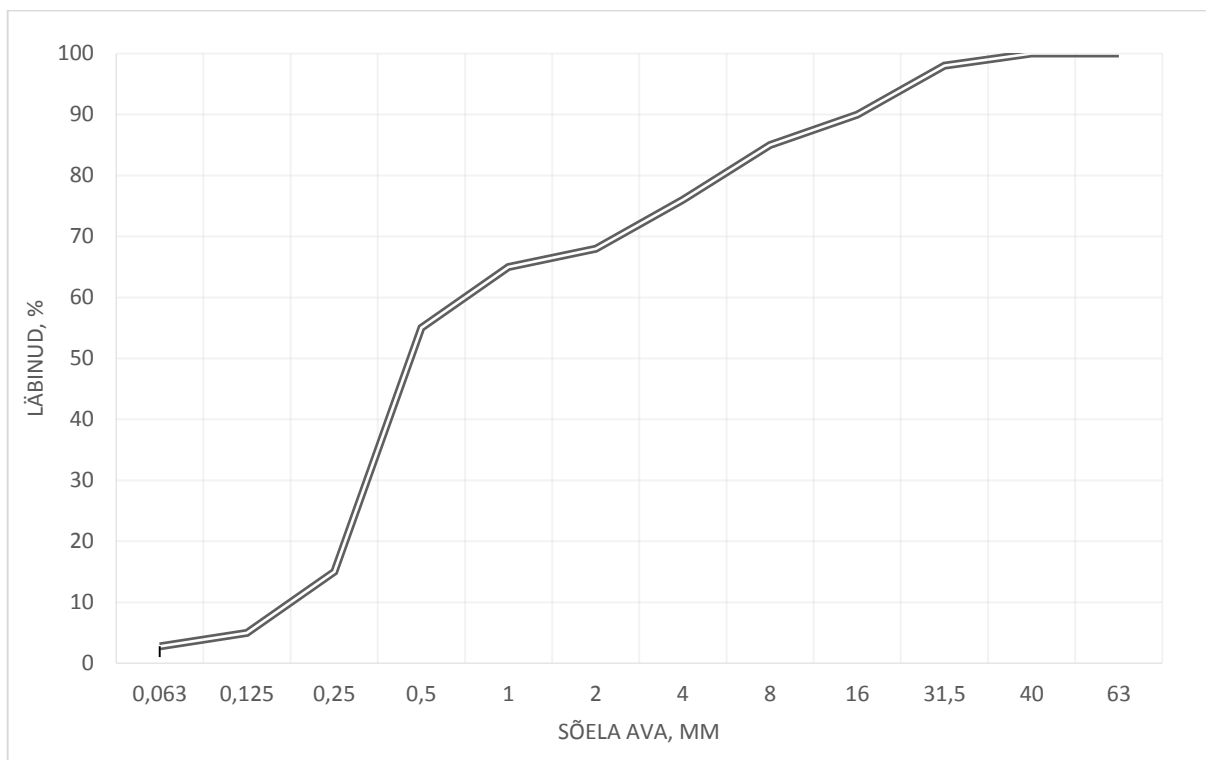
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
24	0/4	0,98	1,9 m/ööp.

Tabel 47

Künka kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivitmaterjali massist												
Katseline	2,8	5	15	55	65	68	76	85	90	98	100	100



Joonis 17. Künka kruusakarjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 92
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 89
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 82
5. Peenosiste sisaldus, f, % 2,8

Tabel 48

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN 13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
24	0/4	10,4	1,70	13,9	1,73
		12,0	1,73		
		13,0	1,73		
		13,9	1,73		
		14,4	1,72		

3.16. Siimusti liivakarjäär

3.16.1. Üldinfo ja maavara kvantiteedi ja kvaliteedi lühiseloomustus

Siimusti liivakarjäär paikneb Jõgevamaal Jõgeva valla territooriumil, Jõgevast ca 4,5 km edelas ja Siimusti alevikust 1,5 km läänes. Maastikuliselt on tegemist glatsiofluviaalse Siimusti mõhnastikuga, kus suhtelised kõrgused on vahemikus 15-20 meetrit. Geoloogiliste uuringute andmetel levib seal jääjõelise tekkega peene- kuni jämedateralise liiva põimjaskihiline kompleks, milles leidub kruusakaid läätsi. Materjal on sobilik teekatete rajamiseks. [23]

3.16.2. Siimusti liivakarjääri kruusliiva katsetamine

Tabel 49

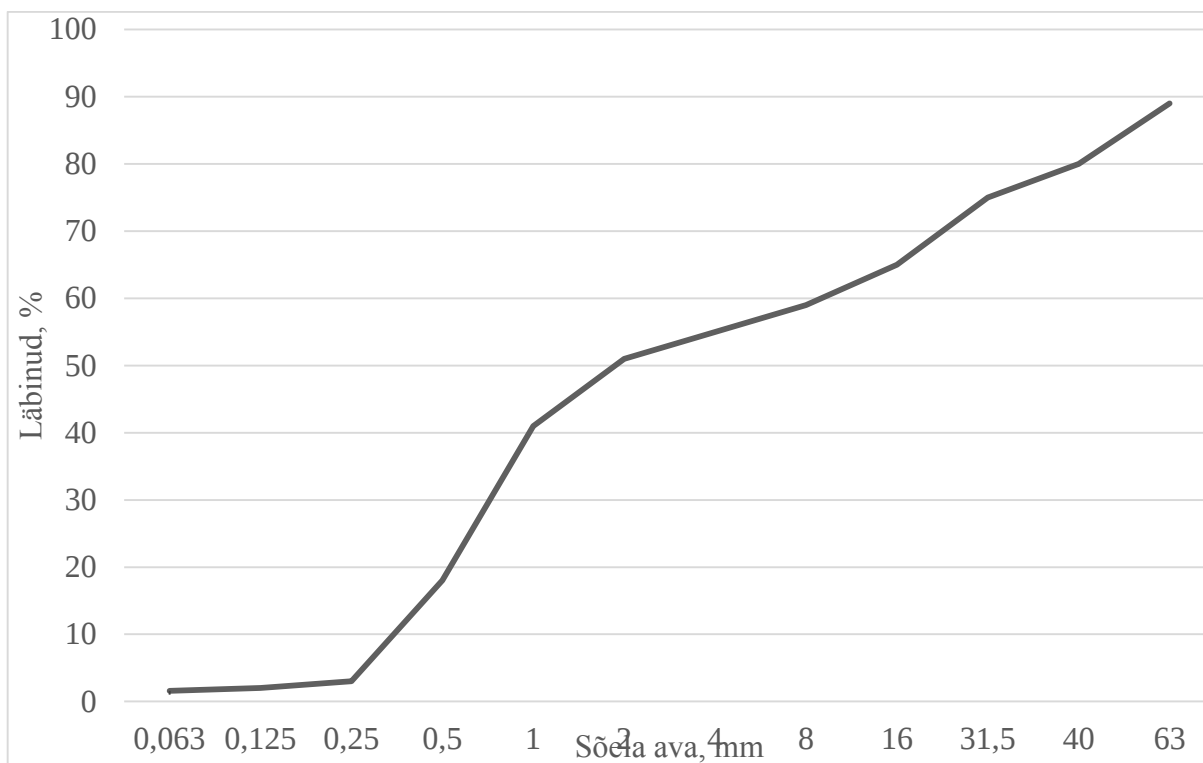
Filtratsioonimoodul on määratud EVS 901-20:2013 järgi

Proovi tähistus	Katsetus	Tihendustegur	Filtratsioon
	fr. mm		K ₁₀
15	0/4	0,98	6,2 m/ööp.

Tabel 50

Siimusti karjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5	40	63
Sõela läbinud, % kivismaterjali massist												
Katseline	1,6	2	3	18	41	51	55	59	65	75	80	89



Joonis 18. Siimusti karjääri kruusliiva terastikuline koostis on määratud koos pesemise ja sõelumisega

Märkused:

1. 40,0 mm sõela läbinud materjali % 100
2. 20,0 mm sõela läbinud materjali % 68
3. 12,5 mm sõela läbinud materjali % 63
4. 6,3 mm sõela läbinud materjali % 57
5. Peenosiste sisaldus, f, % 1,6

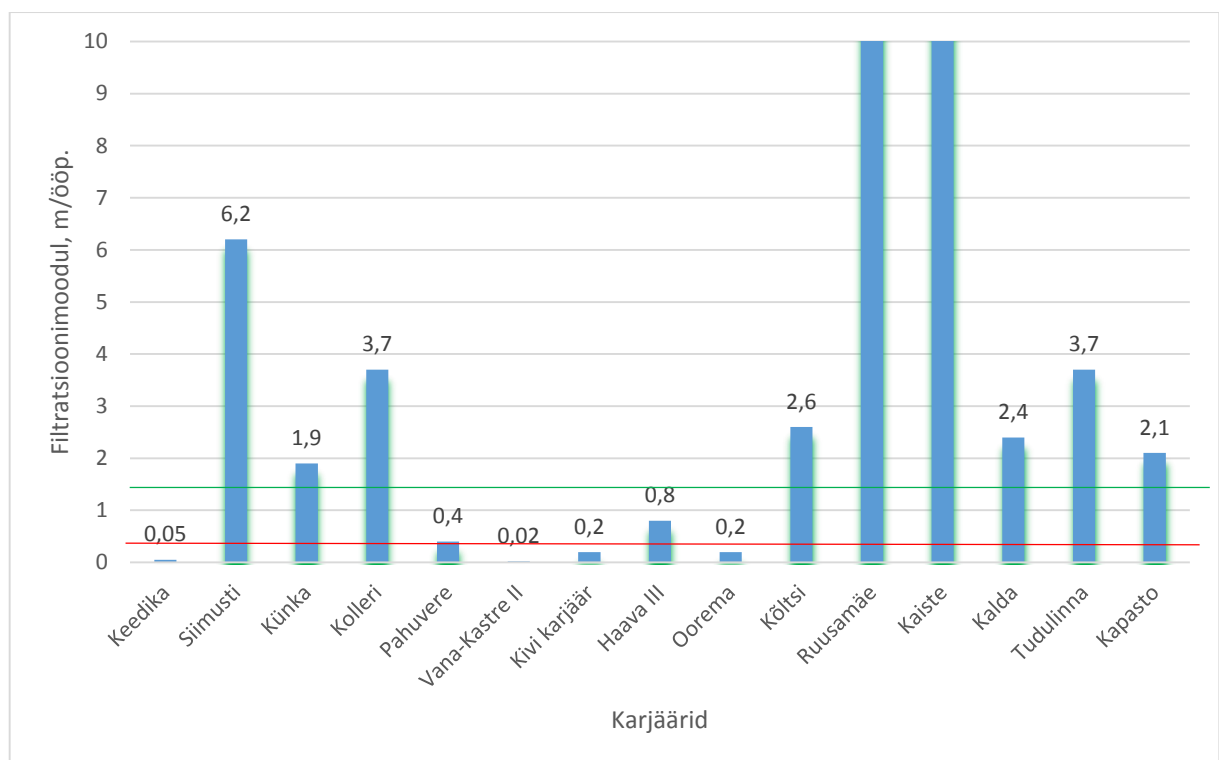
Tabel 51

Maksimaalne kuiv mahumass ja optimaalne veesisaldus, määratud standard Proctor seadmega EVS-EN
13286-2:2010 meetodika kohaselt

proovi nr.	katse fr. mm	veesisaldus, %	Kuiv mahumass, Mg/m ³	Optimaalne veesisaldus, %	Maksimaalne kuiv mahumass, Mg/m ³
15	0/4	12,2	1,69	13,8	1,74
		13,4	1,70		
		14,0	1,70		
		13,8	1,74		
		14,4	1,69		

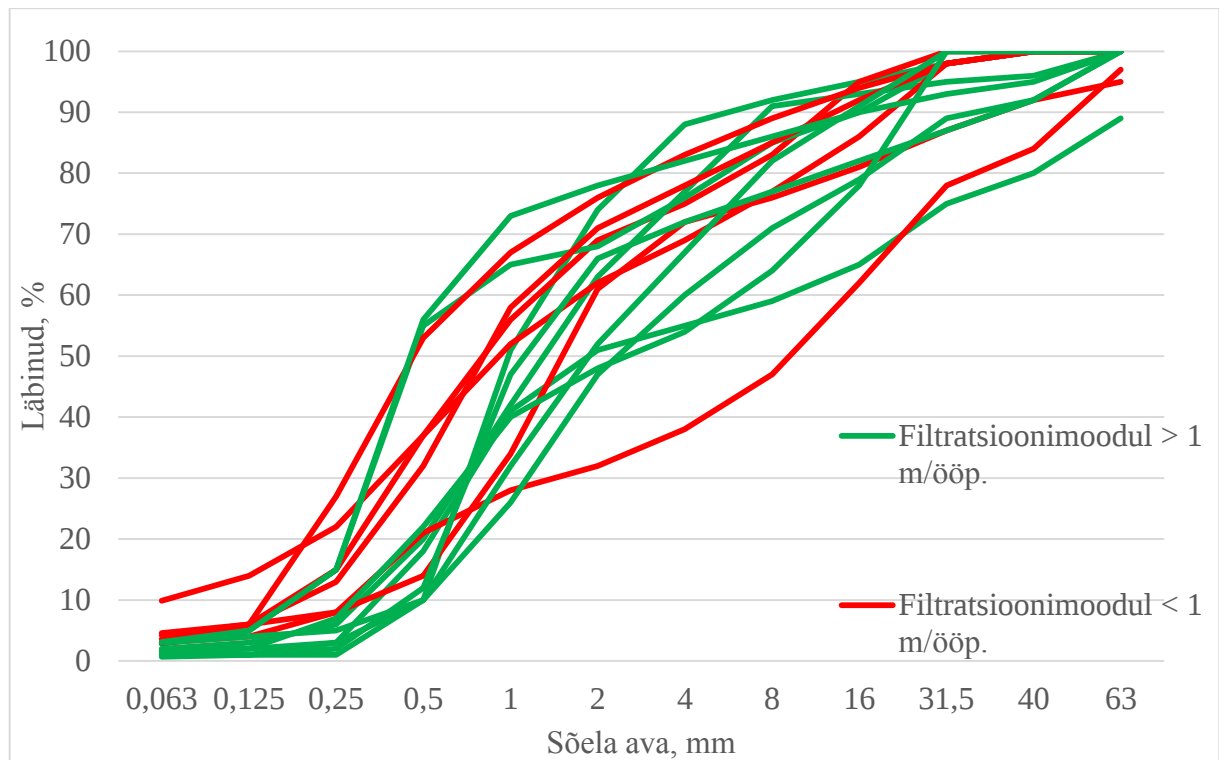
4. KATSETULEMUSTE ANALÜÜS

Karjääride filtratsioonimoodulid on toodud järgnevas graafikus (Joonis 19). Punane joon tähistab drenkihi 1. ja 2. niiskuspakkonnas nõutavat filtratsioonimoodulit 1 m/ööp. ja roheline joon 3. niiskuspakkonnas nõutavat 2 m/ööp.



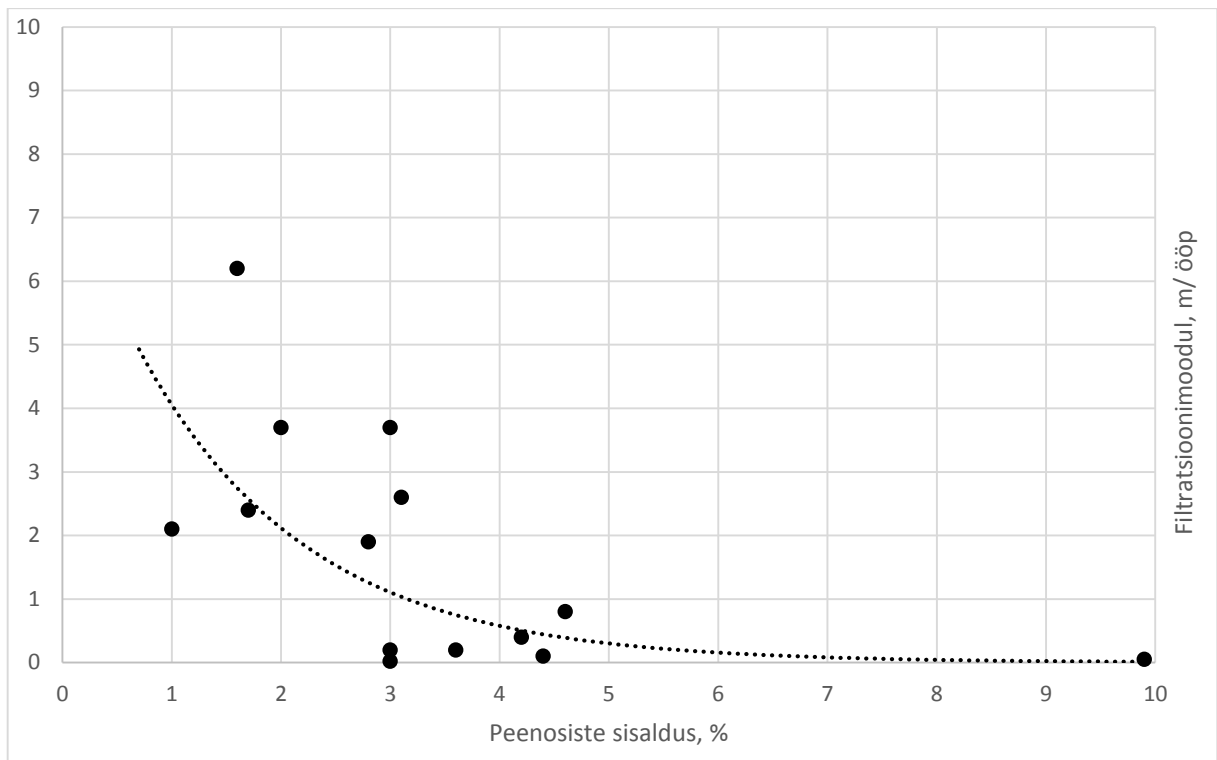
Joonis 19. Karjääride kruusliivade terastikulased koostised

Erinevate karjääride kruusliivade terastikulised koostised toodud välja ühel graafikul (Joonis 20). Punane graafik tähendab, et filtratsioonimoodul on väiksem kui 1 m/ööp ja roheline graafik, et filtratsioonimoodul on suurem kui 1 m/ööp.



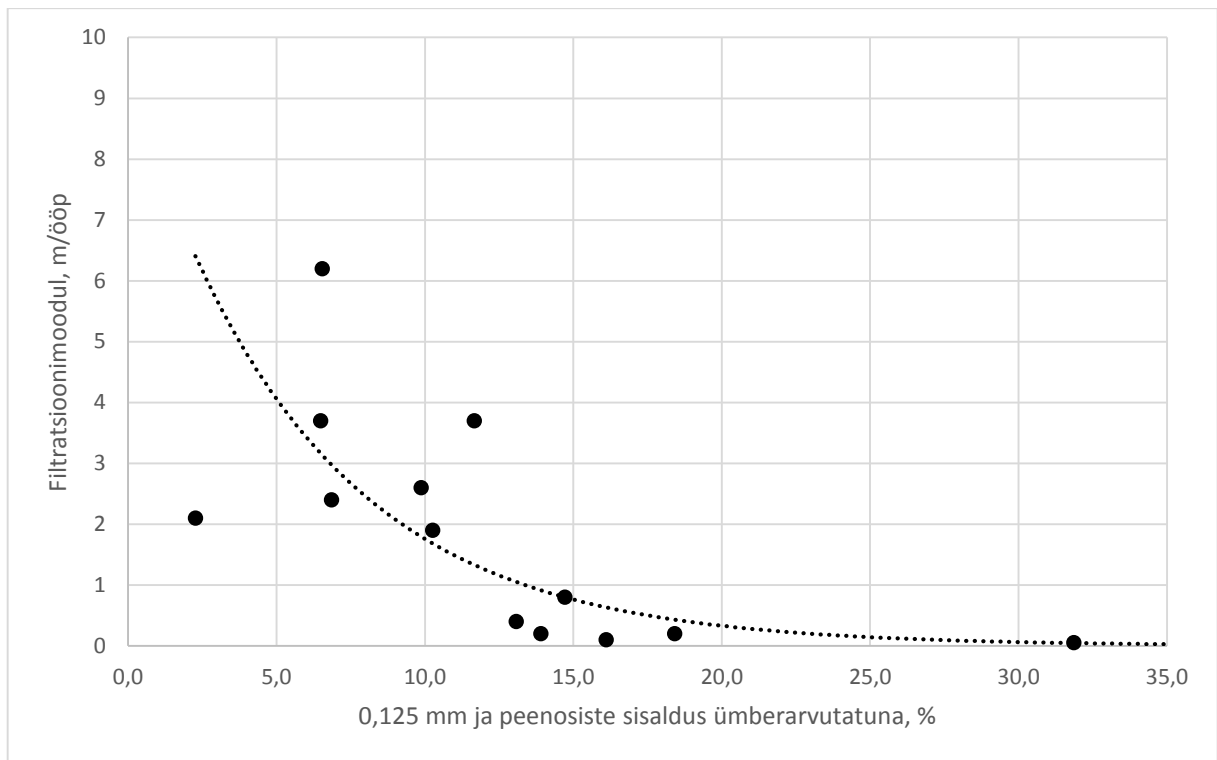
Joonis 20. Katsetatud kruusliivade sõelkõverad

Terastikulisel koostisel on oluline roll filtratsioonimoodulile. Kruusliivad sisaldavad sageli orgaanilisi aineid, samuti tolmseid ja savikaid osakesi, mis mõjutavad filtratsiooni. Üldine tendents 16 proovi puhul on, et kui peenosiste protsent oli üle 3 %, siis filtratsioonimoodul oli juba alla 2 m/ööp. Huvitava nüansina võib välja tuua võrdluse Vana-Kastre II kruusliiva ja Tudulinna karjääri kruusliiva vahel. Mõlemal puhul on peenosiste sisaldus 3% kuid filtratsioon vastavalt 0,02 m/ööp ja 3,7 m/ööp. Sellisel juhul tuleks vaadelda terastikulise koostise osakeste 0,5, 0,25, ja 0,125 osakaalu massist. Allpool on toodud graafik (Joonis 21), kus on seos materjali peenosiste ja filtratsioonimooduli vahel.



Joonis 21. Peenosiste sisaldus ja filtratsioonimoodul

Et materjali filtratsioonimooduli määramine toimub materjalile fraktsiooniga 0/4 mm, tuleks 4 mm sõel võrdsustada 100 % ja kõik ülejäänud avad ja läbindid ümber arvutada ja seejärel tulemusi võrrelda filtratsioonimooduliga. Sellisel juhul on märgata loogilist mustrit tulemuste osas. Liites kokku osakesed, mis läbisid sõela 0,125 mm, on näha, et kui osakeste massiprotsent jääb alla 12% 4mm osakeste hulgast, on filtratsioonimoodul 1 m/ööp. tagatud. Ainsaks erandiks on Vana-Kastre II kruusakarjääri kruusliiv, kus sõelkõverat analüüsidest selgub, et osakesed vahemikus 0,25 mm kuni 0,125 mm, mõjutavad oluliselt filtratsiooni. Huvitava vahemärkusena võib välja tuua erinevuse Kivi karjääri sõelutud ja loodusliku kruusliiva vahel. Sõelumine suurendas peenosiste sisaldust ja filtratsioon halvenes. (Joonis 22)



Joonis 22. Osakeste 0,125 ja 0,063 mm summa ümberarvutatuna ja filtratsioonimoodul

Tulemustest selgub, et peenosiste sisaldus mõjutab oluliselt materjali filtreerivaid omadusi, kuid ei pruugi olla ainus põhjus, miks materjali filtratsioonimoodul on kehv. Sellistel juhtudel tuleks jälgida terakoostise jagunemist ülalpool 0,063 mm sõela. Ehk mittedreeniv materjal võib olla küll väikese peenosiste sisaldusega, kuid sisaldab palju osakesi terasuurusega vahemikus 0,125 – 0,5 mm, mis vähendavad materjali veeläbilaskvust. Üldiselt oli hästi filtreeruva materjali puhul märgata silmaga jämedateralisemat koostist ja mittedreenival materjalil peenemat.

KOKKUVÕTE

Nagu töö alguses mainitud, on drenihi filtratsioonimoodul Eesti teedehitusvaldkonnas hetkel äärmiselt aktuaalne teema. Lihtsamaks ei tee olukorda ka pidevalt kahanevad materjali varud, kõlblike materjalide asukoht ja eeldatavalt kasvav nõudlus. Kõik eelnimetatud aspektid kokku eeldavadki edu alusena, paindlikumat mõtlemist ja annavad võimaluse innovatiivsetele lahendustele. Kruusliiva kasutamine drenihis on üks võimalike alternatiive.

Lõputöö esimeses peatükis välja toodud proovivõtumeetodid ja filtratsioonimooduli määramise katse lahtiseletatult olid eesmärgiks selgitada katsetuste protsesse lähemalt. Autor arvamus on, et suurem osa Eesti teedehitusinseneridest, kes viibivad igapäevaselt objektil, ei oma ülevaadet kuidas toimub filtratsioonimooduli määramine või kuidas tuleks korrektselt, vastavalt standardile, materjali proov võtta ja transportida laborisse. Kõike seda arvestades ja kogedes oli esimene peatükk väga kogemuslik ja silmaringi avardav.

Kruusliivad on Eesti territooriumil laialt levinud, mis teeb nende kasutamise ja kättesaadavuse ehituses oluliselt lihtsamaks. Hetkeseisuga on Maa-ameti andmetel Eestis 452 kehtiva kaevandusloaga kruusa ja liiva mäeraldisi.

Tee projekteerimismääruste ja nõuete pinnaseliigituse aluseks on Eesit Vabariigi Standard EVS-EN ISO 14688-1:2003 ja EVS-EN ISO 14688-2:2004. Elastsete teekatendite projekteerimise juhendis 2001-52 on pinnased klassifitseeritud terakoostise järgi vastavalt GOST 25100-95-le. Terakoostise alusel pinnaste klassifitseerimine ei ole EVS-EN ISO ja GOST-i järgi ühesugune, mistõttu ei ole võimalik katendiarvutuses juhendi 2001-52 alusel võimalik otse kasutada Eesti standardiga kehtestatud pinnaste klassifikatsiooni. Sisuliselt jätkub katendiarvutusprogrammis vene standardi järgne klassifikatsioon, neli pinnaseliiki, neile on leitud euronimetused.

Vastavalt diplomitöö sissejuhatuses püstitatud teemale, tuli autoril ise uurida Eestis leiduvate kruusliivade filtratsiooniomadusi. Igast maakonnast valiti välja üks karjäär mille materjalid viidi laborisse katsetamiseks. Katsete tulemusena selgus, et 15st karjäärist 10 andis välja filtratsioonimooduli vähemalt 0,5m /ööp. mis näitab, et nende karjääride materjal on vähemalt

kõlbulik muldkeha ehitamiseks, seega kui töö teemaks on drenkihi ehitus, siis lähtudes nõudest 1 m/ööp., siis on sobiliku materjaliga karjääride arv 9. Eeldades, et materjal on ikkagi sarnase lõimisega karjäärides, kus on üks ja sama lade, saab käesoleva töö põhjal selgema ja täpsema kujutluse millises piirkonnas Eestis on drenkihi jaoks sobilik materjale ja kus mitte. Kui lähtuda nõudest, et aktiivsooni ülemises meetris tuleb kasutada materjale filtratsiooniga vähemalt 0,5 m/ööp., siis see suurendab sobiliku materjaliga karjääride hulka veelgi. Selline lahendus võiks olla üks alternatiiv materjali filtreerivate omaduste ja drenkihi probleemile.

Kruusliiva on kasutatud drenkihi ehitamiseks juba varasemalt. Autori kogemus kruusliiva kasutamisel teedehituses on Raplamaal asuva Urge sõidutee koos jalg- ja jalgratta teega, kus projektis oli ettenähtud sõidutee drenkihi materjaliks kruusliiv. Urge sõiduteel PK 4+25 võetud proovi filtratsioonimoodul EVS 901-20:2013 järgi oli 24,4 m/ööpäevas. Maksimaalne kuivtihedus 1,65Mg/m³ ja optimaalne veesisaldus 14,1 %. PK 8+25 võetud proovi filtratsioonimoodul EVS 901-20:2013 järgi oli 14,5 m/ööpäevas. Maksimaalne kuivtihedus oli 1,63Mg/m³ ja optimaalne veesisaldus 13,1%. Materjal toodi Alesti kruusakarjäärist. Materjal oli väga hea kandevõimega, mis tegi killustikaluse ehituse tehnoloogiliselt palju lihtsamaks, võimaldades kalluritel sõita drenkihi peal. Keskmise elastsusmoodul 160 MPa.

Kokkuvõtteks võib väita, et kruusliivade kasutamine drenkihi ehitamisel on vägagi otstarbekas. Kõik taandub logistikale: Kui on ehitusobjekti läheduses karjäär, kus on heade omadustega kruusliiv siis on kindlasti mõistlik kasutada kruusliiva. Materjali hind koos veoga ning head tugevuskarakteristikud võimaldavad hoida natukene kokku ehituskulude pealt, ja seeläbi optimeerida kulukamate kihtide paksustega.

Autor soovib tänada ettevõtteid ja inimesi, kes käesoleva diplomitöö valmimisele nii materjaalselt kui ka nõu ja teadmistega kaasa aitasid:

- OÜ Verston Ehitus töökas kollektiiv;
- TTÜ teedelabori töökas meeskond;
- Karjääride kaevandusloa omanikud;
- TTÜ lektor Ain Kendra.

SUMMARY

On the Basis of Valid Requirements – Gravelly Sands in Estonia and the Possibilities of Using them for Building a Drainage Layer

As mentioned at the beginning of the thesis, the filtration module of the drainage layer is a very relevant topic in Estonian road building. The situation is not made any easier by the constantly decreasing supply of material, the location of suitable materials, and the presumably growing demand. All the aforementioned aspects together imply that the basis for success would be a more flexible way of thinking, leading to innovative solutions. The use of gravelly sand in the drainage layer is one of the possible alternatives.

The objective of describing the sampling methods and filtration module specification test in the first chapter of the thesis was to give a more precise overview of the processes. The first chapter was certainly very eye-opening and informative. It was a very interesting experience to witness filtration module specification tests and related procedures. I dare to say that most Estonian road engineers, who are on sites daily, do not have an overview of how filtration modules are specified or how material samples should actually be taken.

I am confident in confirming the facts on the basis of what I experienced and saw. Gravelly sands are common on the territory of Estonia, which makes their use and availability in construction significantly easier. At the moment, according to the Land Board's data, there are 453 areas of gravel and sand with a valid extraction permit.

The bases for road planning norms and soil classification are the Standards of the Republic of Estonia EVS-EN ISO 14688-1:2003 and EVS-EN ISO 14688-2:2004. The manual for planning elastic pavements 2001-52 has classified soils according to grain composition according to GOST 25100-95. Classification of soils according to grain composition under EVS-EN ISO and GOST is not the same, wherefore, when calculating pavements under 2001-52, it is not possible to directly use the pavement classification enacted by the Estonian standard. Essentially, the classification under the

Russian standard continues to be used in the pavement calculation programme – there are four soil types for which European terms have been found.

Pursuant to the topic of the Diploma thesis, the author studied the filtering properties of the gravelly sands found in Estonia. One quarry per every county was selected, materials from which were taken to be tested at a laboratory. The tests revealed that of the 15 quarries, 10 provided a filtration module of at least 0.5 m / 24 h. This shows that the material from these quarries is at least suitable for building a track bed, therefore, as the topic of the thesis is concerned with building the drainage layer, then based on the requirement of 1 m / 24 h, there are 9 quarries with suitable material. Presuming that the material is available at quarries with similar integration where the sediment is the same, this thesis gives a clearer and more precise overview of the regions of Estonia which have material suitable for the drainage layer and which do not.

Gravelly sand has been used for building drainage layers before. I would like to point out the Urge road along with its cycle and pedestrian track, where gravelly sand was the designated drainage layer material in the project. The filtration module of the sample taken on the Urge road at PK 4+25 according to EVS 901-20:2013 was 24.4 m / 24 h. The maximum dry density was 1.65 mg/m³ and optimal water content 14.1%. The filtration module of the sample taken at PK 8+25 according to EVS 901-20:2013 was 14.5 m / 24 h. The maximum dry density was 1.63 mg/m³ and optimal water content 13.1%. The material was brought from the Alesti gravel quarry. The material had very good load bearing properties, which made it technologically much easier to construct the crushed stone basis, enabling dumpers to drive on the drainage layer. The average elasticity module was 160 MPa.

In summary, it can be said that using gravelly sands for building drainage layers is very practical. Everything is dependent on logistics. If there is a quarry near the construction site with gravelly sands of good properties, it is certainly practical to use gravelly sand. The price of the material along with transport and its good strength properties make it possible to save a little on construction expenses, and therefore, optimize the thicknesses of more expensive layers.

The author wishes to thank companies and people who contributed materially and also with their advice and knowledge to the completion of this thesis:

- the hard-working staff of OÜ Verston Ehitus;
- the diligent team of the Laboratory of Roads of the Tallinn University of Technology;
- holders of extraction permits of quarries;
- Tallinn University of Technology lecturer Ain Kendra.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] EVS 901-20:2013. Tee-ehitus. Katsemeetodid. Osa 20: Filtratsioonimooduli määramine, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2013.
- [2] EVS-EN ISO 14688-1:2003 Geotehniline uurimine ja katsetamine. Pinnase identifitseerimine ja liigitamine. Osa 1: identifitseerimine ja kirjeldamine, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2003.
- [3] EVS-EN 932-1:2000 Täitematerjalide üldiste omaduste katsetamine. Osa 1: Proovivõtumeetodid, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2000.
- [4] Tee projekteerimise normid, 2014.
- [5] Ott Talvik, Tee-ehituses kasutatavate filtratsioonimooduli erinevate määramismeetodite teaduslik võrdlusuuring ja otstarbeka katsemeetodi standardiseerimine ning Teedeala standardiseerimistegevuse koordineerimine ja osalemine Eurostandardite väljatöötamisel, Tallinn: Maanteamet, 2012.
- [6] F. E.Ojamaa, Kohalikud ehitusmaterjalid, Tallinn: Eesti Riiklik Kirjastus, 1964.
- [7] „Eesti Maavarad,“ TÜ Geoloogiamuuseum, [Vörgumaterjal]. Available: http://www.ut.ee/BGGM/maavara/kruus_liiv.html. [Kasutatud 10. märts, 2015].
- [8] Andrus Aavik; Ain Kendra; Peeter Talviste; Anette Talpsepp; Ann Parbo, Elastsete teekatendite projekteerimise juhendi pinnaste klassifikatsiooni kohandamine EVS-EN ISO 14688-1 ja 2 klassifikatsioonile, Tallinn: Maanteamet, 2014.
- [9] Mäebüroo Nord OÜ, Maavara kaevandamise loa L.MK.IV-191590 muutmise taotlus Tudulinna karjäär, Margus Kukk, 2009.
- [10] Eesti Geoloogiakeskus OÜ, Kalda mäeeraldise laienduse maavara kaevandamise loa taotlus, Tiia Tuuling, 2012.
- [11] Eesti Geoloogiakeskus, Kaiste kruusakarjääri kaevandamise loa taotlus, Rein Sinisalu, 2006-2009.

- [12] Eesti Geoloogiakeskuse OÜ, Maavara kaevandamise loa taotlus Pahuvere karjäär, Tartu: Ain Põldvere.
- [13] PM Kaubandusgrupp OÜ, Maavara kaevandamise loa taotlus Ruusamäe karjäär, Erkki Möldre.
- [14] Mäebüroo Norrd OÜ, Maavara kaevandamise loa TARM-052 muutmise taotlus Vana-Kastre II kruusakarjäär, Margus Kukk, 2011.
- [15] J.Viru Markšeideribüroo OÜ, Maavara kaevandamise loa taotlus Haava 3 kruusakarjäär, 2008.
- [16] Eesti Geoloogiakeskus OÜ, Keedika kruusakarjääri mäeeraldise maavara kaevandamise loa muutmise taotlus, Maare Rändur, 2014.
- [17] Level AS, Maavara kaevandamise loa taotlus Oorema karjäär, 2010.
- [18] Eesti Geoloogiakeskus OÜ, Kivi liiva- ja kruusakarjääri mäeeraldise maavara kaevandamise loa taotlus, Ain Põldvere, 2010.
- [19] J.Viru Markšeideribüroo OÜ, Maavara kaevandamise loa L.MK.PÕ-37250 muutmise taotlus Koller 2 kruusakarjäär, Jaan Viru, 2007.
- [20] Hiiu Teed OÜ, Kapasto 4 kaevandamise loa taotlus, Silja Liibert, Kaupo Rõivasepp, Priit koppel, 2010.
- [21] Mäemees OÜ, Maavara kaevandamise loa pikendamise taotlus Kõltsi kruusakarjäär, Maris Leiaru, 2013.
- [22] Rapla Teed OÜ, Maavara kaevandamise loa taotlus Künka kruusakarjäär, 2010.
- [23] Moreen OÜ, Maavara kaevandamise loa taotlus Siimusti karjäär.
- [24] Maanteeamet, „Maanteeameti koduleht,“ 14 veebruar, 2013. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.mnt.ee/public/juhendid/Maanteeameti_kaskkiri_nr_0069_14.02.13.pdf. [Kasutatud 15. aprill, 2015].

Lisa 1. EVS-EN ISO alusel klassifitseeritud pinnaseproovide nimetused vastavalt GOST-ile [8]

Proovi nr.	Pinnas – EVS-EN ISO		Koostis Möll/Savi- Liiv-Kruus Si/Cl – Sa – Gr, %	Pinnas - GOST	
	Nimetus	Lühend		Nimetus	Klassifitseerimise alus
1	Liiv	Sa	0 – 100 – 0	Liiv	>0,25mm>50%
2	Liiv Kruusane liiv Savine liiv Kruusaga savine liiv	Sa grSa clSa grclSa	15 – 65 – 20	Liiv	>0,25mm>50%
3	Liiv Savine liiv	Sa clSa	15 – 85 – 0	Liiv	>0,25mm>50%
4	Liiv Kruusane liiv	Sa grSa	0 – 80 – 20	Liiv	>0,25mm>50%
5	Savine liiv Kruusaga savine liiv Kruusaga liivane savine pinnas Kruusaga liivane savi Liivane savi	clSa grclSa grsaclS grsaCl saCl	40 – 40 - 20	Kerge liivsavi, C ₁ , I _p =7-12	2-0,05mm≥40% I _p =9,2
6	Savine liiv Liivane savi	clSa saCl	40 – 60 - 0	Kerge liivsavi, C ₁ , I _p =7-12	2-0,05mm≥40% I _p =8,3
7	Liivane savi Kruusaga liivane savi Liivaga kruusane savi Kruusane savi Savi	saCl grsaCl sagrCl grCl Cl	60 – 20 - 20	Tolmne raske liivsavi, D ₁ , I _p =12-17	2-0,05mm<40% I _p =12,5

Proovi nr.	Pinna – EVS-EN ISO		Koostis Möll/Savi- Liiv-Kruus Si/Cl – Sa – Gr, %	Pinna - GOST	
	Nimetus	Lühend		Nimetus	Klassifitseerimise alus
8	Liivane savi Savi	saCl Cl	80 - 20 - 20	Tolmne raske liivsavi, D ₁ , I _p =12-17	2-0,05mm<40% I _p =16
9	Kruusane savi Savi	grCl Cl	80 – 0 - 20	Tolmne savi, D ₁ , I _p =17-27	2-0,05mm<40% I _p =19,3
10	Savi	Cl	100 - 0 - 0	Tolmne savi, D ₁ , I _p =17-27	2-0,05mm<40% I _p =20,2
11	Rohke kruusaga liiv Rohke liivaga kruus	grSa saGr	0 – 50 – 50	Kruusliiv	>2mm>25%
12	Rohke kruusaga liiv Rohke liivaga kruus Rohke liivaga savine kruus Rohke kruusaga savine liiv	grSa saGr sacGr grclSa	15 – 42,5 – 42,5	Kruusliiv	>2mm>25%
13	Rohke kruusaga liivane savine pinna Rohke liivaga kruusane savine pinna Rohke liivaga kruusane savi Rohke kruusaga liivane savi	grsacLS sagrclS sagrCl grsaCl	40 – 30 - 30	Tolmne kerge liivsavi, D ₁ , I _p =7-12	2-0,05mm<40% I _p =10,7
14	Liivane kruus Kruus	saGr Gr	0 – 20 – 80	Kruus	>2mm>50%
15	Liivane kruus Liivaga savine kruus Kruus	saGr, sacGr Gr	15 – 20 – 65	Kruus	>2mm>50%

Proovi nr.	Pinnas – EVS-EN ISO		Koostis Möll/Savi- Liiv-Kruus Si/Cl – Sa – Gr, %	Pinnas - GOST	
	Nimetus	Lühend		Nimetus	Klassifitseerimi se alus
	Savine kruus	clGr			
16	Liivaga kruusane savine pinnas Liivaga savine kruus Savine kruus Kruusane savi Liivaga kruusane savi	sagrclS sacclGr clGr grCl sagrCl	40 – 20 - 40	Tolmne kerge liivsavi, D ₁ , I _p =7-12	2-0,05mm<40% I _p =10,8
17	Savine kruus Kruusane savi	clGr grCl	40 - 0 - 60	Tolmne savi, D ₁ , I _p =17-27	2-0,05mm<40% I _p =19,9
				Kruus	>2mm>50%
18	Kruus Savine kruus	Gr clGr	15 – 0 – 85	Kruus	>2mm>50%
19	Kruus	Gr	0 – 0 - 100	Kruus	>2mm>50%